



IMPACTO ECOAMIGABLE DEL AGREGADO RECICLADO DE LA DEMOLICIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS EN EL DESARROLLO DE URBANISMOS

**REYNALDO MELQUIADES REYES ROQUE
EDSON MAYCOL VERGARA VELASQUEZ
BRAYANM REYNALDO REYES HUERTA
HEMERSON LIZARBE ALARCÓN**



IMPACTO ECOAMIGABLE DEL AGREGADO RECICLADO DE LA DEMOLICIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS EN EL DESARROLLO DE URBANISMOS

REYNALDO MELQUIADES REYES ROQUE
EDSON MAYCOL VERGARA VELASQUEZ
BRAYANM REYNALDO REYES HUERTA
HEMERSON LIZARBE ALARCÓN

Editor Chefe

Ivanio Folmer

Bibliotecária

Eliane de Freitas Leite

Revisora Técnica

Gabriella Eldereti Machado

Diagramação e Projeto Gráfico

Gabriel Eldereti Machado

Imagem capa

www.canva.com

Revisão

Organizadores e Autores(as)

Conselho Editorial

Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva - UNIDAVI

Prof. Dr. Astor João Schönnell Júnior - IFFAR

Prof. Dr. Alan Ricardo Costa - UFRR

Profa. Dra. Andréia Bulaty - UNESPAR

Profa. Dra. Carla da Conceição de Lima - UFVJM

Prof. Dr. Camilo Darsie de Souza - UNISC

Profa. Dra. Clarice Caldeira Leite - UFRGS

Profa. Dra. Cecilia Decarli - UFRGS

Prof. Dr. Carlos Adriano Martins - UNICID

Prof. Dr. Christian Dennys Monteiro de Oliveira - UFCE

Profa. Dra. Dayse Marinho Martins - UFMA

Prof. Dr. Deivid Alex dos Santos - UEL

Prof. Dr. Dioni Paulo Pastorio - UFRGS

Prof. Dr. Douglas Manoel Antonio de Abreu Pestana dos Santos - FASESP

Profa. Dra. Elane da Silva Barbosa - UERN

Profa. Dra. Elen Gomes Pereira - IFBA

Profa. Dra. Francielle Benini Agne Tybusch - UFN

Prof. Dr. Francisco Odécio Sales - IFCE

Prof. Dr. Francisco Ricardo Miranda Pinto - UFCAT

Prof. Dr. Gilvan Charles Cerqueira de Araújo - UCB

Prof. Dr. Ismar Inácio dos Santos Filho - UFAL

Prof. Dr. Leonardo Bigolin Jantsch - UFSM

Profa. Dra. Liziany Müller Medeiros - UFSM

Profa. Dra. Marcela Mary José - UFRB

Prof. Dr. Mateus Henrique Köhler - UFSM

Prof. Dr. Michel Canuto de Sena - UFMS

Profa. Dra. Mônica Aparecida Bortolotti - UNICENTRO

Prof. Nilton David Vilchez Galarza - UPLA

Prof. Dr. Olavo Barreto de Souza - UEPB

Prof. Dr. Rafael Nogueira Furtado - UFABC

Prof. Dr. Roberto Araújo da Silva Vasques Rabelo - UNILUS

Prof. Dr. Rodrigo Toledo - USCS

Prof. Dr. Rodolfo Rodrigues de Souza - UERJ

Prof. Dr. Sidnei Renato Silveira - UFSM

Prof. Dr. Thiago Ribeiro Rafagnin - UFOB

Prof. Dr. Tomás Raúl Gómez Hernández - UCLV

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Impacto ecoamigable del agregado reciclado de la
demolición de pavimentos rígidos en el
desarrollo de urbanismos [livro eletrônico] /
Reynaldo Melquiades Reyes Roque... [et al.].
-- Santa Maria, RS : Arco Editores, 2024.
PDF

Outros autores: Edson Maycol Vergara Velasquez,
Brayanm Reynaldo Reyes Huerta, Hemerson Lizarbe
Alarcón.

Biblioteca.

ISBN 978-65-5417-266-0

1. Concreto 2. Meio ambiente - Aspectos econômicos
3. Pavimentação urbana 4. Reciclagem (Resíduos etc.)
5. Urbanismo - América Latina I. Reyes Roque,
Reynaldo Melquiades. II. Vergara Velasquez, Edson
Maycol. III. Reyes Huerta, Brayanm Reynaldo.
IV. Lizarbe Alarcón, Hemerson.

24-206447

CDD-711

Índices para catálogo sistemático:

1. Urbanismo 711

Eliane de Freitas Leite - Bibliotecária - CRB 8/8415



10.48209/978-65-5417-266-0

Este livro é o resultado de uma pesquisa científica
em atividades de ciência e tecnologia.

O trabalho foi revisado por pares acadêmicos externo
antes de ser publicado.



CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO I.....	12
RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN.....	12
1.1. Aspectos esenciales sobre los residuos de construcción y demolición....	13
1.2. Residuos de construcción y demolición: clasificación.....	15
1.2.1. Según su origen.....	15
1.2.2. Según su naturaleza.....	16
1.2.3. Otras clasificaciones.....	18
1.3. Normativa nacional.....	22
1.3.1. Decreto Supremo N.º 002-2022-VIVIENDA.....	22
1.3.2. Decreto Legislativo N.º 1278.....	23
1.4. Gestión de los residuos de construcción y demolición.....	25
CAPÍTULO II.....	29
AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO.....	29
2.1. Agregado de concreto reciclado.....	30
2.2. Características de los agregados reciclados.....	31
2.3. Obtención de agregados para la producción de concreto.....	32
2.4. Propiedades físicas y mecánicas del concreto reciclado.....	35
2.5. Uso del agregado de concreto reciclado.....	37
CAPÍTULO III.....	40
DISEÑO DE MEZCLA Y CONCRETO.....	40
3.1. Diseño de mezclas: definición.....	41

3.2. Materiales usados para el diseño de mezclas.....	42
3.2.1. Cemento Portland.....	42
3.2.2. Agregados fino y grueso.....	44
3.2.3. Agua	47
3.3. Consideraciones para aplicar el diseño de mezcla.....	49
3.4. Diseño de mezclas: método ACI.....	50
3.5. Concreto.....	51
3.5.1. Curado del concreto.....	53
3.5.2. Ensayo a compresión del concreto.....	54
CAPÍTULO IV.....	55
IMPACTO ECOAMIGABLE DEL AGREGADO RECICLADO DE LA DEMOLICIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS EN EL DESARROLLO DE URBANISMOS UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA.....	55
CAPÍTULO V.....	69
AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO EN LA CONSTRUCCIÓN..	69
5.1. Importancia del concreto en el campo de la construcción.....	70
5.2. Impacto medioambiental del uso de agregados de concreto reciclado...	73
5.3. Ventajas y desventajas del uso del concreto reciclado.....	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de los residuos de construcción y demolición (VIVIENDA).....19

Tabla 2 Clasificación de los residuos de construcción y demolición.....21

Tabla 3 Absorción de los agregados reciclados.....36

Tabla 4 Concentración tolerable de impureza en agua de mezcla.....48

Tabla 5 Criterios de búsqueda.....58

Tabla 6 Resultados cualitativos.....60

Tabla 7 Principales propiedades del concreto.....72

Tabla 8 Mitos y verdades sobre el reciclaje de concreto.....78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Métodos de tratamiento de concreto reciclado.....34

Figura 2 Clinker, el mayor contaminante de emisiones de CO2.....74

Figura 3 Tasa de crecimiento del mercado del cemento verde por región, 2023-2028.....75

RESUMEN

La investigación que se presenta tiene como objetivo determinar la incidencia del uso de agregados de residuos de construcción y demolición en el medioambiente. Para esto, se realizó una revisión sistemática de la literatura, específicamente de artículos publicados en revistas desde el año 2018 hasta el 2023 en tres bases de datos (Google Académico, SciELO y Dialnet), empleando el método PRISMA, con el propósito de obtener publicaciones que respondan al objetivo y la pregunta de investigación planteada en el presente estudio. Para la selección de los artículos se aplicaron criterios de inclusión y exclusión. Como resultado de la revisión, se obtuvieron 15 investigaciones, a partir de las cuales se determinó que el uso de los residuos de construcción y demolición como agregados impacta positivamente en el medioambiente, al disminuir la emisión de sustancias dañinas, reducir la extracción de materia prima y el vertimiento de los residuos de construcción. Como conclusión del estudio, se determina que la incidencia del uso de agregados de residuos de construcción y demolición en el medioambiente es positiva.

Palabras clave: residuos de construcción y demolición, agregados, medioambiente, reciclaje, diseño de mezcla

ABSTRACT

The research presented here aims to determine the impact of the use of construction and demolition waste aggregates on the environment. For this, a systematic review of the literature was conducted, specifically of articles published in journals from 2018 to 2023 in three databases (Google Scholar, SciELO and Dialnet), using the PRISMA method, in order to obtain publications that respond to the objective and the research question posed in this study. Inclusion and exclusion criteria were applied to select the articles. As a result of the review, 15 research studies were obtained, from which it was determined that the use of construction and demolition waste as aggregates has a positive impact on the environment by reducing the emission of harmful substances, reducing the extraction of raw materials and the dumping of construction waste. As a conclusion of the study, it is determined that the impact of the use of construction and demolition waste aggregates on the environment is positive.

Keywords: construction and demolition wastes, aggregates, environment, recycling, mix design

INTRODUCCIÓN

Actualmente, el sector de la construcción está mostrando un gran crecimiento, debido a la cantidad de solicitudes para construir residencias, carreteras, casas, centros comerciales y otros tipos de edificaciones. La puesta en marcha de los proyectos de construcción es beneficiosa para muchas personas y empresas, ya que brinda un espacio donde vivir o formar negocios. Sin embargo, también se ha identificado que posee ciertas desventajas vinculadas con el medioambiente, en vista de que se genera una gran cantidad de residuos de construcción y demolición que, posteriormente, son colocados en vertederos sin ser clasificados de acuerdo con su nivel de peligrosidad.

Esta situación ha generado una gran preocupación en la población, pues la alta cantidad de desechos propaga diversas enfermedades. Asimismo, los residuos de construcción y demolición son elementos que dañan los ecosistemas, lo que se refleja en la alta contaminación ambiental. Para evitar este tipo de situaciones, los Estados han desarrollado leyes para clasificar los desechos y reutilizarlos de manera adecuada, ya que se ha demostrado que pueden volver a ser útiles para producir concreto. Además, las empresas intentan reciclar los residuos para evitar mayores gastos en los proyectos de construcción, para lo cual no solo capacitan a sus trabajadores, sino también evalúan la calidad de los agregados para obtener concretos de mejor calidad.

Debido a ello, se ha empezado a fomentar el uso de agregados reciclados para obtener concreto para obras, lo cual es determinante para cuidar el medioambiente. Asimismo, es una medida que ayuda a que las empresas de construcción apliquen la economía circular, con lo cual reducen sus gastos financieros e incrementan sus ganancias. De este modo, la reutilización de los residuos de construcción y demolición ofrece grandes ventajas a la población, siempre que se consideren las normativas de su uso y el impacto que pueda tener en el medioambiente.

CAPÍTULO I

RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

En las últimas décadas, el sector de la construcción ha crecido significativamente debido a la necesidad de mejorar carreteras, veredas y otras obras públicas, así como construir hogares, centros comerciales o negocios. Todo esto ha generado una gran cantidad de residuos de construcción y demolición (RCD), los cuales se han convertido en un problema ambiental, no solamente por su cantidad, sino también por la disposición inadecuada que se les otorga, lo que ha acrecentado la contaminación del suelo, aire y mar. Este problema no es solo local, sino mundial, razón por la cual diversas naciones han tomado medidas para evitar dañar el paisaje y disminuyan los recursos naturales.

Ante dicho problema, se han establecido normativas para construir y gestionar apropiadamente los residuos de construcción y demolición, entre los que destacan la clasificación de acuerdo con su nivel de peligrosidad y colocación en el vertedero correspondiente, aprovechamiento o reutilización de RCD como materias primas, reincorporación de residuos en procesos constructivos, procesamiento de los residuos para ser convertidos en agregados minerales o su aprovechamiento como llenantes minerales. Estas son algunas de las medidas implementadas que inciden positivamente en el medioambiente, así como en la economía de las empresas constructoras.

Se trata de que los RCD no dañen el ambiente, y a su vez implementar la economía circular en el sector de la construcción. Para esto, se requiere que las empresas a cargo de las construcciones conozcan la normativa nacional e implementen medidas que ayuden a que los RCD no dañen el medioambiente

y así mantener un ecosistema limpio, evitando el desarrollo de enfermedades debido a la inadecuada gestión de los residuos.

1.1. Aspectos esenciales sobre los residuos de construcción y demolición

La construcción es una actividad que genera gran cantidad de residuos o desechos, muchas veces peligrosos para la salud. A su vez, estos desechos pueden ocasionar un gran daño ambiental si no son gestionados correctamente por las empresas a cargo de las obras, dado que muchos de los residuos pueden tener sustancias tóxicas que al ser desechadas en los vertederos no solo afectan el ecosistema, sino también la salud humana. Esto se debe, principalmente, a que se observa una poca o nula implementación de un proceso de clasificación y control para reutilizar y reciclar los residuos, y garantizar la sostenibilidad.

En este aspecto, dentro del marco del sector de la construcción y para evitar continuar dañando el medioambiente, las empresas a cargo de las diversas obras del país se han planteado la reutilización de los materiales desechados de la construcción. Para asegurar que los desechos sean reutilizados, se ha establecido una normativa nacional que clasifica los residuos correctamente y busca evitar el uso de sustancias tóxicas. Además, al realizar el análisis respectivo, existe la posibilidad de incentivar y direccionar al sector de la construcción a optimizar las alternativas de estandarización de procesos respecto al ahorro en recursos. Así también, se logrará la identificación de opciones para tratar los residuos en la obra desde el momento que se generen hasta su uso, con el propósito de cumplir con un enfoque sostenible (Delgado-Larrea *et al.*, 2021).

En un sentido estricto, los residuos de construcción y demolición (RCD) son los subproductos generados de las actividades de reformas, construcción y demolición de obras civiles, como ladrillos, residuos de concreto, madera, yeso, cerámica y vidrio. Por otro lado, son uno de los principales residuos en el mundo que afectan de manera negativa y directa la preservación y conservación del medioambiente. Esto se debe a que los materiales resultados no son

reutilizados, a pesar de tener un alto potencial para que vuelvan a ser usados en obras de ingeniería civil (Sociedad Colombiana de Ingenieros, 2020).

Autores como Sanil & Sanitha (2023) señalan que los residuos de construcción y demolición son uno de los mayores problemas ambientales, sobre todo si no son tratados ni reciclados adecuadamente, a pesar de la constante urbanización mundial, que incluye la constante construcción de obras (edificios, pavimentos, carreteras) y el incremento de la contaminación ambiental y el consumo de recursos naturales.

Los residuos de construcción y demolición tienen una serie de características, las cuales se enlistan a continuación:

- Los RCD son restos sólidos provenientes de actividades de construcción, demolición, excavación o reparación de obras, ya sean civiles o particulares.
- Los RCD suelen proceder de rechazos de los materiales de construcción de pequeñas obras u obras de nuevas plantas.
- La gestión inadecuada de los RCS afecta el espacio público y los elementos de la naturaleza porque produce los siguientes efectos: contaminación de los recursos naturales (suelo, agua y aire), pérdida de los ecosistemas estratégicos, riesgos para la salud poblacional, disminución de la materia orgánica, mezcla de materiales peligrosos y afectación a fuentes hídricas.
- La mayor parte de los residuos son llevados a los vertederos, lo que forma un impacto negativo visual, paisajístico y ecológico, porque dichos residuos no fueron clasificados apropiadamente.
- El aumento de los RCD en los vertederos por el incremento de las obras de construcción puede ser manejado por las empresas para ayudar a la preservación de los ecosistemas y la calidad de vida de los habitantes.
- El uso correcto de los RCD permite reducir el impacto negativo en la salud de los pobladores y el medioambiente.

- Los RCD procesados para su reciclaje incluyen, principalmente, productos cerámicos, material asfáltico y residuos de hormigón. En menor medida, abarcan plásticos, vidrio y madera.

Los residuos de construcción y demolición son subproductos generados de las construcciones que tienen el potencial para ser reutilizados o sometidos a procesos de tratamiento y disposición final, con lo cual se disminuye su impacto en el medioambiente, se promueve la sostenibilidad y se fomenta la aplicación de una economía circular en aquellas empresas del sector construcción.

1.2. Residuos de construcción y demolición: clasificación

Los RCD se pueden clasificar de muchas maneras, debido a la gran cantidad de componentes que abarcan, el lugar de procedencia, el nivel de toxicidad u otras características que permiten establecer una tipología diferente. Una de las clasificaciones más amplias es la establecida por De Santos *et al.* (2011), quienes dividen los RCD en dos tipos: según su origen y según su naturaleza.

1.2.1. Según su origen

De acuerdo con su origen, los RCD se clasifican en tres tipos:

Residuos procedentes de puntos de extracción de áridos o puntos de la obra

Son los residuos que están compuestos principalmente por materiales de granulometría y naturaleza variable; son de origen pétreo. Estos residuos no han sido contaminados por las demás sustancias de la obra.

Residuos de construcción

Son residuos de origen cerámico y pétreo (aproximadamente el 75 %), caracterizados por tener una gran presencia en los otros materiales de la obra. Los residuos de construcción o escombros suelen ser encontrados principalmente en los restos cerámicos o de hormigón, los cuales proceden de materiales

rotos o recortes. El porcentaje restante (25 %) está compuesto por una mezcla heterogénea de residuos, que incluyen residuos no peligrosos (papel, madera y vidrio) y peligrosos (sustancias tóxicas, pinturas, disolventes o metales).

Gran parte de los residuos de construcción son depositados en lugares no autorizados, como quebradas, piscinas aluvionales, orillas de ríos, humedales, zonas con patrimonio arqueológico y sitios con valor cultural, histórico y ambiental. Esto ha ocasionado un impacto negativo en el ambiente, la economía y la sociedad, dado que la formación de vertederos ilegales ha provocado daño a los ecosistemas y a la salud de la población, lo que se refleja en un mayor gasto público.

