



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

Comportamiento mecánico y durabilidad de un hormigón reciclado
con fines estructurales en el Ecuador: Un estudio de revisión.

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autores:

Balla Pillajo, Edwin David
Yupa Apaja, Jhonnatan Javier

Tutor:

Ing. Oscar Alfredo Cevallos Velásquez, PhD.

Riobamba, Ecuador. 2023

DERECHOS DE AUTORÍA

Nosotros, **EDWIN DAVID BALLA PILLAJO** con CC: **0605034552**, y **JHONNATAN JAVIER YUPA APAJA** con CC: **0605175843**, autores del trabajo de investigación titulado: **“COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y DURABILIDAD DE UN HORMIGÓN RECICLADO CON FINES ESTRUCTURALES EN EL ECUADOR: UN ESTUDIO DE REVISIÓN”**, certificamos que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a los 19 días de octubre de 2023



Edwin David Balla Pillajo
C.I: 0605034552



Jhonnatan Javier Yupa Apaja
C.I: 0605175843

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y DURABILIDAD DE UN HORMIGÓN RECICLADO CON FINES ESTRUCTURALES EN EL ECUADOR: UN ESTUDIO DE REVISIÓN**, presentado por: **Edwin David Balla Pillajo**, con cédula de identidad número **0605034552** y **Jhonnatan Javier Yupa Apaja** con cédula de identidad número **0605175843**, emitimos el DICTAMEN FAVORABLE, conducente a la **APROBACIÓN** de la titulación. Certificamos haber revisado y evaluado el trabajo de investigación y cumplida la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

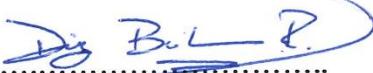
De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a los 19 días de octubre de 2023.

MSc. Andrea Natali Zarate Villacrés
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



.....
Firma

Mgs. Diego Javier Barahona Rivadeneira
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



.....
Firma

Mgs. Jorge Eugenio Núñez Vivar
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



.....
Firma

PhD. Oscar Alfredo Cevallos Velásquez
TUTOR



.....
Firma

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados **Miembros del Tribunal de Grado** para la evaluación del trabajo de investigación **COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y DURABILIDAD DE UN HORMIGÓN RECICLADO CON FINES ESTRUCTURALES EN EL ECUADOR: UN ESTUDIO DE REVISIÓN**, presentado por: **Edwin David Balla Pillajo**, con cédula de identidad número **0605034552** y **Jhonnatan Javier Yupa Apaja** con cédula de identidad número **0605175843**, bajo la tutoría de **PhD. Oscar Alfredo Cevallos Velásquez**; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

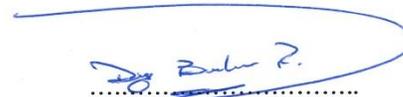
De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a los 19 días de octubre de 2023.

MSc. Andrea Natali Zarate Villacrés
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Mgs. Diego Javier Barahona Rivadeneira
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Mgs. Jorge Eugenio Núñez Vivar
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD
UNACH-RGF-01-04-02.20
VERSIÓN 02: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **Edwin David Balla Pillajo** con **CC: 0605034552**, y **Jhonnatan Javier Yupa Apaja** con **CC: 0605175843** estudiantes de la Carrera de Ingeniería Civil, **NO VIGENTE**, Facultad de Ingeniería; han trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y DURABILIDAD DE UN HORMIGÓN RECICLADO CON FINES ESTRUCTURALES EN EL ECUADOR: UN ESTUDIO DE REVISIÓN**", cumpliendo con el **1%**, de similitud de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND** porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente, autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 04 de octubre de 2023

Ing. Oscar Alfredo Cevallos Velásquez, PhD.
TUTOR DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA

La presente tesis va dedicada a Dios por permitirme llegar hasta este punto y por brindarme la sabiduría necesaria para lograr mis objetivos además de su infinita bondad y amor.

A toda mi familia en especial a mis padres: Antonio Balla y María Pillajo, quienes me han brindado amor, ejemplo y apoyo incondicional en todo este proceso, y hoy puedo ver este sueño hecho realidad.

Y a mi Tío José Pillajo, que Dios todo poderoso lo tiene en su gloria, quién con sus oraciones, consejos, palabras de aliento estuvieron presentes durante esta trayectoria, y en especial toda la confianza depositada en mí que me ha impulsado para poder cristalizar este proyecto.

Edwin David Balla Pillajo

DEDICATORIA

Dedico este logro a mis padres Eduardo y Gloria, quienes me han demostrado que las cosas se logran con esfuerzo y perseverancia, a ellos que han hecho lo imposible para mantenerme en pie y dejar de lado mis temores, para entender que el límite del éxito soy yo mismo.