Residuos de demolición

Tienen cierta similitud con los residuos de construcción. Su diferencia radica en los mezclados. En los residuos procedentes de una obra de construcción es sencillo separar los restos cerámicos u otros materiales sobrantes del concreto, a diferencia de una demolición, en la que la separación no se puede realizar en la obra.

1.2.2. Según su naturaleza

La segunda clasificación, propuesta por De Santos *et al.* (2011), se da según su naturaleza; es decir, según la procedencia de los residuos.

Residuos inertes

Los residuos inertes son sustancias que no experimentan transformaciones biológicas, químicas o físicas significativas. Se caracterizan por no ser combustibles, solubles ni reaccionar química ni físicamente ante otras sustancias (Lobo, 2023). Este tipo de residuos suelen estar vinculados con las obras y destacan por ser de gran volumen, por lo cual requieren de un contenedor de obra para su gestión y transporte.

Estos residuos no son peligrosos y suelen ser conocidos como escombros. Relacionándolos con la clasificación anterior, los residuos inertes provie-

nen de movimientos de tierra puros y puntos de extracción de áridos. Algunos ejemplos de estos tipos de residuos son los ladrillos, los restos de hormigón, el vidrio, las tejas y cualquier tipo de tierra.

Residuos no peligrosos

Se producen durante el desarrollo de actividades auxiliares, administrativas y generales, y se caracterizan por no ser peligrosos de acuerdo con la norma vigente (Ochoa, 2018), es decir, no representan ningún riesgo para la salud, dado que se asemejan a los residuos domésticos comunes. Los residuos no peligrosos se dividen en orgánicos y reciclables (papel, plásticos, vidrio) (Murillo, 2023).

Residuos tóxicos y peligrosos

Los residuos peligrosos y tóxicos se identifican por poseer alguna de las características de explosividad, reactividad, corrosividad, inflamabilidad o toxicidad, o por tener agentes infecciosos que les brindan tales particularidades, por ejemplo, embalajes, recipientes, envases y suelos que fueron contaminados durante su transporte (Arciniega *et al.*, 2019).

A pesar de que no se observan en un gran volumen en los RCD, es importante considerar su potencial contaminante o tóxico, porque tienen la capacidad de contaminar otros residuos, principalmente, los inertes. La mezcla de ambos residuos es considerada uno de los mayores problemas en el medioambiente porque ha causado una gran contaminación en el planeta en los últimos años, sobre todo, por no ser entregado a gestores autorizados. Esto no solo supone un problema ambiental, sino también un riesgo para la salud humana y la economía, ya que ha incrementado los costes de gestión.

Es importante considerar la clasificación expuesta, puesto que es obligatorio y necesario diferenciar los residuos peligrosos y los no peligrosos, considerando la normativa vigente, para evitar graves consecuencias en el ambiente y la salud de la población. Además, es necesario que todos los residuos sean gestionados correctamente; para ello, las empresas deben capacitar a sus traba-

jadores y cumplir con las condiciones de seguridad y los protocolos establecidos para evitar cualquier tipo de desastres.

1.2.3. Otras clasificaciones

De acuerdo con el Ministerio de Energía y Minas (2003), los residuos de construcción y demolición se clasifican en dos tipos: peligrosos y no peligrosos.

Residuos peligrosos

Los residuos no peligrosos son aquellos que se caracterizan por tener características de explosividad, reactividad, corrosividad, inflamabilidad y toxicidad. Proviene de actividades industriales o comerciales en instalaciones que poseen el permiso para tratar, almacenar y disponer de dichos residuos (López-Vigil *et al.*, 2015). Los efectos que generan son los siguientes:

- Contribuye significativamente con el incremento de la mortalidad o de enfermedades graves e irreversibles que suelen producir incapacidad en el afectado, por ejemplo, problemas respiratorios (asma, broncoespasmos), problemas intestinales y enfermedades de la piel.
- Es un peligro potencial para el medioambiente y la salud humana, pues se almacena, elimina, transporta o gestiona incorrectamente.

Residuos no peligrosos

Los residuos no peligrosos son sobrantes que no representan ningún riesgo para el medioambiente ni para la salud. Dentro de esta clasificación destacan los reciclables, los cuales tienen una fácil desintegración y pueden ser reutilizados dentro de un proceso productivo (Ortega-Ramírez *et al.*, 2022).

En la Tabla 1 se presenta la clasificación propuesta por el Ministerio de Energía y Minas (2003), con sus respectivos ejemplos y nivel de peligrosidad.

Tabla 1: Clasificación de los residuos de construcción y demolición

Residuos peligrosos		
Residuos	Elementos peligrosos posiblemente presentes	Peligrosidad
Restos de madera tratada	Arsénico, formaldehído, plomo, pentaclorofenol	Inflamable, tóxico
Aerosoles y envases de removedores de pinturas	Tricloroetileno, cloruro de metileno	Irritante, inflamable
Envases de adhesivos, removedores de grasa y líquidos removedor de pintura	Tricloroetileno	Inflamable, tóxico
Envases de pesticidas, lacas, pinturas, colas, contrachapados de madera,	Formaldehído	Corrosivo, tóxico
Restos de condensadores, transformadores y tubos fluorescentes	Mercurio, BPC	Tóxicos
Restos de PVC	Aditivos: plastificantes, colorantes, estabilizantes	Inflamable, tóxico
Restos de planchas de fibrocemento, paneles divisores de asbesto y pisos de vinilo (los tres con asbesto).	Amianto o asbesto	Tóxico (Cancerígeno)
Envases de solventes y pinturas.	Benceno	Inflamable
Envases de preservantes de madera.	Pentaclorofenol, formaldehído	Inflamable, tóxico
Envases de pinturas	Pigmentos: plomo, cadmio	Tóxico
Restos de baterías y cerámicos	Níquel	Tóxico
Envases de lubricantes y filtros de aceite	Hidrocarburos	Inflamable, tóxico

Residuos no peligrosos

- Instalaciones: mobiliario fijo de cuartos de baño y cocina
- Cubiertas: placas sándwich, tableros, soleras prefabricadas, tejas, claraboyas y tragaluces
- Fachada: elementos prefabricados de hormigón, revestimiento de piedra, ventanas y puertas
- Particiones interiores: ventanas, puertas, barandillas, tabiques y mamparas
- Acabados interiores: elementos decorativos, alicatados, pavimentos flotantes, cielo raso
- Estructura: pilares, vigas y elementos prefabricados de hormigón

Nota. Tomado de Ministerio de Energía y Minas (2003)

Por otro lado, se encuentra la clasificación establecida por Ortega *et al.* (2015), quienes indican que los residuos de construcción y demolición se dividen en dos grandes grupos: RCD aprovechables y RCD no aprovechables.

- RCD aprovechables: son aquellos materiales provenientes de la adecuación del terreno, por ejemplo, la nivelación o excavación de este. Se caracterizan por ser materiales pétreos sin contaminación. Algunos ejemplos de los RCD aprovechables son arcillas, caolín, limos, arena, grava, residuos de mortero, hormigón, ladrillos, cemento y residuos no pétreos (vidrio, madera, hierro, acero, plásticos, entre otros).
- RCD no aprovechables: son materiales que fueron contaminados con algún residuo peligroso o que poseen normas específicas de uso, como es el caso de los residuos biosanitarios y el asbesto (Riveros & Rojas, 2019).

En la Tabla 2 se presenta la clasificación de los dos grupos descritos, sus subclases y componentes.

Tabla 2: Clasificación de los residuos de construcción y demolición

Categoría	Grupo	Clase	Componentes
RCD aprovechables	Residuos comunes inertes mezclados	Residuos pétreos	Concretos, ladrillos, cerámicos, arenas, cantos, gravas, baldosín, mortero, bloques o fragmentos de roca y materiales inertes que no sobrepasen tamiz #200
	Residuos comunes inertes de material fino	Residuos finos no expansivos	Limos, arcillas y residuos inertes, expansivos y poco o no plásticos que sobrepasen el tamiz #200
		Residuos finos expansivos	Arcillas y lodos inertes con gran cantidad de finos altamente expansivos que sobrepasen el tamiz #200 plásticos
	Residuos comunes no inertes	Residuos no pétreos	Plásticos, maderas, PVC, cartones, siliconas, papel, cauchos y vidrios.
	Residuos metálicos	Residuos de carácter metálico	Acero, cobre, hierro, aluminio, zinc y estaño
	Residuos orgánicos	Residuos de pendones	Residuos de tierra negra
		Residuos de cespiones	Residuos vegetales y otras especies bióticas
RCD no aprovechables	Residuos contaminantes	Residuos peligrosos	Desechos de productos químicos, alquitrán, emulsiones, pinturas, disolventes orgánicos, asfaltos, aceites, resinas, tintas, plastificantes, betunes, desechos explosivos, plomo, barnices, plastificantes, tejas de asbesto, entre otros elementos peligrosos
		Residuos especiales	Polietileno icopor, lodos residuales de compuestos y <i>drywall</i>
		Residuos contaminados	Materiales pertenecientes a grupos anteriores que se encuentren contaminados con residuos peligrosos

Nota. Tomado de Ortega *et al.* (2015)

Las clasificaciones presentadas muestran la cantidad de residuos de construcción y demolición peligrosos y no peligrosos. Es importante considerar que aquellos residuos dañinos deben ser gestionados correctamente por la empresa a cargo de la obra, con la finalidad de evitar que sean vertidos en lugares que ocasionen daños ambientales. Conjuntamente, es importante seguir la normativa establecida por el país para la gestión de los residuos peligrosos y no peligrosos, de tal manera que estos últimos puedan ser reutilizados y se evite la constante producción de materiales nuevos que, en cierta medida, contaminan el medioambiente y perjudican los ecosistemas.

1.3. Normativa nacional

En la normativa nacional, existen dos documentos que dan información detallada sobre los RCD, la cual debe ser considerada por las empresas constructoras. A continuación, se detallan las normas en materia de RCD.

1.3.1. Decreto Supremo N.º 002-2022-VIVIENDA

El D. S. N.º 002-2022-VIVIENDA fue creado con la finalidad de aprobar el Reglamento de gestión y demolición de manejo de RCD y derogar el D. S. N.º 003-2013-VIVIENDA (Presidencia de la República, 2022). El objetivo de este reglamento es regular el manejo y la gestión de los residuos sólidos generados durante el proceso de demolición o construcción, para garantizar su gestión adecuada y contribuir con la sostenibilidad, la calidad ambiental y la economía circular.

En el mencionado reglamento se establecen una serie de definiciones en concordancia con los términos conceptualizados en la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental en su Reglamento y la Ley General del Ambiente. Algunos de estos términos son los siguientes: acondicionamiento, asbesto, construcción, demolición, edificación, escombros, excedentes de remoción, gestión, manejo y obligaciones ambientales. De manera conjunta,

establece la clasificación y la identificación de los RCD; además de los actores y las responsabilidades en la gestión de los RCD, los cuales son los siguientes (Presidencia de la República, 2022):

- **Autoridades sectoriales:** se encargan de regular las particularidades de la gestión de los RCD generados durante la construcción.
- **Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS):** se encarga de regular la gestión de los RCD; coordinar y fomentar la correcta aplicación del reglamento; proponer y aprobar directivas, lineamientos, guías, manuales y otras normas vinculadas con el manejo de los RCD; promover el fortalecimiento de las capacidades de los gobiernos en material de RCD e iniciativas para su manejo, valorización y minimización.
- **Municipalidades:** se encargan de regular la gestión y el manejo de los RCD de obras menores; registrar los volúmenes de RCD recolectados para tratarlos o valorizarlos; establecer rutas y horarios para transportar los residuos.
- **Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA):** se encarga de regular el ejercicio de funciones como supervisión, fiscalización y sanción para el manejo de RCD; identificar las áreas degradadas por residuos; y establecer criterios para caracterizar las áreas degradadas.
- **Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (Senace):** se encarga de revisar y aprobar el impacto ambiental, y evaluar y aprobar los proyectos de reconversión o recuperación de las áreas degradadas por RCD.

1.3.2. Decreto Legislativo N.º 1278

El Decreto Legislativo N.º 1278 fue promulgado para aprobar la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, la cual tiene por finalidad prevenir y reducir la generación de residuos sólidos, y recuperar y valorizar los residuos a nivel material y energético para reciclarlos, reutilizarlos y procesarlos a fin

de garantizar la protección del medioambiente y la salud. Para ello, en la ley se detallan los principios, lineamientos e instrumentos que deben aplicarse al gestionar los residuos sólidos.

Entre los principios se encuentran el de economía circular, valorización de residuos y los principios de responsabilidad extendida del productor, de responsabilidad compartida y de protección del ambiente y la salud pública. En los lineamientos se indican a qué acciones debe estar orientada la gestión integral. Algunos de estos lineamientos son los siguientes (Presidencia de la República, 2017):

- Reducir el uso constante de materiales.
- Desarrollar acciones de sensibilización y educación dirigida hacia toda la población para garantizar una gestión y un manejo sostenible, eficaz y eficiente de residuos sólidos.
- Fomentar la investigación e innovación tecnológica para minimizar la producción de residuos.
- Adoptar medidas de minimización de residuos sólidos mediante la reducción de sus características de peligrosidad y volúmenes de generación.
- Fomentar la valorización de los residuos sólidos y la adopción de prácticas de tratamiento.
- Procurar que la gestión de residuos sólidos sea útil para luchar contra el cambio climático.
- Desarrollar y utilizar tecnologías, prácticas, métodos y procesos de producción y comercialización que benefician la valorización o minimización de los residuos sólidos y su gestión.

Respecto a los instrumentos, se enlistan aquellos que son de gran utilidad para el uso eficiencia de los residuos sólidos, por ejemplo, acuerdos de producción limpia, Plan Nacional de Educación Ambiental, Plan Distrital de Manejo

de Residuos Sólidos Municipales y Estrategia Nacional de Ecoeficiencia. Esta ley también detalla sobre las autoridades relacionadas con la gestión, la valoración de los residuos y su gestión y manejo.

1.4. Gestión de los residuos de construcción y demolición

La elaboración de estrategias o planes de gestión de residuos de construcción y demolición es un enfoque muy común en los países, ya que son necesarios para garantizar un correcto uso y manejo de todos los tipos de residuos. Algunas de estas estrategias se han enfocado en restringir el uso de materiales vírgenes con el propósito de aumentar la conciencia ambiental y promover el reciclado y reutilización de RCD (Suárez-Silgado *et al.*, 2019).

En el caso de Perú, la gestión de RCD es inadecuada porque gran parte de los residuos no son tratados o no existe la cantidad suficiente de vertederos para la disposición final de residuos. Debido a esto, en muchas ocasiones las medidas no son cumplidas como se debe o, en ciertos casos, las empresas constructoras desconocen las regulaciones establecidas por el Estado y las estrategias de gestión de los desechos, lo que contribuye al agravamiento del cambio climático y compromete la salud de la población (Cueva *et al.*, 2022).

Ante esta situación, es importante conocer la normativa sobre gestión. En el capítulo 5 del Reglamento de gestión y demolición de manejo de RCD se establecen las normativas a seguir para gestionar los residuos sólidos, las cuales se explican a continuación (Presidencia de la República, 2022).

- Artículo 25.- Segregación de residuos sólidos de la construcción y demolición de obras menores
 - Los RCD de obras menores deben seleccionarse y segregarse en la fuente de generación antes de ser entregados a las municipalidades u otras entidades correspondientes para que puedan brindarle un servicio de manejo adecuado. Si se detecta la presencia de residuos sólidos peli-

grosos, estos deberán ser manejados de acuerdo con la normativa correspondiente.

- Las municipalidades tienen la posibilidad de regular el proceso de segregación de RCD de obras menores en la fuente, solamente si los residuos no son peligrosos, dentro del marco del Programa de Segregación en la Fuente y Recolección Selectiva de Residuos Sólidos.

- Artículo 26.- Almacenamiento en la fuente de generación de residuos sólidos de la construcción y demolición de obras menores

- El almacenamiento de los RCD debe ser efectuado en el sitio de generación, dispositivos o contenedores, de manera separada, con el propósito de evitar que sean mezclados con otros residuos y tomando en cuenta la clasificación establecida a nivel nacional para facilitar su valorización.

- Según el sistema de implementación para el manejo de RCD, las municipalidades se encargan de regular el almacenamiento de dichos residuos teniendo en cuenta las facilidades para manipularlas y, con esto, reducir los impactos negativos que puedan ocasionar en la salud y el ambiente.

- Artículo 27.- Recolección de residuos sólidos de la construcción y demolición de obras menores

- La municipalidad correspondiente, mediante el sistema implementado para el manejo de RCD o el servicio de limpieza, instituye las condiciones de recojo y entrega de los residuos con la finalidad de llevar un control de la cantidad recolectada para realizar el reporte respectivo.

- Artículo 28.- Transporte de residuos sólidos de la construcción y demolición de obras menores

- Los vehículos para transportar los RCD pueden ser de dos tipos: no convencionales y convencionales. En cualquiera de los casos, deben estar compuestos por una caja, una tolva o un contenedor metálico con los accesorios necesarios para garantizar su cobertura y se evite la dispersión de partículas, derrames o fugas de los residuos durante su traslado.

- Artículo 29.- Áreas de acondicionamiento de residuos sólidos de la construcción y demolición de obras menores

- En el marco del sistema de manejo de RCD, las municipalidades tienen la posibilidad de implementar áreas de acondicionamiento de RCD o de aquellos residuos generados durante los mantenimientos de infraestructura en la ciudad programadas por las mismas municipalidades.

- Las áreas de acondicionamiento son utilizadas para realizar una serie de operaciones con los RCD: segregación, almacenamiento, molido o trituración, limpieza, compactación física, empaque, compactación física o embalaje.

- Artículo 30.- Condiciones de las áreas de acondicionamiento de residuos sólidos de la construcción y demolición de obras menores

- Entre las condiciones mínimas se encuentran las siguientes: tener compatibilidad con la clasificación del espacio geográfico, estar situadas a una distancia no menor a 100 metros de los centros de salud y a una distancia mayor a 300 de almacenes de productos inflamables.

- Artículo 31.- Valorización de residuos sólidos de la construcción y demolición generados en obras menores

- La valorización de los RCD generados en obras menores abarca los procesos de reutilización y reciclaje.

- Según el volumen y las características de los RCD recolectados, las municipalidades se encargan de priorizar la valorización frente a la disposición final, con el propósito de entregar los residuos sólidos al encargado de una actividad productiva y pueda realizar su valorización para ser utilizado en la obra correspondiente.

Los residuos de construcción y demolición son materiales procedentes de las actividades de construcción, modificación y demolición del espacio público, obras civiles y construcciones. Los residuos pueden pertenecer a categorías

diferentes, dado que pueden ser inertes, no peligrosos, tóxicos y con un alto nivel de valorización. Aunque los RCD no tienen un tipo de composición particular, esta varía de acuerdo con el proceso de demolición, el tipo de estructura y los sistemas de gestión ambiental aplicados. Se ha identificado que muchos de los RCD son eliminados en vertederos sin ningún tipo de reutilización o recuperación o en lugares no autorizados, lo que ocasiona grandes preocupaciones económicas y ambientales, pues generan mucho daño en el paisaje, suelo, agua, atmósfera, fauna y flora, e incrementa la producción de dióxido de carbono.

CAPÍTULO II

AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO

En los últimos años, las actividades de la industria de la construcción han crecido exponencialmente; esto se debe a la expansión constante de este sector como consecuencia de las altas demandas a nivel mundial. Dicha industria se ha convertido en una de las principales consumidoras de nuevo material y, por lo tanto, contribuye a la generación de residuos sólidos, dado que se encarga de construir, remodelar y demoler edificaciones y otras construcciones que generan grandes cantidades de concreto demolido que, en la actualidad, se han convertido en un gran problema ambiental, debido a que inciden significativamente en la contaminación de los suelos, el aire y el agua.

Los residuos de construcción y demolición (RCD) son una mezcla de materiales sobrantes que provienen de las diversas actividades realizadas por el sector de la construcción, tales como renovación, construcción, demolición, excavación de terrenos y limpieza del sitio. Desde el punto de vista ambiental, estos residuos son una amenaza al medioambiente, pese a que la mayor parte de los RCD son inertes y no representan un peligro como los residuos sólidos municipales. No obstante, los RCD aumentan los gases de efecto invernadero y perjudican la salud pública.

Para evitar que los RCD continúen causando problemas en el ambiente y en los pobladores, han surgido estrategias y medidas por parte de las empresas constructoras para garantizar su reutilización como agregado para la mezcla de concreto. Además, para apoyar la reutilización, los Estados han implementado

leyes y medidas en las que se indica la forma correcta de gestionar los residuos de construcción y demolición a fin de evitar su uso inadecuado y perjudicar las construcciones futuras, ya sean edificios o carreteras. De este modo, se intenta utilizar los residuos que quedan de las actividades del sector construcción, con la finalidad de no solo fomentar la economía circular, sino también de preservar el medioambiente y evitar su contaminación.

2.1. Agregado de concreto reciclado

El agregado de concreto reciclado (ACR) es un material que ha sido utilizado previamente en otras obras, las cuales pueden haber sido demolidas y son consideradas escombros en la industria de la construcción. La diferencia principal entre el concreto compuesto de agregados naturales y el elaborado con desechos es la existencia de una cubierta de masa de cemento residual en la parte externa del ACR, lo cual afecta de cierta manera las propiedades mecánicas y físicas del concreto, por ejemplo, disminuye su resistencia a la compresión, principalmente cuando se añade una gran cantidad de agregados reciclados (Chen *et al.*, 2019; Xiao *et al.*, 2018).

Muñoz-Pérez *et al.* (2022) indican que el concreto proveniente de agregados reciclados es utilizado como agregado grueso y se caracteriza por estar compuesto con elementos previamente destruidos. Debido a esto, tiene una gran ventaja en cuanto a la economía, porque reduce los gastos de extracción de rocas, de transporte y fabricación.

La producción de concreto reciclado comienza cuando los RCD son escogidos y destrozados en pequeñas partículas por una máquina trituradora. La pulverización de los residuos es realizada en el mismo lugar de construcción, lo que reduce los costos de transporte y de materiales, ya que no es necesario comprar nuevos agregados o cementos, dado que existe material apto para ser reutilizado.

El reemplazo de los agregados reciclados puede ser de manera parcial o total, y en conjunto con los agregados naturales. Para esto, es necesario considerar que los agregados reciclados finos absorben una gran cantidad de agua, lo que disminuye la resistencia y aumenta la contracción del concreto. Como consecuencia de la gran cohesión de los residuos de construcción y demolición finos, y la alta demanda de agua usada para la mezcla del concreto, el control de calidad del concreto puede tornarse complicado.

Actualmente, el uso de agregados reciclados en las industrias de construcción ha incrementado considerablemente, debido a que existe la necesidad de reducir algunos costos de los materiales y volver a usar los desechos de construcción. Además, al descubrirse que los agregados reciclados pueden conservar las propiedades del concreto, se vuelve una alternativa más económica para realizar más obras con la misma calidad. Este uso no solo garantiza un ahorro económico a las compañías, sino que también disminuye la cantidad de materiales en los vertederos, lo cual es un aspecto importante porque mejora el paisaje, reduce la cantidad de contaminación ambiental y protege la salud de las personas que habitan en lugares cercanos a los depósitos. Debido a la gran importancia del uso de agregados reciclados, diversos países han creado normas para guiar su reciclaje y uso correcto.

2.2. Características de los agregados reciclados

Los agregados reciclados tienen una serie de características, las cuales derivan de sus propiedades. Entre las características que más destacan se encuentran las siguientes (Cárdenas & Hernández, 2014):

- La absorción del agregado reciclado es mayor que la del agregado natural en los dos tipos de agregados (fino y grueso).
- La absorción de los agregados usados para el concreto es mayor, debido a que tienen una mayor cantidad de poros.

- Las partículas de los agregados procedentes del concreto triturado tienen una baja gravedad específica.
- La densidad de los agregados reciclados es menor que la de los agregados naturales. Es preciso destacar que la densidad disminuye porque la pasta que se adhiere a los agregados pétreos es inferior a la densidad del agregado pétreo.
- La pérdida de masa en los áridos reciclados es mayor que en los áridos naturales, lo cual se debe a las microfisuras producidas durante la fase de trituración.
- El asentamiento del concreto con material reciclado es menor, efecto que puede ser mayor si se incrementa la cantidad de cemento en la mezcla. Sin embargo, en algunas ocasiones el asentamiento suele ser igual en concretos reciclados y elaborados con agregados naturales.

Al respecto, debe especificarse que las características expuestas han sido adquiridas en la mayoría de las investigaciones donde se seleccionaron y trataron agregados reciclados, y se añadieron a la mezcla, por lo que algunos aspectos pueden variar en otros estudios.

2.3. Obtención de agregados para la producción de concreto

La producción y obtención de agregados reciclados puede parecer una tarea difícil, pese a ser beneficiosa para el medioambiente, los constructores y los administradores; sin embargo, el proceso de reciclaje es sencillo (Dynamic Concrete Pumping, 2021).

1. Recolección

Primero se recolectan los escombros del concreto de aceras, edificios demolidos, carreteras, canalones, autopistas, cimientos, pistas de aeropuerto, entre otros. Después de haber hecho la recolección correspondiente, el

resto de proceso se efectúa fuera del sitio, en el lugar o en una instalación de reciclaje de hormigón.

2. Trituración

Luego de la recolección del concreto, se aplican algunos métodos para aplastarlo y triturarlo. Los métodos que suelen usarse con mayor frecuencia incluyen trituradores móviles, portátiles o estacionarios, trituradoras de cono o de impacto. Se recomienda que los trituradores de impacto sean usados en la trituración inicial. En ciertas ocasiones, se requiere aplicar un proceso de trituración secundario debido al gran tamaño de los escombros, para lo cual se usan trituradoras de cono.

3. Examinación

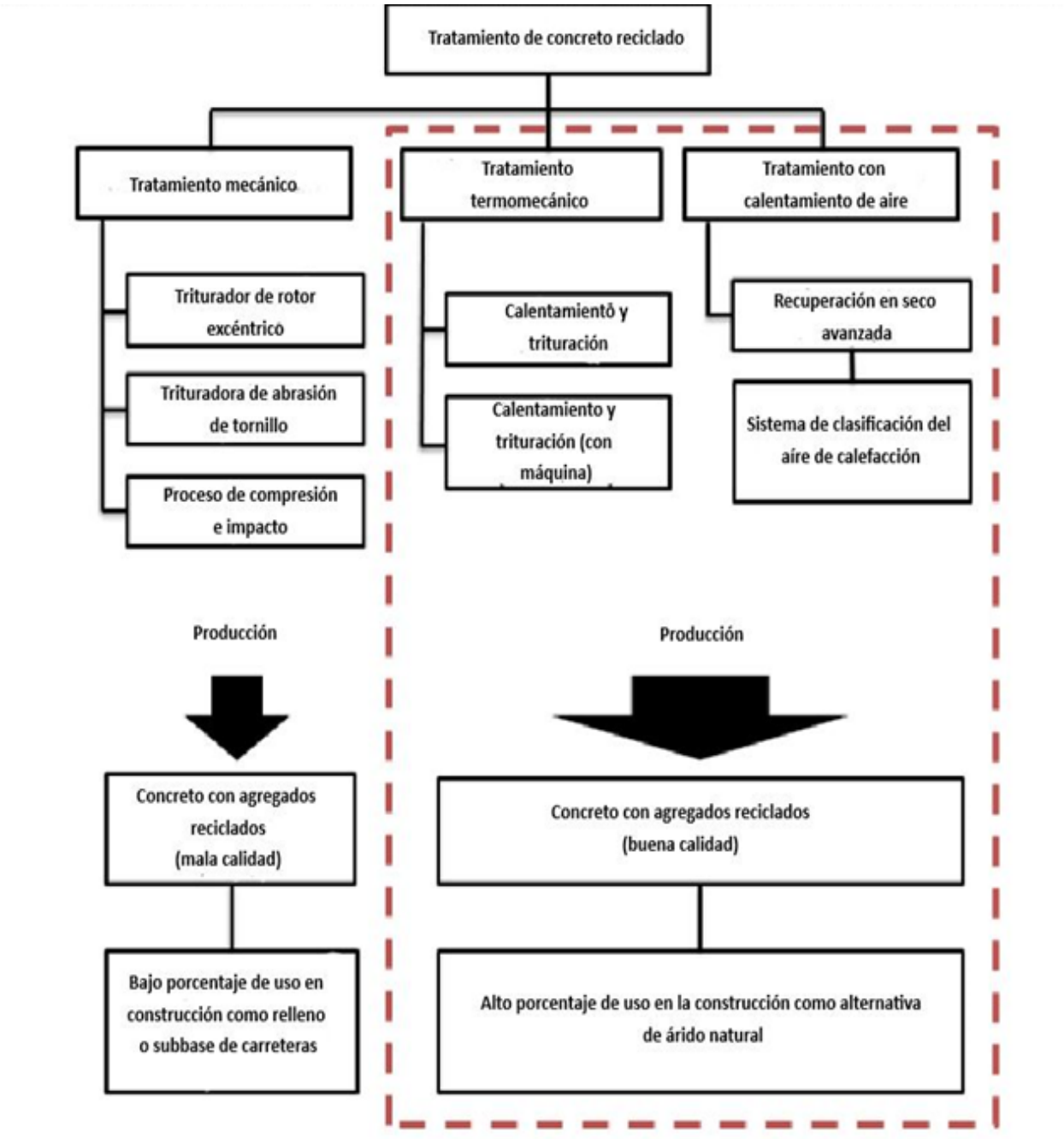
Debido a que los agregados del concreto suelen estar mezclados con otros materiales, por ejemplo, madera, metal, pavimento asfaltado, plástico y arcilla, requieren ser analizados detenidamente para efectuar la correspondiente separación de los materiales. Usualmente, el hormigón reciclado suele pasar varios procesos de cribado, lo cual depende del tipo de concreto y de donde será usado el producto final.

4. Limpieza

El último paso del proceso de reciclaje del concreto es la limpieza. Antes de que el concreto sea reciclado para producir un hormigón nuevo, los residuos restantes de los materiales deben retirarse y limpiarse. Esta labor se realiza manualmente, por separación magnética o con separadores de agua o aire.

Por otro lado, para obtener agregados y producir concretos reciclados, existen varios métodos que pueden aplicarse, los cuales se presentan en la Figura 1.

Figura 1: Métodos de tratamiento de concreto reciclado



Nota. Adaptado de Mohammad & Abdulmunem (2021)

Como se observa, existen varias etapas para tratar los residuos de concreto, así como diferentes tratamientos para efectuar dicha actividad. En el primer método de la etapa de reciclaje del concreto se observa el uso de trituradoras, seguido por el proceso de compactación; sin embargo, el resultado que se obtiene es un hormigón de baja calidad que se usa en baja cantidad

como relleno o para la mezcla de subbases de carreteras, con el fin de reforzar estas estructuras.

Respecto a los otros métodos de tratamiento, se caracterizan por aplicar el proceso de calentamiento y trituración. El desafío principal radica en separar los desechos restantes de aquellos que son útiles para la elaboración de concreto. A diferencia del método anterior, estos producen un concreto de buena calidad.

2.4. Propiedades físicas y mecánicas del concreto reciclado

El concreto reciclado posee una serie de propiedades mecánicas y físicas que ayudan a mejorar las construcciones (Zega *et al.*, 2018; Cárdenas & Hernández, 2014):

Granulometría

La granulometría del agregado fino reciclado y su módulo de finura es superior a los agregados naturales. Por esta razón, en la mayoría de los casos, las curvas granulométricas no se ubican dentro de los límites establecidos por la normativa de arenas naturales o solo la cumplen parcialmente.

Densidad

La densidad del agregado reciclado es menor que la de los agregados naturales, lo cual se evidencia en su reducción cuando se añade el agregado natural.

Resistencia

La resistencia se incrementa levemente cuando se añade más contenido de agregados reciclados a la mezcla. Esto se debe a las diferencias existentes entre los agregados reciclados y naturales en lo referente a la forma de sus partículas y la textura superficial, siendo el agregado natural más liso y redondeado, y el agregado reciclado, más rugoso y de forma irregular.

Elasticidad

La elasticidad es un parámetro de gran importancia para el cálculo estructural. En lo que respecta al análisis de la elasticidad de los concretos agregados a partir de agregados gruesos reciclados, se identificó que es inferior a la de los concretos convencionales, lo que se atribuye a la existencia del mortero que los agregados reciclados poseen, cuyo módulo de elasticidad es menor al de una roca.

Absorción de los agregados reciclados

Las investigaciones que se han realizado sobre la absorción de los agregados reciclados comparándolos con los agregados naturales son diversas (Cárdenas & Hernández, 2014). Algunos de los estudios realizados en torno a esta propiedad se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3: *Absorción de los agregados reciclados*

Autor	Material	Tipo	Absorción del agregado grueso	Absorción del agregado fino
Alan Buck	Concreto con Chert	Reciclado	4 - 4.3	7.6 - 9
	Concreto con caliza	Reciclado	3.9	No dice
	Grava Chert	Natural	2.6	4
	Caliza Picada	Natural	0.8	4
Fergus	Material reciclado	Reciclado	3.43 - 5.00	7.17 - 8.31
	Grava común	Natural	1.02	1.38
Hincapié	Arena	Reciclado	No dice	6.84
	Arena	Natural	No dice	1.21

Nota. Adaptado de Cárdenas & Hernández (2014)

En general, la absorción de los agregados reciclados es mayor que la de los agregados naturales, lo cual aplica tanto para el agregado grueso como para el fino. Esto se debe a que al ser triturados, poseen más poros y obtienen una mayor ligereza.

Gravedad específica

El Instituto Tecnológico de Massachusetts y el Departamento de Transporte de Iowa determinaron que las partículas obtenidas a partir del agregado de concreto triturado tienen una baja gravedad específica, a diferencia de los agregados que proceden de manera natural.

Desgaste

Los agregados reciclados presentan una mayor pérdida de masa, a diferencia de los agregados naturales, lo cual se atribuye a las microfisuras ocasionadas durante el proceso de trituración.

Propiedades mecánicas

Los agregados naturales suelen desarrollar propiedades mecánicas mayores que los agregados reciclados, cuya diferencia varía entre 5 % y 15 %.

2.5. Uso del agregado de concreto reciclado

El hormigón reciclado es un material muy utilizado en diversos proyectos comerciales y residenciales, así como en obras públicas, ello debido a su utilidad y similitud con el concreto fabricado. A continuación, se mencionan algunos de sus usos (Dynamic Concrete Pumping, 2021):

- Paisaje: el concreto reciclado es empleado para proyectos de paisajes comerciales y residenciales, incluida la construcción de muros de contención, muros de jardines, construcción de sistemas de drenaje de patio y grava decorativa para caminos de centros residenciales.
- Construcción: el concreto reciclado es utilizado para el relleno estructural y la subbase de las calzadas y los estacionamientos.

- Carretera: el concreto reciclado es utilizado para reparar, reconstruir y mantener las carreteras, las cuales suelen desarrollar fisuras por el peso de los carros.
- Desarrollo: el concreto reciclado es usado en varios tipos de proyectos industriales, desarrollo de oficinas y de almacenes, incluso en estructuras permanentes.
- Comunidad: las pasarelas y las aceras públicas pueden ser construidas con hormigón reciclado, las cuales suelen tener una gran duración al igual que si son construidas con hormigón virgen.
- Medioambiente: la producción de concreto reciclado es una excelente alternativa para el medioambiente y para los proyectos de restauración ambiental. Esto se debe a que el reciclaje de este producto evita la producción masiva de nuevos concretos, los cuales solo generan más dióxido de carbono y la extracción constante de materiales primas, lo que puede conllevar al agotamiento de recursos.

El uso de RCD también brinda otras ventajas, aparte de su uso en diversas estructuras, entre las que se encuentran las siguientes:

- Minimiza los RCD, el consumo de energía en el transporte y la producción de agregados, lo cual mejora la calidad del aire al reducir el CO₂.
- Brinda beneficios económicos a las empresas porque reduce el costo del envío, que en ciertas ocasiones suele ser mayor al proceso de reciclado.
- Reduce las cantidades de escombros colocados en los vertederos.
- Es versátil porque pueden obtenerse muchos tipos de agregados reciclados, lo cual es determinante en el campo de la construcción.
- Es fiable porque tiene la misma o similar durabilidad y fuerza que los agregados tradicionales.
- Promueve la economía circular en el sector de la construcción, dado que los agregados reciclados vuelven a ser utilizados en la misma obra en

lugar de ser enviados a vertederos. De esta manera, no solo se economiza, sino también se protegen los recursos naturales.