A mis hermanos Cristian, Steven, y Liliana, que me han acompañado en esta travesía, demostrándome que el valor de la familia no tiene límites.

A mis sobrinos Anderson, Sophia y Leonel, que han sido mi fuente de inspiración para ser mejor persona día con día, y me han demostrado que a pesar de las derrotas siempre hay motivos para sonreír y seguir adelante.

Jhonnatan Javier Yupa Apaja

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, que es mi principal motor y apoyo para poder continuar sin desmayar, por otro lado es grato para mi haber sido parte de la Universidad Nacional de Chimborazo, que gracias a sus docentes quienes compartieron sus conocimientos y experiencias de manera profesional e invaluable, llevo como una semilla que aportara en mi formación y mi vida profesional, a si también a mis compañeros, amigos Jhonnatan Yupa y Bryan Valiente quienes me acompañaron y fueron participes de este proceso que hoy se ve reflejado en la culminación de mi paso por la universidad.

Edwin David Balla Pillajo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme estar con vida y llegar a este momento, a él porque siempre ha sido participe de mis decisiones y ha alumbrado cada paso que he dado durante mi formación Universitaria.

A mis padres y hermanos que fueron soporte fundamental durante este proceso, y a pesar de que muchas veces sentía que desistía jamás dejaron de confiar en mí y me impulsan a seguir adelante.

A mis tíos por su confianza y demostrarme que a pesar de las adversidades puedo contar con su apoyo incondicional.

A mi cuñada, Viviana M. quien siempre estuvo alentándome para continuar en esta travesía y por haberme hecho el regalo más lindo de la vida que son mis sobrinos.

A mi sobrino Anderson a quien considero como mi hijo, por brindarme momentos de alegría y mucha satisfacción, y a pesar de su corta edad siempre tiene las palabras y acciones adecuadas para olvidar las penas, siendo el motor que impulsa a lograr mis metas.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, quien me abrió las puertas para poder continuar con mi formación académica, a los docentes y a todas aquellas personas que con sus conocimientos y saberes contribuyeron a mi formación profesional.

Al Ing. Oscar Cevallos, por su tiempo y los conocimientos impartidos para el desarrollo de este proyecto.

Jhonnatan Javier Yupa Apaja

ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL.....	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL.....	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO.....	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS.....	
RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	15
1.1. Introducción.....	15
1.2. Antecedentes.....	16
1.3. Planteamiento del problema	18
1.4. Justificación.....	18
1.5. Objetivos.....	19
1.5.1. Objetivo general	19
1.5.2. Objetivos específicos.....	19
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	20
2.1. Generalidades del hormigón.....	20
2.2. Componentes del hormigón.....	20
2.3. Proceso de elaboración del hormigón convencional	21
2.4. Propiedades físicas y mecánicas del hormigón convencional	21
2.4.1. Propiedades del hormigón en estado fresco	21
2.4.2. Propiedades del hormigón en estado seco o endurecido.....	21
2.5. Hormigón reciclado.....	22
2.5.1. Obtención y clasificación de materiales reciclados para la elaboración de hormigones ..	22
2.5.2. Propiedades de los agregados reciclados	23
2.5.3. Proceso de elaboración de hormigones reciclados.....	24
2.6. Caracterización del hormigón reciclado.....	25
2.6.1. Propiedades del hormigón reciclado en estado fresco	26
2.6.2. Propiedades del hormigón reciclado en estado endurecido	26
2.6.2.1. Resistencia a esfuerzos de compresión (f_c).....	26
2.6.2.2. Resistencia a esfuerzos de flexión (f_r).....	27
2.6.2.3. Durabilidad del hormigón reciclado.	27