Pese a las ventajas expuestas, también se han identificado algunas desventajas que se relacionan con la implementación de controles y una gestión adecuada durante las obras de construcción, la capacitación constante de los trabajadores respecto a las normas nacionales y garantizar la calidad y el correcto rendimiento del concreto reciclado.

En suma, el uso de concreto reciclado puede beneficiar al sector construcción porque reduce los gastos en materiales, además de obtener algunas propiedades físicas o mecánicas que mejoran el proceso de construcción. Conjuntamente, es un recurso amigable para el medioambiente, ya que disminuye la cantidad de desechos en los vertederos y la extracción de recursos naturales.

CAPÍTULO III

DISEÑO DE MEZCLA Y CONCRETO

En los últimos años, el cambio climático ha influenciado de manera significativa y negativa en la salud de las personas, ya que genera destrucción de infraestructuras, como edificios, casas, carreteras, pistas, veredas, entre otros. En adición a los fenómenos climáticos, también se ha identificado que el deterioro de las construcciones son consecuencia del inadecuado manejo y aplicación de los materiales de construcción, lo que conlleva a la aparición de fisuras y derrumbamientos debido a una baja resistencia del concreto ante el impacto de la humedad o de otras condiciones.

Ante esta situación, se ha establecido el diseño de mezclas, el cual es un proceso que consiste en la selección de materiales de calidad y su correcta gestión para producir concreto de acuerdo con los requerimientos de durabilidad, resistencia, peso, costo y apariencia de acabados. En el amplio campo de la construcción, el diseño de mezclas se ha convertido en una de las principales bases para la elaboración de todos los tipos de estructura, ya que con su aplicación se garantiza la durabilidad, el manejo correcto de los materiales y la calidad de la construcción; además, se obtiene un diseño de concreto más resistente, trabajable y económico.

En este aspecto, es importante conocer las bases sobre el diseño de mezcla, con la finalidad de garantizar un trabajo de calidad, principalmente en lugares donde predomina la humedad u ocurren eventos sísmicos constantes. Conjuntamente, es necesario que los materiales sean de calidad y, en caso de proceder

de los residuos de construcción y demolición, estos deben haberse evaluado y tratado con anterioridad para evitar que la mezcla perjudique la construcción. Por tanto, el diseño de mezcla se considera un aspecto determinante para las empresas constructoras, ya que asegura la calidad de los materiales y la correcta aplicación de proporciones para elaborar concretos resistentes, durables y moldeables para cualquier tipo de estructura.

3.1. Diseño de mezclas: definición

El diseño de mezclas es el proceso de selección de los materiales y sus proporciones para la producción del concreto según los requerimientos de resistencia, costos, peso, durabilidad y apariencia de acabados. Además, es definido como un proceso por medio del cual se obtiene la cantidad necesaria de materiales (dosificación de los materiales) para producir un concreto que tenga el grado requerido de durabilidad, resistencia, estabilidad, peso unitario y apariencia adecuada. Las proporciones de los materiales van de acuerdo con los requerimientos de cada proyecto; también dependen de las características y las propiedades de los ingredientes y las condiciones bajo las cuales será producida la mezcla (Osorio, 2020).

Para el diseño de mezclas, además de verificar la calidad de los materiales, también se aplica una serie de métodos y procedimientos que tienen como finalidad garantizar una resistencia a compresión, una apropiada manejabilidad para un tiempo específico y la adquisición de otras propiedades según la normativa nacional, para así cumplir apropiadamente con el servicio y los objetivos de la obra.

Respecto a los métodos de diseño de mezclas de concreto, estos pueden ser volumétricos, experimentales y empíricos, los cuales están en constante evolución para responder a las necesidades del proyecto y cumplir con las normativas nacionales e internacionales.

3.2. Materiales usados para el diseño de mezclas

Los materiales empleados para el diseño de mezcla deben ser de calidad para asegurar una mezcla correcta. Los materiales usados en la elaboración del concreto se describen en los siguientes acápite.

3.2.1. Cemento Portland

El cemento Portland es uno de los recursos más utilizados a nivel mundial en la industria de la construcción, sobre todo para la estabilización de los suelos, debido a que garantiza que la mezcla se transforme en un material rígido y duro, y presente propiedades mecánicas que garanticen una construcción más segura y duradera, ya sea para edificios, carreteras u otro tipo de obras (Surita *et al.*, 2023).

De acuerdo con Quea *et al.* (2022), el cemento Portland se utiliza en el área de construcción y tiene una presentación de polvo fino generado por la trituración del Clinker, que es un material muy útil por tener propiedades que le permiten mezclarse rápidamente con el agua y brindar una mezcla de gran manejabilidad. El Clinker es de naturaleza hidráulica y está constituido por cal (65 %), sílice (20 %), óxido férrico y alúmina (10 %), y otros componentes (5 %). La cal está compuesta por magnesio y óxido de calcio. Para la obtención del Clinker, se aplica el siguiente proceso de producción: se muelen la cal, la arcilla y los minerales, y se calcinan a 1400 °C, lo que conlleva a que cambie sus propiedades químicas y físicas. El Clinker obtenido del paso anterior es pulverizado y se le agrega 2 % a 3 % de yeso para retardar el fraguado. Entre los componentes que resultan de dicho proceso se encuentran el sulfato de calcio [CaSO₄, yeso], aluminato tricálcico [Ca₃Al₂O₆], silicato tricálcico [Ca₃SiO₅], silicato dicálcico [Ca₂SiO₄], y aluminoferrita de tetracalcio [4CaOAl₂O₃Fe₂O₃] (Quea *et al.*, 2022).

Actualmente, existen diversos tipos de cementos Portland, los cuales se fabrican dependiendo de su uso, aplicación y exigencias establecidas por la

empresa constructora que lo usará. Estos tipos son los siguientes (NAN Arquitectura, 2023):

- Portland Tipo I: Uso general

Se utiliza en tuberías, puentes, pavimentos, pisos, unidades de mampostería, embalses, conjuntos residenciales, estructuras prefabricadas, edificios, entre otros. Este tipo se subdivide en tres categorías:

- Tipo ICO: contiene 30 % de *filler* calizo o un material de naturaleza similar
- Tipo IMS: posee una moderada resistencia a sulfatos
- Tipo IHS: alta protección contra sulfatos

- Portland Tipo II y Tipo II MH: Resistencia media a sulfatos y al calor

Se utiliza en suelos o en aquellas estructuras que se encuentran moderadamente expuestas a altas temperaturas y sulfatos. Durante su proceso de fabricación, se le agrega 8 % de aluminato tricálcico para que obtenga resistencia.

- Portland Tipo III: Fraguado rápido para soportar altas cargas

Se usa cuando es necesario que la estructura construida en la primera semana del proyecto tenga resistencia para soportar el transporte de grandes cargas. Esto se debe a que el Portland Tipo III posee grandes cualidades de dureza y fraguado. Además, se utiliza cuando se necesita un rápido desencofrado de las columnas, vigas y otras estructuras.

- Portland Tipo IV: Para bajo calor de hidratación

Se emplea para disminuir la tasa de calor generada por la hidratación en el ambiente, como sucede en las represas.

- Portland Tipo V: Con alta resistencia a los sulfatos

Se utiliza en aplicaciones que quedan expuestas a niveles altos de sulfato, por ejemplo, canales, alcantarillas y obras portuarias.

La elección del tipo de cemento Portland depende de la clase de obra que

vaya a construirse, pues se deben considerar las propiedades del diseño y los beneficios del cemento. Las propiedades suelen depender de la composición química del cemento, el cual suele estar constituido por los siguientes componentes (Becerra & Rojas, 2019):

- Silicato dicálcico (C2S): endurece lentamente y aporta significativamente en el incremento de la resistencia.
- Silicato tricálcico (C3S): endurece rápidamente. Es el componente más importante del fraguado inicial porque garantiza un endurecimiento veloz.
- Aluminio ferrito tricálcico (C4AF): disminuye la temperatura de calcinación. Se hidrata con una rapidez variable, aunque no tiene una gran contribución en la resistencia.
- Aluminato tricálcico (C3A): libera gran cantidad de calor durante los días iniciales de endurecimiento y aporta en la resistencia temprana. Aquellos cementos que no tienen una gran cantidad de este componente tienden a caracterizarse por ser resistentes a suelos y aguas con sulfatos.

Otros componentes que también constituyen al cemento (en menor cantidad) son el óxido de sodio (Na_2O), óxido de potasio (K_2O), óxido de manganeso (Mn_2O_3), óxido de titanio (TiO_2) y óxido de magnesio (MgO).

3.2.2. Agregados fino y grueso

Los agregados son componentes de gran importancia en la composición del concreto. Hoy en día, existen muchos estándares internacionales y normativas nacionales creadas con el propósito de garantizar la adecuada producción de estos materiales y asegurar que los hormigones creados sean apropiados y cumplan con la resistencia necesaria para que las construcciones sean más duraderas (Cedeño-Cedeño *et al.*, 2022).

A nivel nacional, se han establecido las Normas Técnicas Peruanas (NTP), donde se detallan las especificaciones de calidad de los productos, los métodos de ensayo, la terminología, entre otros aspectos, para proteger al consumidor.

En la industria de la construcción, algunas de las NTP que destacan son las siguientes:

- Agregados. Análisis granulométrico de los agregados grueso, fino y global. NTP 400.012-2001.
- Agregados. Durabilidad al sulfato de magnesio y sulfato de sodio. MTC E 209-1999.
- Agregados. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. NTP 339.185-2002.
- Agregados. Método de ensayo normalizado para determinar la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaño menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles. NTP 400.019-2002.
- Agregados. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso. NTP 400.02-2002.
- Agregados. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino. NTP 400.022-2002.
- Agregados. Método de ensayo utilizado para la determinación del peso unitario del agregado. NTP 400.017-1999.
- Unidades de albañilería. Requisitos para adoquines de concreto. NTP 399.611-2010

Agregado fino

Es un producto que proviene de la desintegración de la roca volcánica y sirve como material de relleno en el hormigón. De manera natural, está disponible en forma de arena, el cual es un material muy común en la construcción. Debido a ciertas propiedades de la arena (volumen, reactividad con productos químicos, gravedad específica y tamaño), tiene un aporte considerable en la resistencia y otras propiedades del concreto. La importancia de este material se debe a su relación con el agua para la formación del concreto (López, 2023).

Los agregados finos poseen las siguientes características (Holcim, 2021a):

- Bien gradados en tamaño
- Mantienen adecuadas condiciones de almacenamiento
- Ser íntegros, es decir, fuertes y estables ante el congelamiento y la presencia de agentes atmosféricos
- Ser limpio, es decir, no debe tener impurezas, como partículas deletzables o livianas (madera), finos nocivos (arcilla), materia orgánica y contaminantes (cloruros)
- Ser resistente
- Sin reacción grave ante los álcalis
- Tener buena forma (ni elongada ni plana)

En cuanto a su uso, los agregados finos suelen ser utilizados en las siguientes actividades de construcción:

- Fabricación de concreto: columnas, vigas, muros y losas
- Elaboración de prefabricados de pequeñas dimensiones: adoquines, bloques, bordillos, tubos, hormigón proyectado, hormigón asfáltico y pegado de bloques.

Agregado grueso

El agregado grueso es un material inerte que constituye más del 50 % del concreto. Es uno de los materiales de mayor importancia porque brinda ciertas propiedades internas necesarias para el hormigón, por ejemplo, cohesividad y homogeneidad, las cuales mejoran considerablemente las propiedades intrínsecas del hormigón. Este tipo de agregado es ideal para el área de construcciones civiles, por lo que se necesita en grandes cantidades. Para su obtención, se explotan aquellas minas que contengan material pétreo (Vásquez-Villegas *et al.*, 2022).

Los agregados gruesos poseen las siguientes características (Holcim, 2021b):

- Bien gradadas en tamaño
- Ser íntegro, es decir, fuerte y estable ante el congelamiento y la presencia de agentes atmosféricos.

- Ser limpio, es decir, no debe tener impurezas: partículas deleznablees o livianas (madera), finos nocivos (arcilla), materia orgánica y contaminantes (cloruros)
- Ser resistente y dura
- Tener buena forma (ni elongadas ni planas)

En cuanto a su uso, los agregados gruesos suelen ser utilizados en las siguientes actividades de construcción:

- Fabricación de concreto: columnas, vigas, muros y losas
- Elaboración de material de mejoramiento

Desde una perspectiva general, el uso de agregados tiene como finalidad reducir los costos en la producción de la mezcla (lo cual se debe a que al tener la cantidad de relleno adecuado, se reduce el contenido de cemento por metro cúbico), aportar a la resistencia final del material y ayudar a controlar los cambios volumétricos (cambios en el volumen que resultan de diversos procesos, como fraguado, curado y secado de la mezcla de concreto).

Debido a esto, tiene una gran participación en el total de la mezcla del hormigón, aproximadamente entre el 65 % y el 70 %. Además, la textura y la forma de las partículas individuales de los agregados fino o grueso influyen significativamente en la manejabilidad del concreto en su estado fresco, a la vez que mejora sus características físicas cuando se encuentra en estado sólido.

3.2.3. Agua

El agua es un elemento débilmente ionizable, que contiene algunos iones de hidrógeno y tiene un pH cercano a seis. Es un componente determinado en la mezcla de morteros y concreto porque garantizar que desarrollen propiedades ligantes. Es importante considerar que el agua empleada en la elaboración de mortero y concreto no debe contener sustancias, como ácidos, aceites, materias orgánicas y sustancias alcalinas para garantizar una buena mezcla (Morales *et al.*, 2019). En la Tabla 4 se detallan y recomiendan los valores de impurezas tolerables en el agua para una mezcla de concreto.

Tabla 4: Concentración tolerable de impureza en agua de mezcla

Tipos de impureza	Valor máximo recomendado
Aceite mineral	2 %
Ácido inorgánico	10.000 ppm
Agua con algas	No se recomienda
Agua de mar	35 000 ppm
• Para concreto pretensado o reforzado	No se recomienda
• Para concreto no reforzado	
Agua sanitaria	20 ppm
Carbonato de calcio y magnesio	400 ppm
Azúcares	500 ppm ³
Cloruro de calcio	30 000 ppm
Carbonatos y bicarbonatos de sodio y potasio	1000 ppm ³
Cloruro de magnesio	40 000 ppm
Cloruros	20.000 ppm
• Estructuras con bajo potencial de corrosión	500 ppm
• Concreto pretensado	1000 ppm
• Estructuras con elementos galvanizados y aluminio	
Hidróxido de sodio	0.5%
Hidróxido de potasio	1.2 %
PH	6-8
Partículas en suspensión	2000 ppm
Sales de hierro	40.000 ppm

Nota. Tomado de Niño (2010)

En general, se recomienda utilizar agua que tenga menos de 2000 ppm (partes por millón) de sólidos disueltos porque garantiza la correcta elaboración de concreto; caso contrario, si el agua está altamente contaminada, se perjudica las propiedades de fraguado y endurecimiento del cemento, lo que conlleva a la edificación de una inadecuada construcción al usar un hormigón poco resistente.

3.3. Consideraciones para aplicar el diseño de mezcla

Es necesario considerar tres aspectos importantes para efectuar un correcto diseño de mezcla: trabajabilidad, consistencia, y resistencia y durabilidad.

a. Trabajabilidad

Es la facilidad que el concreto fresco presenta para ser mezclado, compactado, colocado y acabado sin exudación ni segregación durante la realización de tales operaciones (Abanto, s.f.). En este aspecto, se debe plantear un adecuado diseño para garantizar la trabajabilidad del concreto y su instalación sin efectos secundarios.

b. Consistencia

Es el grado de humedecimiento de la mezcla, el cual depende en gran medida de la cantidad de agua utilizada. La consistencia también indica el grado de trabajabilidad del hormigón y su capacidad para adaptarse al molde o al encofrado con facilidad, y así evitar los vacíos (Abanto, s.f.). Para conocer el nivel de consistencia del concreto, se realiza un ensayo denominado *slump test*, que consiste en colocar una muestra pequeña de hormigón fresco en un molde y medir el asiento de la mezcla después de retirar el molde.

En este tipo de ensayo se suelen utilizar dos instrumentos: el cono de Abrams y la varilla metálica. El primero es un instrumento troncocónico de acero con un asa que permite levantar el molde verticalmente; el segundo es una barra lisa que tiene una punta semiesférica.

c. Resistencia y durabilidad

Para garantizar la resistencia y la durabilidad del concreto, es necesario aplicar buenas prácticas a fin de obtener una buena relación entre el agua y el cemento, que son las bases para obtener el hormigón deseado.

3.4. Diseño de mezclas: método ACI

El método ACI es una herramienta de gran utilidad en la industria de la construcción porque permite que los ingenieros diseñen losas horizontales y vigas de una manera muy simplificada, y que tengan como fin ser utilizadas en sistemas estructurales continuos con columnas, muros o apoyos simples sometidos a cargas gravitatorias. Es un método reconocido por la NTP Concreto Armado E 0.60 debido a su gran utilidad para calcular fuerzas cortantes para diseñar elementos continuos (Sánchez *et al.*, 2016).

El método ACI también es definido como un procedimiento con una variedad de pasos establecidos para realizar la dosificación para el diseño de la mezcla. Consiste en calcular los materiales que se usarán en la construcción (arena, piedra, agua, cemento) tanto en volumen como en peso. El método ACI se realiza en las dos etapas del concreto, es decir, en el concreto fresco y en el endurecido.

Es importante destacar que para la aplicación del método ACI en el diseño, se deben realizar estudios previos a los agregados (fino y grueso) y al cemento que se añadirá a la mezcla, con la finalidad de que el diseño de mezcla sea efectuado correctamente y se logre adquirir las cantidades necesarias de los materiales que serán utilizados en la fabricación del hormigón (Vallejos, 2023).

Para aplicar el método ACI, se debe considerar que existen dos métodos para la selección y ajuste de las proporciones para concreto de masa y pesos normales. El primer método tiene como base un peso estimado de concreto por unidad de volumen; el segundo método se basa en los cálculos de volumen absoluto que los componentes del concreto ocupan. Además de los métodos, también se tiene en cuenta una serie de pasos y de requisitos (durabilidad, resistencia, consistencia y manejabilidad) (Cordero *et al.*, 2019), como los siguientes:

- Selección del revenimiento
- Selección del tamaño máximo nominal del agregado

- Cantidad del contenido de aire y agua de mezclado
- Selección de la relación a/c
- Contenido de hormigón
- Estimación del contenido de grava y arena
- Ajustes de los agregados por humedad
- Ajustes de las mezclas de prueba

El método ACI es el más utilizado en la construcción, pero no el único, ya que también destacan el método de Fuller y de finura de agregado global. El primero sirve para determinar la ponderación de los materiales e identificar cuál posee más peso; el segundo, para estudiar la conformación de los dos tipos de agregados con el fin de determinar las proporciones adecuadas y asegurar la producción de un concreto de buena calidad.

3.5. Concreto

El concreto es el material más usado en la industria de la construcción e infraestructura porque posee las propiedades necesarias para resistir peso y humedad. Suele ser preparado usando una dosificación al volumen o peso, lo cual depende de si es fabricado *in situ* o si ha sido premezclado. El Instituto Americano del Concreto sugiere que la fabricación del concreto no debe ser realizada en la obra, sino en una planta especializada para controlar su calidad; no obstante, la práctica es muy diferente a la teoría porque en la mayoría de las veces el hormigón es fabricado en obra (Santamaría *et al.*, 2021).

Existe una diversidad de factores que se consideran durante la elaboración del hormigón para lograr que cumpla con los estándares de calidad y esté calificado para ser utilizado en algún proyecto u obra. Los criterios de calificación abarcan aspectos vinculados con la rigidez, la resistencia y la durabilidad. Respecto a este último, va a depender de las condiciones químicas y físicas de los agregados o de otros materiales que se le añadan al hormigón en las diferen-

tes fases de fabricación; debido a esto, es importante considerar las cantidades establecidas por las normas si se pretende obtener un concreto durable.

Es preciso destacar que hay información escasa sobre la extensa variabilidad generada a partir del concreto. Esto se debe a que los tipos de concreto que se han diseñado hasta la actualidad tienen propiedades para adecuarse a cada tipo de construcción, ya que se le añaden pigmentos, fibras y agregados más elaborados para resistir grandes edificaciones o carreteras para el transporte de objetivos pesados. Algunos de los hormigones desarrollados hasta hoy en día son los siguientes (Robayo-Sarmiento, 2022):

- Hormigón antibacterial: impide la proliferación y la formación de bacterias y microorganismos.
- Hormigón autocompactante: se caracteriza por tener una alta fluidez, gran resistencia a la segregación durante el transporte y su colocación, ya sea en encofrados estrechos o áreas grandes.
- Hormigón de alta resistencia: tiene una alta resistencia a la compresión, aproximadamente siete veces más que el concreto convencional.
- Hormigón drenante: denominado también hormigón poroso: se caracteriza por tener una estructura granular constituida por huecos diminutos, los cuales forman canales que sirven para evacuar o drenar el agua.
- Hormigón proyectado reforzado con fibras: destaca por tener una gran capacidad para controlar la propagación o la formación de fisuras y por tener una gran tenacidad, lo que mejora la calidad de las construcciones.

El concreto en todas sus variaciones posee las siguientes características (Ponce & Calixto, 2023):

- Costo: es un material económico.
- Durabilidad: es muy duradero.
- Resistencia: tiene gran resistencia a la compresión.
- Versatilidad: puede ser utilizado para una amplia gama de aplicaciones en el sector de la construcción.

Dentro de las aplicaciones que se le otorga al concreto se encuentran las siguientes:

- Construcción de carreteras: se usa para construir puentes y carreteras.
- Construcción de edificios: se usa para construir la estructura de los edificios, incluyendo las columnas, los muros y los cimientos.
- Construcción de estructuras industriales: se usa para construir las estructuras industriales, por ejemplo, los silos y las fábricas.
- Construcción de presas: se usa para construir los embalses y las presas.
- Construcción de puentes: se usa para construir los pilares y el tablero de los puentes.

3.5.1. Curado del concreto

El curado es aquel proceso que consiste en mantener el concreto en un ambiente húmedo por varios días después de haber sido sometido al proceso de vaciado, con el fin de que adquiera la totalidad de la resistencia especificada en la obra y para evitar rajaduras superficiales en un futuro. Para ello, es preciso que se mantenga un contenido satisfactorio de temperatura y humedad en el concreto recién colado, a fin de alcanzar el desarrollo de las propiedades deseadas, como durabilidad y resistencia (Zambrano *et al*, 2022).

Existen diversos materiales y métodos para efectuar el curado del concreto. Pese a que son diferentes, todos se enfocan en asegurar el mantenimiento de humedad y la temperatura para que el método del curado sea eficiente y el hormigón tenga las propiedades esperadas. Entre los sistemas más comunes desarrollados para la realización del curado destacan los siguientes (Rojas & Gaibor, 2021):

- Cubrir la superficie: se utiliza la cara superior de las estructuras del concreto y se aplica principalmente en pavimentos, pisos y losas.
- Riego superficial: consiste en mantener la saturación del concreto por

medio del riego por aspersión, el cual debe aplicarse de manera permanente con el fin de evitar su secado superficial.

- Sellando la superficie: puede ser aplicado también en hormigones secos por medio del uso de selladores que protegen al concreto del ingreso de humedad.
- Curado por temperatura: método aplicado a través del calentamiento del concreto usando resistencias eléctricas internas o externas para acelerar las reacciones de hidratación.

3.5.2. Ensayo a compresión del concreto

El ensayo a la compresión del concreto es la medida más común utilizada por los ingenieros para el diseño de estructuras y edificios. La resistencia a la compresión es evaluada con la ayuda de probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión. Dicha resistencia es calculada partiendo de la carga de ruptura dividida por el área de sección que la carga resiste, y el resultado se expresa en libra-fuerza por pulgada cuadrada.

Los requerimientos de la resistencia a la compresión son diversos: 2.500 psi o 17 MPa hasta 4.000 psi o 28 MPa para el concreto usado en residencias y más de estos valores para estructuras de centros comerciales. En algunas estructuras los requerimientos son hasta 10.000 psi (70 MPa) (National Ready Mixed Concrete Association, 2016).

Este tipo de ensayo es muy importante en el sector de la construcción porque permite saber si la mezcla de concreto cumple con los requerimientos solicitados, y así evitar la aparición de fisuras o derrumbes, pero, sobre todo, para garantizar la seguridad de los obreros y de las personas que usarán la futura construcción.

CAPÍTULO IV

IMPACTO ECOAMIGABLE DEL AGREGADO RECICLADO DE LA DEMOLICIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS EN EL DESARROLLO DE URBANISMOS UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

El desarrollo de urbanismos es un tema de gran importancia que concierne tanto a los gobiernos como a la población, ya que toma en cuenta el crecimiento y desarrollo de las ciudades mediante políticas de planificación y ordenamiento territorial, con el propósito de atender los fenómenos sociales, territoriales y urbanos (Paz & Durán, 2023). A su vez, el desarrollo urbano es un proceso de adecuación y ordenamiento de los centros poblados en el ámbito rural y urbano por medio de la planificación de procesos y aspectos que fomenten el incremento de las actividades humanas y la mejora de las condiciones de vida de los pobladores, lo cual se refleja en el acceso a infraestructuras, servicios, bienes y equipamientos adecuados en un medioambiente saludable que no comprometa las necesidades de las próximas generaciones, es decir, que tome en cuenta el desarrollo sostenible (Castillo-García, 2020).

Al respecto, De Luaces & Schröder (2022) señalan que el desarrollo de urbanismos no debe ocasionar daños ambientales o en el paisaje, ya que esto generaría problemas para iniciar diversos proyectos para mejorar las ciudades en beneficio de la población. En este aspecto, se deben crear medidas para evitar un impacto ambiental negativo y continuar con las obras urbanísticas. Una de las alternativas de solución que se ha planteado en los últimos años es el uso

de residuos de construcción y demolición (RCD), por ejemplo, de los agregados de concreto reciclado.

Diversos autores señalan que la generación de estos residuos puede afectar el ambiente, la economía y la organización de los países porque influye en el calentamiento global, el consumo de energía y la acidificación acuática y terrestre, los cuales afectan el paisaje (Mahpour, 2018). Sin embargo, también se ha identificado que el uso de los RCD genera grandes beneficios en el medioambiente, ya que además de reducir los costos en la construcción civil, evita que una gran cantidad de estos residuos sea vertida a la naturaleza, además de una serie de cambios relacionados con la protección de áreas de conservación, reducción del uso de materias primas, casas construidas a bajo costo y reducción de enfermedades (Contreras *et al.*, 2016).

Los usos que se le otorga a los residuos de construcción y demolición son diversos porque se emplean como materia prima secundaria, lo cual minimiza los problemas ambientales originados en el sector de la construcción, dado que se maximiza el ahorro de recursos naturales y fabricados (Özalp *et al.*, 2016). Asimismo, son usados para fabricar ladrillos, cuando se mantiene una composición de 20 % residuos de concreto, 30 % de cal, cemento y 50 % de restos de cerámica (Contreras *et al.*, 2016). Debido a esto, en algunos países de Europa se ha propuesto el uso de los RCD para construir caminos y carreteras, y así evitar un impacto negativo en el medioambiente y los ecosistemas (Blaisi, 2019).

Los agregados reciclados provenientes de los residuos de construcción y demolición no solo disminuyen el daño ambiental, sino que muestran valores de estabilidad similares a los agregados naturales. Debido a esto, su uso también se sugiere como material base alternativo de pavimento asfáltico para los caminos rurales. Para ejemplificar, al sustituir entre un 10 % a 20 % de los agregados naturales, se reduce la producción de la mezcla de asfalto (Zhang *et al.*, 2019).

En la actualidad, los residuos de construcción y demolición representan un problema que puede impactar de forma negativa en los aspectos económicos, sociales y ambientales. Para evitar este tipo de situaciones, se han creado una serie de alternativas para aprovechar el reciclaje y reutilizar los residuos mientras se evita que estos sean desechados y afecten negativamente en el medioambiente. Por todo ello, los RCD han demostrado tener una amplia viabilidad ambiental, económica y técnica, al ser usados como materia prima secundaria y así reducir los costos de construcciones, mitigar la contaminación del aire y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Metodología

Se aplicó una metodología cualitativa y una revisión sistemática de la literatura, que consiste en examinar exhaustivamente los estudios que pueden responder a la pregunta de investigación formulada por medio de un proceso explícito y sistemático (Torres-Rosas, 2022).

Dicha revisión sistemática es realizada considerando los principios metodológicos y el tema base. Se efectúa mediante los siguientes pasos: formulación del problema de investigación, construcción de los criterios de selección, implementación de la estrategia de búsqueda, selección de los estudios aplicando los criterios previamente formulados y evaluación de las investigaciones en torno al tema a analizar (Luna-Villanueva, 2021).

En este aspecto, se procede con la formulación de la pregunta de investigación, la cual es realizada con base en el objetivo de estudio, que es determinar la incidencia del uso de agregados de residuos de construcción y demolición en el medioambiente. Para esto, la revisión sistemática se basa en investigaciones publicadas entre el 2018 y el 2023. Considerando lo expuesto, se propone la siguiente pregunta de investigación: ¿cómo el uso de agregados de residuos de construcción y demolición incide en el medioambiente?

Cabe precisar que la revisión sistemática fue realizada usando palabras claves (medioambiente y residuos de construcción y demolición) y operadores booleanos (AND, OR) en las tres bases de datos académicas y científicas utilizadas: Google Académico, SciELO y Dialnet, para poder responder adecuadamente la pregunta de investigación. Así también, en la revisión de artículos se aplicaron los criterios establecidos en la Tabla 1.

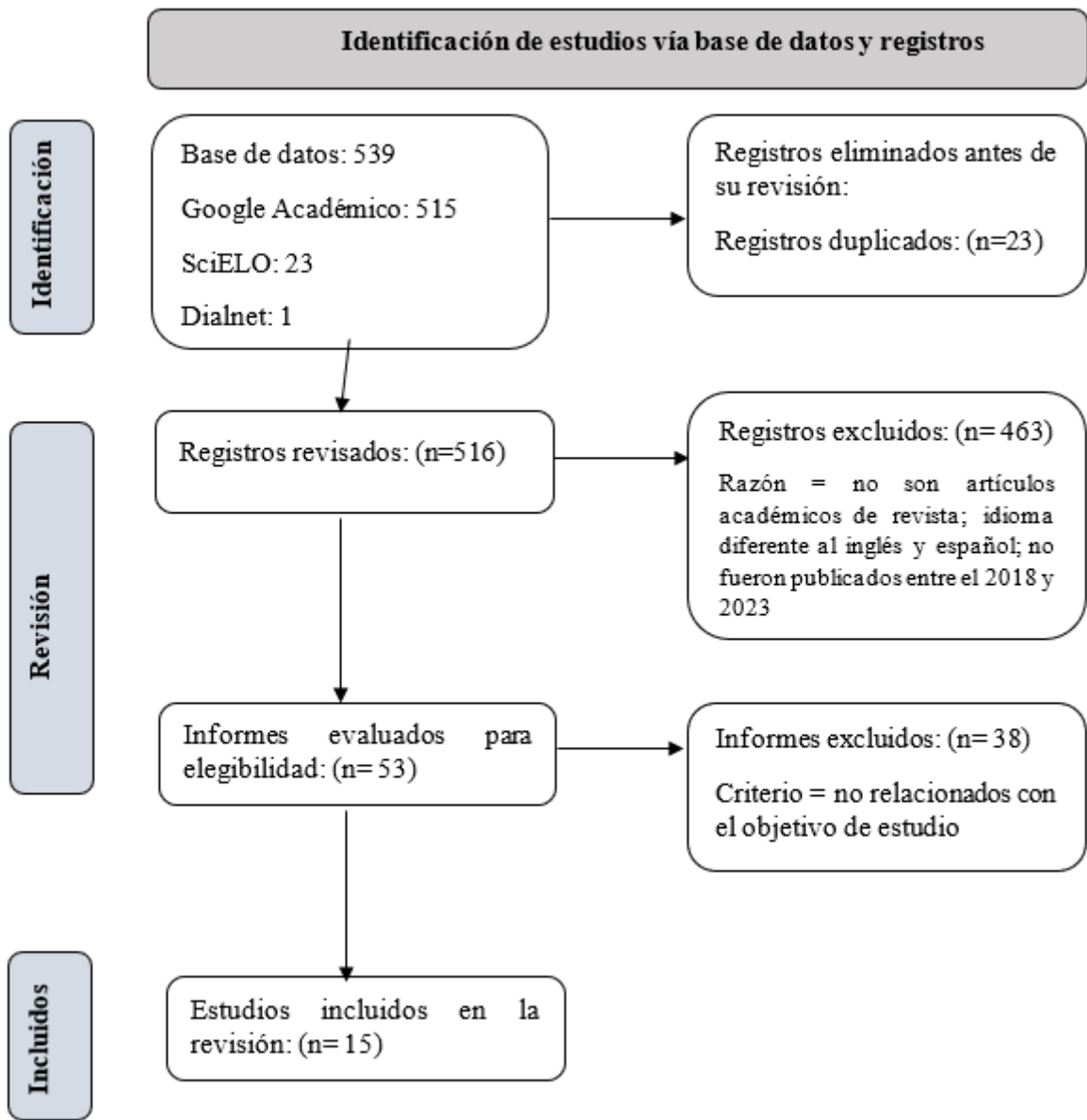
Tabla 5: *Criterios de búsqueda*

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
• Artículos publicados desde el año 2018 hasta el 2023. • Documentos que estén en idioma inglés o español. • Artículos académicos de revista.	• Artículos no publicados desde el año 2018 hasta el 2023. • Documentos que no estén en idioma inglés o español. • Tesis de titulación o posgrado, monografías y libros.

Nota. Elaboración propia

La aplicación de los criterios especificados en la tabla anterior y la búsqueda de estudios en las bases de datos correspondientes se detallan en el método PRISMA. Posteriormente, se hizo una exploración de las investigaciones en las bases de datos correspondientes (Google Académico, SciELO y Dialnet) considerando los criterios de la Tabla 1, lo cual también se presenta en el método PRISMA, dado que es un instrumento de gran utilidad para obtener investigaciones de manera estructurada relacionadas con el tema de estudio y responder la pregunta de investigación (Nuñez *et al.*, 2024). El método PRISMA del presente estudio se observa en la Figura 1.

Figura 1: Diagrama PRISMA



Nota. Elaboración propia

De acuerdo con la Figura 1, en la primera etapa se revisaron los títulos de las investigaciones y se compararon en los buscadores académicos utilizados para identificar si alguno de ellos se repetía. En la segunda etapa, se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión en los estudios restantes. Por último, se descartaron las investigaciones que no se relacionaban con el objeto de estudio o no responden al objetivo de la investigación. De esta manera, se obtienen resultados fundamentados y sólidos, y se responde a la pregunta del presente estudio.

Resultados

Después de efectuar la revisión de los documentos en las tres bases de datos usadas, se identificaron 15 artículos que cumplen con los criterios de inclusión y responden a la pregunta de investigación. Estos artículos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 6: Resultados cualitativos

Autor(es)	Año	Título	Metodología	Hallazgos
Mazhar <i>et al.</i>	2023	Sustainable usage of demolished concrete waste as a sub-base material in road pavement.	Experimental	Los RCD no deben ser considerados como residuos, sino como un material reutilizable que puede ser integrado como una estrategia en la gestión de recursos en el área de construcción en las ciudades. Esto se debe a que los residuos de concreto sirven como material base para otras construcciones, además de ser un material que ayuda a garantizar la sostenibilidad social y económica. Por ello, los gobiernos han establecido normas para reutilizar los desechos y proteger el medioambiente, en lugar de verterlos a depósitos y contaminar los ecosistemas.

Fanijo <i>et al.</i>	2023	A comprehensive review on the use of recycled concrete aggregate for pavement construction: Properties, performance, and sustainability	Cualitativa	El uso de residuos de construcción y demolición reduce los riesgos para la salud y la generación de desechos en los vertederos. Además, el uso de materiales reciclados es más amigable con el ambiente porque incide positivamente en la sostenibilidad y disminuye la producción de nuevos materiales que son perjudiciales, ya que emiten gases y ocasionan un mayor consumo de combustible.
Paul <i>et al.</i>	2023	Eco-friendly concrete with waste ceramic tile as coarse aggregate: mechanical strength, durability, and microstructural properties	Experimental	El uso de los residuos provenientes de la industria del concreto puede ahorrar toneladas métricas de emisiones de CO ₂ y cumplir con el objetivo de la sostenibilidad, sobre todo cuando los agregados suelen ser utilizados en gran cantidad en muchas estructuras de diferentes países, por ejemplo, Pakistán, India y Bangladesh.
Ayala-López <i>et al.</i>	2022	Metodologías empleadas para la producción de concreto permeable usando parcialmente materiales reciclados como agregados: una revisión literaria	Cualitativa	El uso de materiales reciclados de concreto es una buena opción para desarrollar pavimentos, aceras y ciclovías; además de ser un recurso que aporta en el desarrollo sostenible, debido a que disminuye la producción de nuevos materiales y reduce los costos de elaboración. Para esto, también es necesario aplicar metodologías que permitan reutilizar los agregados reciclados sin que estos afecten negativamente la estructura de la obra.

Piccinali <i>et al.</i>	2022	Impact of recycled aggregate on the mechanical and environmental properties of concrete: a review.	Cualitativa	Desde una perspectiva medioambiental, la liberación de contaminantes de bloques de concreto es considerablemente baja. No obstante, el concreto elaborado con agregados reciclados puede tener un gran impacto ambiental, debido a una mayor dosificación del cemento y su transporte.
Pereira & Vieira	2022	A literature review on the use of recycled construction and demolition materials in unbound pavement applications	Cualitativa	El uso de los agregados reciclados del sector construcción puede contribuir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, puesto que la sustitución parcial o total de materiales nuevos por reciclados mitiga el alto impacto ambiental al evitar el desecho de materiales contaminantes y garantizar la sostenibilidad.
Zhang <i>et al.</i>	2022	Mechanical and Environmental Evaluation of Concrete Mix Using Aggregates Recycled from Construction and Demolition Waste	Experimental	La producción de cemento representa más del 90 % de las emisiones totales de carbono, debido al proceso de calcinación. La sustitución de materiales nuevos por reciclados reduce significativamente tales emisiones; es decir, el uso de agregados reciclados mitiga el impacto ambiental y mejora la sostenibilidad al disminuir la producción de concreto.

Fang <i>et al.</i>	2021	Gestión de residuos de construcción y demolición, para mitigar el impacto ambiental y preservar nuestros recursos naturales: una revisión de la literatura	Cualitativa	La implementación de una gestión adecuada permite triturar correctamente los desechos de concretos y convertirlos en agregados reciclados para ser reutilizados en la construcción, lo cual aumenta y contribuye con el desarrollo sostenible, ecologiza el sector de construcción y permite dar un gran paso hacia el ciclo de reciclaje en las obras de construcción.
Pourkhorshidi <i>et al.</i>	2020	Using recycled aggregates from construction and demolition waste in unbound layers of pavements	Cualitativa	El uso de materiales reciclados de construcción es una solución sostenible actual implementada para disminuir la contaminación durante la construcción de pavimentos y carreteras. Esto se debe a que se ha demostrado que la reutilización de tales materiales disminuye la huella de carbono, garantiza la conservación de los recursos naturales, reduce las emisiones nocivas y minimiza los costos de construcción.
Busari <i>et al.</i>	2019	Recycled aggregate in pavement construction: review of literature.	Cualitativa	El aprovechamiento de los residuos disminuye la cantidad de materia prima empleada en las construcciones, lo que favorece su conservación. Además, se reduce el costo de energía asociado con la minería, el transporte y la extracción de agregados naturales, con lo que se conservan los recursos naturales mientras se construyen pavimentos rentables.

Madi & Srouf	2019	Managing emergency construction and demolition waste in Syria using GIS.	Cuantitativa	La gestión y el reciclaje correctos de los RCD ayudan a aliviar los problemas ambientales porque se disminuyen los desechos y, con ellos, una de las grandes amenazas que afecta el medioambiente. A pesar de esto, existen diversas razones que impiden el reciclaje y la reutilización, y que promueven el vertido ilegal y aleatorio de residuos de construcción y demolición.
Hu <i>et al.</i>	2019	Separation studies of concrete and brick from construction and demolition waste	Experimental	El reciclaje y uso de los RCD posee ventajas económicas y medioambientales porque se reduce el consumo de áridos de la naturaleza y se construyen más pavimentos con materiales que son alternativas viables para lograr un efecto positivo en el medioambiente.
Mahpour	2018	Prioritizing barriers to adopt circular economy in construction and demolition waste management.	Cualitativa	Los residuos de RCD ocasionan un terrible impacto en la población porque afectan el paisaje. Esto se debe a que, en la mayoría de los casos, no son reutilizados, debido a la falta de integración de la gestión sostenible de RCD; es decir, falta de una economía circular, lo que afecta el desarrollo sostenible al extraer constantemente materia prima.

Olofinnade <i>et al</i>	2018	Strength and microstructure of eco-concrete produced using waste glass as partial and complete replacement for sand.	Experimental	El reemplazo de materiales nuevos de construcción por reciclados puede minimizar los problemas ambientales originados por el campo de la construcción, al traer consigo diversos beneficios: reducción en las emisiones, menor uso de concreto y ahorro de energía en la producción; considerando siempre todos los procesos para que los materiales reciclados no afecten negativamente la construcción.
Suárez-Silgado <i>et al.</i>	2018	Diagnóstico y propuestas para la gestión de los residuos de construcción y demolición en la ciudad de Ibagué (Colombia)	Cualitativa	La mayoría de los residuos generados en las actividades constructivas son tierras de excavación, las cuales se depositan en vertederos. Estos residuos podrían ser utilizados para elaborar bloques de tierra comprimida, con lo que se disminuye la producción de materiales nuevos, se obtienen mejoras en el medioambiente, al evitar su contaminación con residuos, y se pone en marcha la creación de proyectos sostenibles.

Nota. Elaboración propia

La tabla anterior permite conocer los diversos resultados sobre el impacto que el uso de RCD posee en el medioambiente. A partir de dichas investigaciones, se realiza la discusión para responder a la pregunta del estudio.

Discusión

Zhang *et al.* (2022) sostienen que la producción de cemento emite más del 90 % de carbono que afecta al medioambiente. Debido a esto, es necesario empezar a sustituir materiales nuevos por reciclados para reducir de manera significativa las emisiones y mejorar la sostenibilidad. Fanijo *et al.* (2023) también señalan que las emisiones de CO₂ son producto de los residuos provenientes de la industria del concreto, los cuales pueden disminuir si se usan los RCD, como los agregados, principalmente en países donde las construcciones son frecuentes.

En consonancia, Fanijo *et al.* (2023) sostienen que el uso de RCD es beneficioso porque reduce los riesgos para la salud y es más amigable con el medioambiente, ya que disminuye la producción de nuevos materiales, los cuales emiten gases en gran cantidad y generan un mayor consumo de combustible. Por otro lado, Mazhar *et al.* afirman que los RCD no deben ser considerados como desechos, sino como materiales reutilizables para el área de construcción, debido a que pueden ser utilizados como base para la elaboración de proyectos, lo que garantiza la sostenibilidad social y económica. Por ello, los gobiernos han implementado leyes para asegurar la reutilización de RCD y proteger el medioambiente.

Busari *et al.* (2019) señalan que es importante aprovechar los residuos de construcción porque reducen la cantidad de materia prima empleada, la extracción de agregados naturales, el costo de energía y el transporte, lo que favorece la conservación de los ecosistemas. Hu *et al.* (2019) concuerdan con Busari *et al.* (2019), al indicar que el reciclaje y el uso de RCD disminuye el consumo de áridos de la naturaleza, lo que brinda ventajas medioambientales y económicas.

De manera más específica, Olofinnade *et al.* (2018) señalan que, al reemplazar materiales nuevos de construcción por reciclados, se minimizan los problemas ambientales porque se reducen las emisiones, se ahorra energía en la producción y se produce menos concreto.

Por otra parte, diversos autores destacan que el uso de RCD incide positivamente en la sostenibilidad. Ayala-López *et al.* (2022) afirman que el uso de materiales reciclados no solo es una excelente alternativa para construir ciclovías, aceras y pavimentos, sino también es un recurso que aporta en el desarrollo sostenible al reducir la producción de nuevos materiales. Para esto, se requiere tener una adecuada gestión y metodologías que permitan el rehúso de agregados reciclados. Pereira & Vieira (2022) también señalan que el uso de agregados reciclados contribuye con la sostenibilidad, pues se cumple con los Objetivos del Desarrollo Sostenible, evitando el desecho de materiales contaminantes al sustituir de manera parcial o total el uso de materiales nuevos.

Pourkhorshidi *et al.* (2020) sostienen que el uso de materiales reciclados de construcción influye positivamente en la sostenibilidad al disminuir la huella de carbono, las emisiones nocivas y la producción de nuevos materiales, con lo que se garantiza la conservación de los recursos naturales. A su vez, Suárez-Silgado *et al.* (2018) señalan que, en lugar de depositar los residuos en los vertederos, se pueden usar para elaborar bloques de comprimida, con lo que es posible cuida el medioambiente, al evitar el desecho de contaminantes; adicionalmente, indican que también se requiere poner en marcha la creación de proyectos sostenibles.

Para un correcto uso de los RCD y mejorar la sostenibilidad se requiere un sistema de gestión apropiado. Al respecto, Fang *et al.* (2021) indican que la correcta implementación de una gestión sobre el uso de RCD puede ayudar a que el sector construcción convierta los desechos en materiales reciclados y, con esto, se contribuya con el desarrollo sostenible y se incremente el ciclo de

reciclaje en dicho sector. Madi & Srouf (2019) también mencionan que es importante tener una buena gestión del reciclaje y uso de los RCD para aliviar los problemas ambientales, puesto que ayuda disminuir la cantidad de desechos. Mahpour (2018) sostiene que la falta de gestión sobre el uso de RCD ocasiona que los residuos impacten negativamente en el paisaje, lo que afecta el desarrollo sostenible, debido a la constante extracción de materia prima. Por último, Piccinalli *et al.* (2022), a diferencia de todos los autores expuestos, sostienen que el uso de RCD para elaborar concreto puede ocasionar un gran impacto ambiental, debido al constante transporte de los desechos, y a que aumenta la producción de CO₂.

Conclusiones

El uso de residuos de construcción y demolición es una buena alternativa para el sector construcción, no solamente por los beneficios económicos que genera, sino porque permite cuidar el medioambiente, evitando que se viertan grandes cantidades de residuos en la naturaleza. Además, tiene un impacto positivo en el ambiente porque reduce las emisiones de dióxido de carbono, disminuye la producción de nuevos materiales con emisiones nocivas y garantiza la conservación de los recursos naturales, evitando la constante extracción de la materia prima. En este aspecto, el uso de agregados de RCD incide positivamente en el medioambiente, ya que se trata de un recurso que contribuye considerablemente con la mejora de la sostenibilidad.

CAPÍTULO V

AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO EN LA CONSTRUCCIÓN

Actualmente, el hormigón es un material cuyo uso es imprescindible, debido a las altas prestaciones que brinda y a que garantiza la resistencia y duración de puentes, edificios, carreteras, puertos y otras construcciones. Gracias al concreto y sus atributos, es posible la existencia de algunos de los edificios más impresionantes del mundo, formados con una mezcla de arena y grava, que se ha convertido en uno de los mejores materiales de construcción, siendo aceptado universalmente por los arquitectos y constructores. Todas estas características estructurales han promovido el avance de la producción mundial de cemento desde la década del 50, con un auge envidiable en Asia, cuyo crecimiento desde la década de los 90 del siglo pasado no ha tenido parangón. En ese sentido, las previsiones indican que la población mundial del futuro que reside en áreas edificadas será el doble en los próximos 40 años, lo cual requerirá de un aumento en la producción del cemento.

Una de las alternativas más importantes ante un eventual escenario de explotación de fuentes naturales vírgenes, ha sido la creación del cemento verde mediante el empleo de materias primas ecológicas como son los residuos de las obras civiles, procurando procesos más eficientes con soluciones de captura y almacenamiento de CO₂. Este nuevo producto no solo contribuye a mitigar el cambio climático, sino que ofrece beneficios económicos y sociales, como el

ahorro de costos, la generación de empleos ligados al reciclaje y la mejora de la calidad de vida. En paralelo, se ha visto cómo el mismo sector está propiciando interesantes mejoras en la eficiencia energética de las nuevas plantas y la sustitución de los combustibles fósiles por la quema de materiales de desecho. Estas acciones en conjunto han permitido que las emisiones medias de CO₂ por tonelada de producción disminuyan en las últimas décadas.

5.1. Importancia del concreto en el campo de la construcción

El hormigón o concreto es uno de los materiales más requeridos en el mundo de la construcción moderna. Los estudios a cargo de Mobasher, citado en Orozco et al. (2018), determinaron que su producción se ha duplicado de 170 millones de m³/año en los 90, a más de 330 millones de m³ en 2004. Esta popularidad obedece al conjunto de elementos utilizados en su elaboración y los aditivos seleccionados para mejorar propiedades como la impermeabilidad, hermeticidad y resistencia, las cuales permiten adaptarlo a todo tipo de infraestructuras, desde las muy grandes y pesadas hasta las viviendas prefabricadas, para maximizar la eficiencia, durabilidad y calidad del proyecto. Igualmente, se resalta la alta disponibilidad del concreto, elaborado en cualquier parte del globo, y que puede ser usado como producto prefabricado o listo para colocarse en distintas partes de la infraestructura, una ventaja que dinamiza las actividades constructivas y reduce costos (Gutiérrez, 2021).

Sin embargo, destaca en especial por su calidad aglutinante en las tareas de mampostería, ya que permite obtener cimientos compactos que soporten el peso y movimiento de las estructuras. Su fácil manejo, mezcla y resistencia al fuego o la congelación lo convierten en un material muy versátil que se puede modificar de acuerdo a los requerimientos de la obra, una característica bien aprovechada en una amplia gama de aplicaciones, como son muros, entrepisos,

losas o estructuras decorativas (Concreto Sólido de México, 2020). La importancia del concreto para responder a la acción de los agentes atmosféricos pone de manifiesto su gran resistencia, sin necesidad de grandes mantenimientos o reparaciones, un aspecto a considerar para cualquier proyecto de construcción que se ve expuesto a los cambios climáticos; asimismo, sus propiedades estéticas permiten modificar e innovar la propuesta arquitectónica al momento de ejecutar el diseño.

Si bien la característica más resaltante de las estructuras de hormigón es su resistencia a los esfuerzos de compresión y un mayor módulo de elasticidad, su respuesta a otros tipos de esfuerzos como la tracción, flexión, cortante y más no termina de convencer; de ahí que se cuestione su desempeño en zonas de alta sismicidad, un tópico analizado más que en cualquier otro material. No obstante, los últimos movimientos telúricos destaparon una serie de deficiencias en los criterios constructivos que afectan directamente al diseño; un problema sin resolver inclusive en naciones con una tecnología sísmica avanzada. Por lo mismo, la rigidez del concreto sigue siendo valorada por los proyectistas para minimizar las deformaciones telúricas en las edificaciones, apostando por nuevas técnicas como son los muros estructurales, aceptados ampliamente en países como Chile, con excelentes resultados.

Tabla 7: Principales propiedades del concreto

Fuerza	El hormigón es un material de enorme resistencia. Su capacidad para soportar grandes tensiones y compresiones sin ceder, fracturarse o dañarse lo convierten en el componente idóneo para la construcción de cimientos, superestructuras, instalaciones de tratamiento de aguas residuales, entre otras edificaciones de gran tamaño y peso.
Trabajabilidad	El concreto es un material extremadamente manejable. A lo largo de todo un proceso que involucra el uso de maquinarias para su mezcla, transporte, colocación y acabado, se procede con relativa facilidad y sin que el material pierda su calidad.
Durabilidad	El concreto puede durar más de mil años, inclusive bajo condiciones muy adversas, pues requiere poco mantenimiento o solo algunos retoques en el acabado y por periodos. Sus características le permiten resistir a los efectos atmosféricos, la tensión de tracción, abrasión, productos químicos y la compresión por lapsos largos, sin perder su integridad estructural. Es así que la longevidad del hormigón lo convierte en un gran material para estructuras permanentes, permitiendo una mayor estabilidad en sitios con difíciles condiciones como son los puentes, presas, grandes tuberías, construcciones industriales, silos y otros.
Rentabilidad	El hormigón suele ser muy versátil, ya que puede usarse para una variedad de construcciones como edificios, pavimentos, rutas, puentes y más. Su mayor grado de flexibilidad para el diseño de estructuras permite un ahorro de costes, ya que disminuye de manera considerable las cargas muertas y los costes de cimentación.

Nota. Tomado de Benavides (2021).

El hormigón es el segundo material más utilizado a nivel global después del agua; su importancia social es posible advertirla identificándolo en las estructuras de los edificios de mediana altura, o reparando en sus bases de con-

creto ocultas bajo el terreno. Semejante relevancia obliga a vigilar el proceso de preparación del concreto bajo estrictas medidas de calidad, considerando una correcta dosificación de sus componentes, con un mezclado, transporte, vaciado, compactación y curado meticulosos. Al respecto, Rodríguez (2023) prioriza en las condiciones de humedad y temperatura para lograr el grado de hidratación adecuado, que permita desarrollar las propiedades de resistencia, estabilidad dimensional y durabilidad del hormigón. Asimismo, los ensayos posteriores *in situ* para verificar si el producto cumple con los estándares establecidos deben ser ejecutados y supervisados por mano de obra medianamente especializada.

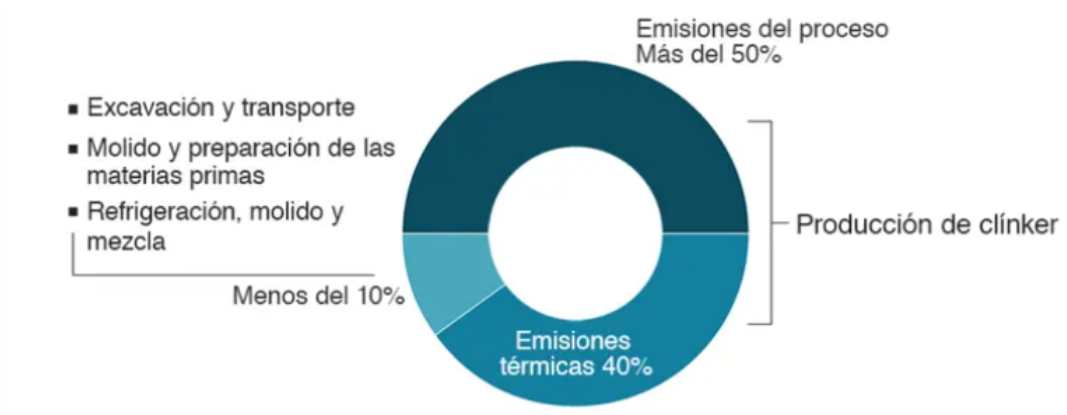
5.2. Impacto medioambiental del uso de agregados de concreto reciclado

A lo largo de la historia, el ser humano ha procurado el uso de variados materiales para la construcción de metrópolis que, con errores y aciertos, terminaron por colocar al concreto como un elemento crucial para el desarrollo de ciudades más modernas y eficientes. Las proyecciones sobre el incremento poblacional en el globo apuntan a un 70 % de personas residiendo en centros urbanos para el 2050; un crecimiento que involucra edificar más de 10 000 millones de metros cuadrados para más de 2500 millones de pobladores, además de infraestructuras de primera necesidad como hospitales, escuelas, puentes o carreteras (García, 2022). Tan significativa demanda por materiales de construcción y concentración demográfica advierten sobre el peligro de acabar con los recursos naturales a raíz de un desmedido consumo de materias primas para la construcción de viviendas, lo cual obliga a plantear respuestas y soluciones a partir de criterios de sostenibilidad.

El documento de la UN Environment Programme (2020) responsabiliza a las técnicas de construcción y el uso de los edificios del 40 % de emisiones de CO₂ en el globo, del cual el 30 % está vinculado a las fases de la obra en ciernes. Resulta claro el papel crucial que jugarán las ciudades en el cuidado

ambiental; sin embargo, acelerar la transición hacia un futuro de cero emisiones será viable con el uso de materiales y soluciones de construcción basados en los lineamientos del desarrollo sostenible. Como se indicó, el hormigón es el preferido por las contratistas a día de hoy, y se estima que su producción mundial asciende a 25 millones de toneladas en promedio, es decir, más o menos 3,8 toneladas por persona al año (Elías *et al.*, 2020). Se propone, por tanto, incorporar los residuos sólidos reciclados de concreto para reemplazar por completo o parcialmente el agregado grueso y conseguir así propiedades similares, en un esfuerzo por detener el cambio climático.

Figura 2: *Clinker, el mayor contaminante de emisiones de CO2*



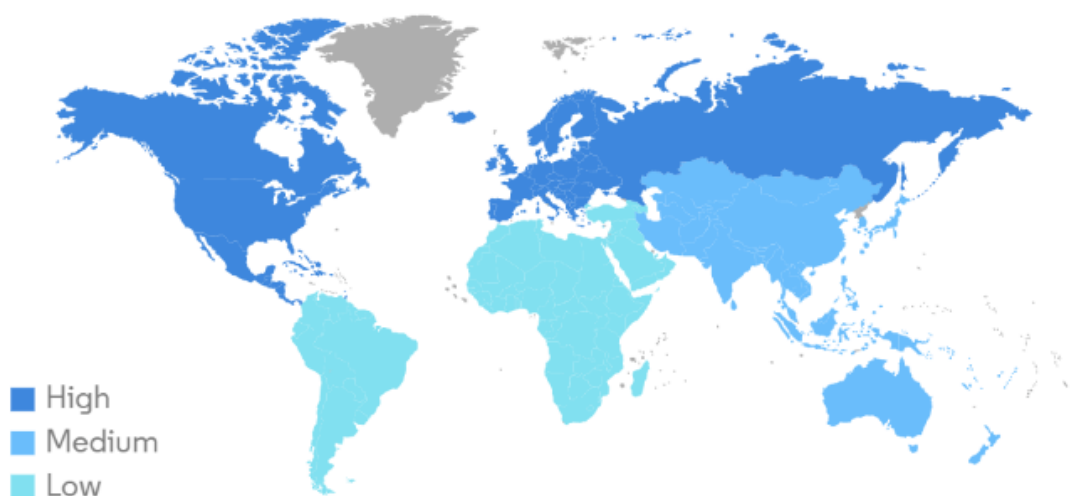
Nota. Tomado de Rodgers (2018).

El cemento tradicional presenta varios puntos críticos en su fabricación: de la extracción de áridos en las canteras y su posterior molienda, termina en hornos de altas temperaturas que generan reacciones químicas con desprendimiento de grandes cantidades de dióxido de carbono para obtener el Clinker. En el mundo, la industria cementera provoca la mayor cantidad de emisiones por dólar de ingresos; las estadísticas al respecto son contundentes: este sector produce 6,9 kg de CO2 por dólar, frente al 1,4 kg del acero y los 0,8 kg de la industria del petróleo y gas (Paz, 2023). Es perentorio lograr la descarbonización del rubro mediante la adopción de modelos basados en la eficiencia energética desde el diseño de productos; una meta que ha encontrado eco con el uso de

arcillas calcinadas del cemento verde, las cuales reducen la cantidad de Clinker empleado y la energía en todo el proceso; en consecuencia, el volumen de emisiones liberadas en el ambiente se aminora.

Existen múltiples entidades interesadas en el estudio de materiales residuales de procesos constructivos; los trabajos del American Concrete Institute (ACI) sobre la factibilidad y comportamiento de los agregados reciclados en el concreto hablan de posibilidades muy amplias para generar beneficios económicos y ambientales. La constancia por mejorar la calidad del nuevo hormigón ha conducido al análisis de bloques de cemento y concreto, recolectados de las demoliciones o fábricas productoras; asimismo, los ladrillos cerámicos, cauchos, plástico y vidrio han sido parte del prototipo de mezclas con agregados en varias proporciones. En dichas investigaciones, también se llevaron a cabo procesos de trituración con maquinaria especializada, con el propósito de obtener distintas granulometrías y generar condiciones similares a las fases productivas de carácter natural, procurando una mínima o nula disminución de las propiedades del material.

Figura 3: *Tasa de crecimiento del mercado del cemento verde por región, 2023-2028*



Nota. Tomado de Mordor Intelligence (2023).

Por otro lado, hay países involucrados en sendos proyectos constructivos centrados en la utilización de material reciclado. Las obras realizadas se caracterizan por concentrar un porcentaje máximo de reemplazo del 20 % en el diseño de viaductos (Holanda), viviendas (Alemania), losas de entepiso (Reino Unido), carreteras, calles, estructuras de escollera, material de subbase de carreteras y elaboración de concreto estructural (Japón); así como losas, obras exteriores y concreto estructural en parques zoológicos en Hong Kong (Pérez, citado en Rivera *et al.*, 2020). Este grupo de iniciativas debería incentivar la generación de un mercado de materiales reciclados e insertarse en el modelo de la economía circular, activando los instrumentos de compra y la contratación pública verde, el desarrollo de un marco normativo y la elaboración de guías técnicas, de lo cual se benefician constructoras y promotoras del comercio local y extranjero.

En tal sentido, además de mejorar las tecnologías de construcción, consolidar un mercado ecoamigable requiere del apoyo de las leyes y políticas públicas. Las directrices jurídicas deben estar dirigidas al desarrollo de un sector constructivo sostenible, que aproveche los residuos generados en las etapas de producción, generando materiales sujetos a exigentes requisitos de calidad y durabilidad que aseguren al constructor y al comprador la adquisición de productos certificados, de buen rendimiento y con valor agregado. Son pocos los países preocupados por formular tales ordenanzas, pues no siempre se cumplen las reglas aplicables a los procesos constructivos, tanto en la gestión, captación y tratamiento de desechos de obras; asimismo, en otras latitudes no hay mayor experiencia en el diseño de estrategias de acción climática para minimizar el impacto ambiental, las cuales representan una base imprescindible para materializar este tipo de iniciativas y puedan ser efectivas.

5.3. Ventajas y desventajas del uso del concreto reciclado

Mientras la demanda por materiales en la industria de la construcción sigue creciendo, las fuentes renovables de materias primas son cada vez más escasas. Ante esta circunstancia, diversos países han puesto el ojo sobre el manejo de residuos por demolición, alineados a la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (2023), que marcan el rumbo de la construcción hacia un fin más sustentable. Conscientes de las ventajas de tratar los grandes volúmenes de agregados sólidos en las obras civiles —por lo general apilados en los rellenos sanitarios—, plantean proyectos destinados a disminuir los impactos de los procesos de producción con el propósito de reducir la afectación al medioambiente. Naciones como Países Bajos, Bélgica y Dinamarca reciclan alrededor del 90 % del concreto; seguidos por Reino Unido, Finlandia y Austria, con una reutilización que va del 40 % al 70 %, motivada ante todo por el elevado costo sobre el vertido de escombros.

A nivel internacional, el reciclaje de concreto ha sido estudiado con mayor detenimiento, documentando volúmenes de residuos en el planeta que alcanzan un 40 % solo en el sector construcción, y que por lo general son escombros que acaban en rellenos sanitarios o escombreras cuando son proyectos particulares. Sin embargo, los rellenos son celdas diseñadas para el tratamiento de residuos putrescibles, acondicionados con sistemas para drenar lixiviados o gases que no producen los desechos no tradicionales, inertes y en ingentes cantidades, generando un evidente perjuicio en la inversión pública. Si bien países como Estados Unidos, Colombia, México y Brasil se inclinaron por el reciclaje de agregados, siguen siendo iniciativas a menor escala, e inclusive existen casos donde los residuos de construcción son abandonados en espacios públicos, carreteras, lotes baldíos, ríos, entre otros, generando un preocupante impacto ambiental (Castro, 2019).

Tabla 8: Mitos y verdades sobre el reciclaje de concreto

El concreto no puede reciclarse.	Si bien el concreto no se descompone en sus partes básicas, puede triturarse para su reutilización como agregado en mezclas listas de concreto, diferentes aplicaciones o ser reciclado mediante la fabricación de cemento en cantidades controladas; ya sea como materia prima alternativa para obtener el Clinker o como componente adicional al moler Clinker, yeso y otro aditivo del cemento.
No es posible usar los agregados de concreto reciclado en obras de concreto estructural.	El 20 % o más del contenido de agregados puede ser reemplazado por el concreto reciclado en proyectos estructurales.
Solo parte del concreto se recicla, y no en grandes proporciones.	Países como Japón y Holanda recuperan casi por completo los residuos del concreto.
Es posible fabricar el concreto al 100 % con el concreto reciclado.	El cemento nuevo es necesario; la tecnología actual solo permite usar una parte del concreto recuperado como agregado en muchas de las aplicaciones. Las normas regulan el contenido a ser usado; además de las propiedades físicas para el concreto estructural.
Se reduce la emisión de gases con efecto invernadero y la huella de carbono reciclando el concreto.	Una buena parte de las emisiones de gases de efecto invernadero provienen de producir cemento para fabricar el concreto. Pero es posible lograr ahorros menores si el transporte de agregados se reduce por medio del reciclaje.
Reciclar el concreto en agregados de menor grado es degradación, y no es la mejor solución a la crisis ambiental.	Los usos de menor grado suelen ser la solución más sostenible, pues evitan el uso de nuevos recursos en el proyecto y requieren de un mínimo de energía en el proceso. Ello no significa que usos más refinados no sean apropiados para ciertas situaciones.
Los agregados reciclados son los más costosos.	Mucho depende de las condiciones locales, en las cuales se incluyen los costos de transporte.

Nota. Tomado de Martínez (2020).

Diversos trabajos demuestran el potencial que tienen los escombros para ser usados como agregados reciclados, siempre que se garantice la calidad de su procedencia (demolición o residuos de obras nuevas) y se mantengan las propiedades del concreto en cuanto a la forma, densidad masiva y contenido de vacíos, textura, gravedad específica, absorción y humedad superficial, angularidad, granulometría, abrasión y contenido de humedad en la dosificación. Los resultados fueron positivos respecto al grado de resistencia logrado por mezclas de concreto con cierto porcentaje de material reciclado; un comportamiento muy favorable que se replica para los cambios en la capacidad de absorción del agua y desgaste del agregado (Cruz & Ramírez, 2022). Por lo mismo, a medida que se vaya estableciendo la influencia de estas características físicas en el concreto, será más sencillo conseguir mezclas a menor precio, sin sacrificar resistencia y durabilidad.

A pesar de la evidencia positiva, esos aspectos terminan siendo ignorados cuando se busca determinar los diseños de mezcla adecuados para los concretos con agregados reciclados. Mucha de esta indiferencia recae en la desventaja que demanda para el sector, invertir un considerable capital en un proceso de modernización de hornos y la búsqueda de materias primas. Los desembolsos más cuantiosos, pertenecen a las multinacionales colombianas y francesas, en su intento por obtener productos con una reducción notable de emisiones con nuevas mezclas, así como los aportes de la Unión Europea para financiar la búsqueda de materiales cementantes suplementarios con baja emisión del dióxido de carbono. Sin embargo, este desinterés crece sobre todo con la competencia de los grandes productores como China e India, cuya indiferencia por plantearse proyectos que reduzcan la huella de carbono resulta bastante clara (Minería Sostenible de Galicia, 2022).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abanto, F. (s.f.). *Tecnología del concreto (teoría y problemas)*. Editorial San Marcos.

Arciniega, M., Chavira, Y., Montiel, I., Peñuelas, L. (2019). Estudio del manejo de los residuos peligrosos generados en los talleres automotrices de la ciudad de Los Mochis, Sinaloa, México. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 27(2), 475-480. <https://ijias.issr-journals.org/abstract.php?article=IJIAS-19-017-02>

Ayala-López, J. E., Gil-Ahumada, E., Cornejo-Ramos, R. D., & Muñoz-Pérez, S. P. (2022). Metodologías empleadas para la producción de concreto permeable usando parcialmente materiales reciclados como agregados: una revisión literaria. *TecnoLógicas*, 25(53). <https://doi.org/10.22430/22565337.2080>

Becerra, J., & Rojas, D. (2019). Medición del flujo de calor de hidratación en pastas de cemento portland utilizando un calorímetro de diseño propio. *Revista Ciencia, Innovación y Tecnología*, 4, 16-35. <https://revista.jdc.edu.co/index.php/rciyt/article/view/788>

Benavides, E. O. (2021). *Elaboración de concreto económico utilizando casco de cerámico como reemplazo parcial del cemento* [tesis de titulación, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. Repositorio Institucional UCSTM. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/3386>

Blaisi, N. (2019). Construction and demolition waste management in Saudi Arabia: Current practice and roadmap for sustainable management. *Journal of Cleaner Production*, 221, 167-175. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.264>

Busari, A., Adeyanju, E., Loto, T., & Ademola, D. (2019). Recycled aggregate in pavement construction: review of literature. *Journal of Physics: Conference Series*, 1378(2), 022026. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1378/2/022026>

Cárdenas, W., & Hernández, J. (2014). *Caracterización de los agregados de concreto reciclado. Propiedades técnicas y uso* [tesis de licenciatura, Corporación Universitaria Minuto de Dios]. Repositorio Institucional Uniminuto. https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/3449/1/TIC_CardenasValdezWilson_2014.pdf

Castillo-García, R. (2020). Hacia el desarrollo urbano sostenible de La Costa Verde de la Megalópolis Lima Callao, Perú, al 2050. *Paideia XXI*, 10(1), 203-231. <https://doi.org/10.31381/paideia.v10i1.2987>

Castro, J. (2019). *Cuantificación y caracterización de residuos de construcción para viviendas unifamiliares en la gran área metropolitana* [proyecto de licenciatura, Universidad de Costa Rica]. Repositorio Institucional UCR. <https://repo.sibdi.ucr.ac.cr/handle/123456789/13433>

Cedeño-Cedeño, H., Chávez-Long, J., Macías-Sánchez, L. K., & Ortiz-Hernández, E. (2022). Combinación de mezclas de agregados gruesos y finos pertenecientes a la Cantera Uruzca para diferentes resistencias de hormigón. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. 5(9 Ed. esp.), 23-38. <https://doi.org/10.46296/ig.v5i9edespfab.0055>

Chen, C., Chen, Z., Xu, J., Lui, E., & Wu, B. (2018). Performance evaluation of recycled aggregate concrete under multiaxial compression. *Construction and Building Materials*, 229, 116935, 2019. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061819323773?via%3Dihub>

Concreto Sólido de México (10 de marzo de 2020). *La importancia del concreto en los proyectos de construcción*. <https://www.concretosolido.mx/la-importancia-del-concreto-en-los-proyectos-de-construccion/>

Contreras, M., Teixeira, S., Lucas, M., Lima, L., Cardoso, D., Da Silva, G., Gregório, G., De Souza, A., & Dos Santos, A. (2016). Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study). *Construction and Building Materials*, 123, 594-600. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.044>

Cordero, G., Cárdenas, J. & Rojas, J. (2018). *Diseño de mezclas de concreto método ACI*. ECOE Ediciones. <https://libros.ufps.edu.co/index.php/editorial-ufps/catalog/view/25/20/678>

Cruz Zúñiga, N. & Ramírez Picado, D. (2022). Evaluación de muestras del agregado grueso proveniente de residuos de concreto para producir nuevos concretos. *Métodos y Materiales*, 12, 1-11. <https://doi.org/10.15517/mym.v12i0.48029>

Cueva, O., Castillo-Santamaría, B., Rodríguez, D. W., & Cueva, M. (2022). Gestión de residuos de construcción y demolición frente al cambio climático. *Polo del Conocimiento: Revista Científico-Profesional*, 7(12), 846-868. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9227636>

De Luaces, A., & Schröder, K. (2022). El estado de conservación del paisaje de Galicia: veinte años después de la aprobación del Convenio Europeo del Paisaje. *Recursos Rurais*, (18), 59-76. <https://doi.org/10.15304/rr.id8566>

De Santos, D., Monercillo, B., & García, A. (2011). *Gestión de residuos en las obras de construcción y demolición*. Tornapunta Ediciones, S.L.U. <https://libreria.fundacionlaboral.org/extpublicaciones/gestionresiduos2.pdf>

Delgado-Larrea, J., Valle-Benítez, A., & Delgado-Menoscal, S. (2021). Plan de mejora del estudio de gestión integral residuos sólidos de construcción Banco del Pacífico. *Polo del Conocimiento: Revista Científico-Profesional*, 6(5), 717-739. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8016954>

Dynamic Concrete Pumping. (2021, 17 de febrero). *What Is Recycled Concrete Used For?* <https://www.dcpu1.com/blog/recycled-concrete-uses/>

Elías, J. W., Flores, J. E., Barrera, R. E. & Reyna, C. A. (2020). Efecto de la utilización de agregados de concreto reciclado sobre el ambiente y la construcción de viviendas en la Ciudad de Huamachuco. *Puriq*, 2(1), 16-27. <https://doi.org/10.37073/puriq.2.1.68>

Fanijo, E., Kolawole, J., Babafemi, A., & Liu, J. (2023). A comprehensive review on the use of recycled concrete aggregate for pavement construction: Properties, performance, and sustainability. *Cleaner Materials*, 100199. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2023.100199>

García, M. (2022, 31 de octubre). *El papel de los materiales de construcción en el crecimiento sostenible de las ciudades*. Corresponsables. <https://www.corresponsables.com/opinion/lafargeholcim-papel-materiales-construccion-crecimiento-sostenible-ciudades>

Gutiérrez, L. (2021). *La importancia de contar con prefabricados de cemento a la hora de construir*. Metroblock, fábrica de bloques metropolitana. <https://n9.cl/qo7od>

- Holcim. (2021, 10 de noviembre). *Agregados Gruesos Piedra # 67 SACOS*. <https://www.holcim.com.ec/agregados-arena-no-lavada>
- Holcim. (2021, 16 de noviembre). *Agregados Finos Arena no lavada*. <https://www.holcim.com.ec/agregados-arena-no-lavada>
- Hu, K., Chen, Y., Naz, F., Zeng, C., & Cao, S. (2019). Separation studies of concrete and brick from construction and demolition waste. *Waste Management*, 85, 396-404. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.01.007>
- Lobo, S. (2023). *Caracterización de residuos industriales*. IC Editorial. <https://acortar.link/kLlsVX>
- Lopez, E. (2023). *Caracterización física y mecánica del concreto sustituyendo el agregado fino por vidrio triturado* [tesis de licenciatura, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio Institucional USS. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/12039>
- López-Vigil, M., Heredia, A., Matías, R., Franco, B., Juárez, S., Jiménez, Y., & Hernández, E. (2015). Inventario de residuos peligrosos, el inicio de su manejo. *Revista de Tecnología e Innovación*, 2(3), 401-415. https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Tecnologia_e_innovacion/vol2num3/Revista-de-Tecnologia-e-Innovacion-vol-3-69-83.pdf
- Luna-Villanueva, M. & Canto-Herrera, P. (2021). ¿Cómo estamos evaluando la alfabetización digital? Una revisión sistemática de los instrumentos utilizados para evaluar las competencias digitales básicas. *Didáctica y Educación*, 12(5), 114-128. <https://revistas.ult.edu.cu/index.php/didascalía/article/view/1236>
- Madi, N., & Srour, I. (2019). Managing emergency construction and demolition waste in Syria using GIS. *Resources, Conservation and Recycling*, 141, 163-175. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.018>
- Mahpour, A. (2018). Prioritizing barriers to adopt circular economy in construction and demolition waste management. *Resources, Conservation and Recycling*, 134, 216-227. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.026>
- Martínez, P. (2020). *El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana* [proyecto de titulación, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio Institucional UCC. <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/f3163836-dc5b-4f5a-a872-9622afb13f4e/content>

Mazhar, M., Alam, P., Ahmed, S., Khan, M., & Adam, F. (2023). Sustainable usage of demolished concrete waste as a sub-base material in road pavement. *Frontiers in Sustainability*, 4, 106087. <https://doi.org/10.3389/frsus.2023.1060878>

Minería Sostenible de Galicia (2022, 5 de diciembre). *Cemento verde: la fabricación sostenible a través de la reducción de emisiones*. <https://minariasostible.gal/es/cemento-verde-fabricacion-sostenible/>

Ministerio de Energía y Minas. (2003). Decreto Supremo N.º 003-2013-VI-VIENDA. *Aprueban Reglamento para la Gestión y Manejo de los Residuos de las Actividades de la Construcción y Demolición*. Ministerio de Energía y Minas. https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGGAE/ARCHIVOS/5_%20DECRETO%20SUPREMO%20N%C3%82%C2%BA%20003-2013-VIVIENDA.pdf

Mohammad, I. & Abdulmunem, O. (2021). Technological strategies for recycling concrete block in Iraq. *Journal of Physics: Conference Series*, 1973, 012090. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1973/1/012090/pdf>

Morales, L., Santamaría, J., Caicedo, W., & Tipán, F. (2019). Hormigón estructural de baja densidad para edificaciones. *Ingenio*, 2(2), 58-70. <https://doi.org/10.29166/ingenio.v2i2.1704>

Mordor Intelligence (2023). *Tamaño del mercado del cemento verde y análisis de participación tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029)*. <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/green-cement-market>

Muñoz, P., Bayona, M., & Yovera, J. (2021). Gestión de residuos de construcción y demolición, para mitigar el impacto ambiental y preservar nuestros recursos naturales: una revisión de la literatura. *Ecuadorian Science Journal*, 5(2), 100-106. <https://doi.org/10.46480/esj.5.2.90>

Muñoz-Pérez, S., Calderón-Coronel, A., Caruajulca-González, A., & Huaman-Ticlla, O. (2022). Propiedades físicas y mecánicas del concreto fabricado con agregado reciclado: Una revisión literaria. *Respuestas*, 27(1), 38-56. <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/respuestas/article/view/3081>

Murillo, E. (2023). Propuesta de Evaluación de Gestión de Residuos y el impacto ambiental de la atención de los servicios de salud en el Área de Salud de Curridabat de la Caja Costarricense del Seguro Social en el 2023-2024. *Repositorio Científico*, 25(3), 85-104. <https://doi.org/10.22458/rc.v25i3.4759>

Naciones Unidas (2023). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>

NAN Arquitectura. (2023, 27 de enero). ¿Qué es el cemento Portland y para qué sirve? <https://nanarquitectura.com/2023/01/27/cemento-portland-usos/22958>

National Ready Mixed Concrete Association (2016). *Prueba de resistencia a la compresión del concreto*. <https://www.crmca.com/wp-content/uploads/2016/08/CIP-35-Spanish.pdf>

Niño, J. (2010). *Tecnología del concreto. Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas*. Asocreto.

Núñez, C., Robalino, L., Toledo, D., & Saltos, K. (2024). Integración de estrategias sobre la sostenibilidad en la Educación Superior. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*, 9(1), 163-182. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9296201>

Ochoa, M. (2018). *Gestión integral de residuos: análisis normativo y herramientas para su implementación* (2.^a ed.). Editorial Universidad del Rosario. <https://acortar.link/kLlsVX>

Olofinnade, O., Ede, A., Ndambuki, J., Ngene, B., Akinwumi, I., y Ofuyatan, O. (2018). Strength and microstructure of eco-concrete produced using waste glass as partial and complete replacement for sand. *Cogent Engineering*, 5(1), 1-19. <https://doi.org/10.1080/23311916.2018.1483860>

Orozco, M., Ávila, Y., Restrepo, S. & Parody, A. (2018). Factores influyentes en la calidad del concreto: una encuesta a los actores relevantes de la industria del hormigón. *Revista Ingeniería de Construcción*, 33(2), 161-172. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732018000200161>

Ortega, A., Casas, H., & Figueroa, Y. (2015). *Guía para la elaboración del Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición - RCD en obra*. Secretaría Distrital del Ambiente. <https://www.ambientebogota.gov.co/guia-para-la-elaboracion-del-plan-de-gestion-de-residuos-de-construccion-y-demolicion-rcd-en-obra>

Ortega-Ramírez, A., Marín-Maldonado, D., & Castro, N. (2021). Problemas de la generación, disposición y tratamiento de los residuos sólidos en el municipio de Quibdó, Colombia. *Producción+Limpia*, 16(2), 179-196. <https://doi.org/10.22507/pml.v16n2a9>

Osorio, J. (2020, 15 de julio). *Diseño de mezclas de concreto: conceptos básicos*. 360 en concreto. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/disenio-mezclas-de-concreto-conceptos-basicos/>

Özalp, F., Yilmaz, H., Kara, M., Kaya, Ö., & Şahin, A. (2016). Effects of recycled aggregates from construction and demolition wastes on mechanical and permeability properties of paving stone, kerb and concrete pipes. *Construction and Building Materials*, 110, 17-23. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.01.030>

Paul, S., Faruky, S., Babafemi, A., & Miah, M. (2023). Eco-friendly concrete with waste ceramic tile as coarse aggregate: mechanical strength, durability, and microstructural properties. *Asian Journal of Civil Engineering*, 24(8), 3363-3373. <https://doi.org/10.1007/s42107-023-00718-x>

Paz, D., & Durán, G. (2023). Planificación regional y Ordenación Territorial. Visiones Contemporáneas desde España y México. *Mundos Plurales-Revista Latinoamericana de Políticas y Acción Pública*, 10(1), 207-210. <https://doi.org/10.17141/mundosplurales.1.2023.5887>

Paz, M. (2023, 12 de septiembre). ¿Cemento verde? Rediseñando los procesos de producción desde la sostenibilidad. BBVA, Corporate & Investment Banking. <https://www.bbvacib.com/es/insights/news/cemento-verde-redisenando-los-procesos-de-produccion-desde-la-sostenibilidad/>

Pereira, P., & Vieira, C. (2022). A literature review on the use of recycled construction and demolition materials in unbound pavement applications. *Sustainability*, 14(21), 13918. <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/21/13918>

Piccinali, A., Diotti, A., Plizzari, G., & Sorlini, S. (2022). Impact of recycled aggregate on the mechanical and environmental properties of concrete: a review. *Materials*, 15(5), 1818. <https://doi.org/10.3390/ma15051818>

Ponce, M., & Calixto, J. (2023). *Utilización del aditivo microsilica para mejorar la resistencia del concreto-Huánuco, 2022*. [tesis de licenciatura, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. Repositorio Institucional UNHEVAL. <https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/9529>

Pourkhorshidi, S., Sangiorgi, C., Torreggiani, D., & Tassinari, P. (2020). Using recycled aggregates from construction and demolition waste in unbound layers of pavements. *Sustainability*, 12(22), 9386. <https://doi.org/10.3390/su12229386>

Presidencia de la República. (2017). Decreto Legislativo N.º 1278. *Decreto que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos*. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/12809/Decreto-Legislativo-N_-1278.pdf?v=1530656651

Presidencia de la República. (2022). D. S. N.º 002-2022-VIVIENDA. *Decreto que aprueba el Reglamento de gestión y demolición de manejo de residuos sólidos de la construcción y demolición*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3465398/DS%20002-2022-VIVIENDA%20%2804%20ABR%29.pdf.pdf?v=1659491492>

Quea, E., Ramirez, W., Manrique, M., Anduaga, S., Basilio, J., Anhelía, S., & Mellado, B. (2022). Eficacia antimicrobiana del cemento Portland y el Mineral Trióxido Agregado frente a *Enterococcus faecalis* y *Candida albicans*. *Research, Society and Development*, 11(3), e2311326172.

Rivera, E., Guerrero, R., Espinoza, P., Millon, G. & Areas, E. (2020). Concretos reciclados, posibilidades de investigación desde el pregrado. *Revista Arquitectura +*, 5(9), 28-39. <https://doi.org/10.5377/arquitectura.v9i5.9918>

Riveros, C. & Rojas, L. (2019). *Propuesta metodológica para el uso de residuos de construcción en sub-bases y bases de carreteras secundarias y terciarias en sub-bases y bases de carreteras secundarias y terciarias aplicado a un estudio de caso aplicado a un estudio de caso* [tesis de licenciatura, Universidad La Salle]. Repositorio Institucional Ciencia Unisalle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/552/

Robayo-Sarmiento, M. (2022). Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y caucho reciclado bajo diferentes dosificaciones. *Dominio de las Ciencias*, 8(2), 1315-1333. <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v8i2.2707>

Rodgers, L. (2018, 17 de diciembre). *La enorme fuente de emisiones de CO2 que está por todas partes y que quizás no conocías*. BBC News Mundo. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46594783>

Rodríguez, A. (2023, 8 de junio). *El hormigón en la industria de la construcción*. El Quinto Poder. <https://www.elquintopoder.cl/tecnologia/el-hormigon-en-la-industria-de-la-construccion/>

Rojas, R., & Gaibor, G. (2021). Técnica didáctica en el proceso experimental de curado con dióxido de carbono (CO₂) en losas de hormigón armado. *Conrado*, 17(82), 357-371. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1990-86442021000500357&script=sci_arttext&tlng=pt

Sánchez, N., Lermo, & J. Ochoa (2016). Importancia del método de coeficientes del ACI en el diseño de losas continuas de concreto armado. *Ingenua*, 1(1), 16-25. <https://journals.continental.edu.pe/index.php/ingenium/article/view/388>

Sanil, A., & Sanitha, S. (2023). Demolished building waste management: a review. *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research*, 10, 1-5. <https://safer.uct.cl/index.php/SAFER/article/view/346>

Santamaría, J., Adame, B., & Bermeo, C. (2021). Influencia de la calidad de los agregados y tipo de cemento en la resistencia a la compresión del hormigón dosificado al volumen. *Digital Novasinergia*, 4(1), 91-101. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2631-26542021000100091

Sociedad Colombiana de Ingenieros. (2020). *I Muestra Nacional de Proyectos de Pregrado en Ingeniería: Expresa tu Ingenio*. Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería. <https://sci.org.co/wp-content/uploads/2020/02/Libro-Expresa-tu-ingenio.pdf#page=193>

Suárez-Silgado, S., Betancourt-Quiroga, C., Molina-Benavides, J., & Mahecha-Vanegas, L. (2019). La gestión de los residuos de construcción y demolición en Villavicencio: estado actual, barreras e instrumentos de gestión. *Entramado*, 15(1), 224-244. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.5408>

Suárez-Silgado, S., Molina, J., Mahecha, L., & Calderón, L. (2018). Diagnóstico y propuestas para la gestión de los residuos de construcción y demolición en la ciudad de Ibagué (Colombia). *Gestión y Ambiente*, 21(1), 9-21. <https://www.proquest.com/openview/312f06012e378501770f4fd5c80197fb/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2035730>

Surita, L., Fernández, R. & Chahuares, L. (2023). Aporte estructural de capa base granular estabilizada con cemento Portland tipo I versus emulsión asfáltica catiónica para vías urbanas. *Gaceta Técnica*, 24(2), 4-22. <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica242.2>

Torres-Rosas, R. (2022). Generalidades de la elaboración de la revisión sistémica en acupuntura. *Revista Internacional de Acupuntura*, 16(3), 100192. <https://doi.org/10.1016/j.acu.2022.100192>

United Nations Environment Programme (2020, 25 de junio). *Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a low-carbon future*. <https://www.unep.org/resources/report/resource-efficiency-and-climate-change-material-efficiency-strategies-low-carbon>

Vallejos, J. (2023). *Propiedades Mecánicas y Microestructurales del Concreto Ecológico Sustituyendo Parcialmente los Agregados por Caucho y PET Reciclado* [tesis de Licenciatura, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio Institucional USS. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/11107>

Vásquez-Villegas, J., Vélez-Rezabala, Á., & Ruiz -Párraga, W. (2022). Elaboración de hormigón de resistencia de 21 MPa empleando agregado grueso reciclado. *Polo del Conocimiento: Revista Científico-Profesional*, 7(12), 528-540. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9227589>

Xiao, J., Zhang, K., & Akbarnezhad, A. (2018). Variability of stress-strain relationship for recycled aggregate concrete under uniaxial compression loading. *Journal of Cleaner Production*, 181, 753-771, 2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618302786?via%3Dihub>

Zambrano, L., Alava, R., Ruíz, W., & Menéndez, E. (2022). Aplicación de métodos de curado y su influencia en la resistencia a la compresión del hormigón. *Gaceta Técnica*, 23(1), 35-47. <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica231.4>

Zega, C., Sosa, M., & Di, A. (2018). Agregados reciclados de hormigón. Comportamiento mecánico del hormigón reciclado. *Ciencia y Tecnología de los Materiales*, (8), 39-49. <https://host170.sedici.unlp.edu.ar/server/api/core/bitstreams/85f4b102-b328-4726-bc82-75336e4b696d/content>

Zhang, J., Gu, F., & Zhang, Y. (2019). Use of building-related construction and demolition wastes in highway embankment: Laboratory and field evaluations. *Journal of Cleaner Production*, 230, 1051-1060. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.182>

Zhang, Y., Luo, X., Jiang, L., Chang, Y., Tang, Q., & Zhang, Z. (2022). Mechanical and Environmental Evaluation of Concrete Mix Using Aggregates Recycled from Construction and Demolition Waste. *Polish Journal of Environmental Studies*, 31(4), 3929-3940. <https://doi.org/10.15244/pjoes/147185>

SOBRE LOS AUTORES

Reynaldo Melquiades Reyes Roque

Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo

<https://orcid.org/0000-0002-9408-0069>

Edson Maycol Vergara Velasquez

Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo

<https://orcid.org/0000-0003-1606-8096>

Brayanm Reynaldo Reyes Huerta

Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

<https://orcid.org/0000-0003-2806-9010>

Hemerson Lizarbe Alarcón

Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga

<https://orcid.org/0000-0003-3682-7061>



IMPACTO ECOAMIGABLE DEL AGREGADO RECICLADO DE LA DEMOLICIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS EN EL DESARROLLO DE URBANISMOS

www.arcoeditores.com
contato@arcoeditores.com
(55)99723-4952