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	29
3.1. Metodología del estudio	29
3.2. Proceso de recolección de material reciclado para la elaboración de hormigones.....	31
3.3. Proceso de producción de agregados reciclados para la elaboración de hormigones	32
3.4. Proceso de elaboración de hormigones reciclados	33
3.5. Métodos de prueba para determinar el comportamiento del hormigón reciclado	35
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
4.1. Uso del agregado reciclado en la síntesis de nuevos hormigones, Visión general.....	38
4.2. Estudios desarrollados en Ecuador acerca de hormigones reciclados.....	41
4.3. Criterios de durabilidad del hormigón reciclado producido en el Ecuador.....	54
4.3.1. Resistencia del hormigón reciclado ante ataques de cloruros	56
4.3.2. Resistencia del hormigón reciclado a la congelación y el deshielo.....	57
4.3.3. Resistencia a la abrasión del hormigón reciclado.....	58
4.3.4. Resistencia del hormigón reciclado a la carbonatación.....	58
4.3.5. Absorción en el hormigón reciclado.....	59
4.3.6. Contracción por secado en el hormigón reciclado	59
4.4. Ventajas y desventajas que genera el uso de hormigones reciclados en la construcción....	61
4.5. Avances alcanzados con la utilización de hormigones elaborados a partir de agregados reciclados en Ecuador	64
4.6. Limitaciones actuales y retos futuros para garantizar el uso de hormigones reciclados en elementos estructurales.	68
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	70
5.1. Conclusiones.....	70
5.2. Recomendaciones	71
Bibliografía	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estudios desarrollados a nivel global en torno a la síntesis de hormigones a partir de la inclusión de materiales reciclados.	40
Tabla 2 Estudios desarrollados en el Ecuador	43
Tabla 3 Características de agregados reciclados asociados a su durabilidad.....	55
Tabla 4 Ventajas y desventajas del uso de materiales reciclados en la elaboración de hormigones	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Clasificación de materiales.....	23
Figura 2 Proceso de caracterización del hormigón con agregado reciclado.....	26
Figura 3 Diagrama de flujo de la investigación.....	30
Figura 4 Reducción de la contracción por secado del hormigón de acuerdo con el porcentaje de reemplazo del agregado natural por agregado reciclado.....	60

RESUMEN

La reutilización de residuos de construcción y demolición (RCD), restos de plásticos (PET), vidrio y caucho, como sustituto de los agregados convencionales en la síntesis de nuevos hormigones resulta ser una alternativa eficiente para evitar que estos sean depositados en escombreras que ocasionan problemas de contaminación ambiental. En este sentido, el propósito del presente proyecto de investigación es recopilar información mediante un análisis comparativo de los resultados inherente al comportamiento mecánico y durabilidad de un hormigón con fines estructurales desarrollados en Ecuador a fin de determinar el avance actual de la investigación. Para lo cual se recopiló información de repositorios académicos y bases de datos científicas; donde, se obtuvo 55 artículos científicos de los cuales, 2 artículos se refieren a estudios realizados en Ecuador y 53 artículos se refieren a estudios llevados a cabo internacionalmente; además, se han revisado 28 tesis de pregrado y 3 tesis de postgrado. Encontrándose que, para la síntesis de nuevos hormigones, los agregados reciclados deben pasar por un proceso de tratamiento previo que permita determinar sus propiedades y descartar presencia de agentes contaminantes que puedan reaccionar de forma desfavorable al entrar en contacto con los demás componentes de la mezcla. Los agregados reciclados procedentes de RCD son los que mejor comportamiento presentan, lo que hace posible que se pueda sustituir fácilmente hasta el 50% del agregado grueso utilizado en el hormigón, logrando obtener resistencias similares a los reportados por hormigones convencionales; sin embargo presentan una absorción de agua aproximadamente del 10% superior a los agregados naturales, lo que hace que la demanda de agua en el hormigón se incremente afectando a la resistencia deseada, por lo que el rango de la relación agua cemento (a/c) debe estar en un rango de 0.45 a 0.62. En el hormigón donde se reemplaza el agregado natural por agregados reciclados de PET a razón del 5 al 25%, permite alcanzar resistencias a la compresión superiores a los 21 MPa y mejoras en el comportamiento a flexión, al igual que cuando se sustituye por partículas de caucho a razón de 2 al 6%. Se tiene que el vidrio en un 10 al 40% de sustitución alcanza resistencias a la compresión hasta de 28 MPa. Finalmente se evidencia que la durabilidad del hormigón reciclado depende del porcentaje de participación del agregado reciclado, la relación a/c y edad de curado.

Palabras claves: Hormigón, hormigón reciclado, agregados reciclados, comportamiento mecánico, durabilidad.

ABSTRACT

Reusing construction and demolition waste (CDW), plastic waste (PET), glass, and rubber as a substitute for conventional aggregates in synthesizing new concrete is an efficient alternative to prevent them from being deposited in dumps that cause environmental pollution problems. In this sense, this research project aims to collect information through a comparative analysis of the results inherent to the mechanical behavior and durability of concrete for structural purposes developed in Ecuador to determine the current research progress. Information was collected from academic repositories and scientific databases, where 55 scientific articles were obtained, of which two refer to studies carried out in Ecuador and 53 refer to studies carried out internationally. In addition, 28 undergraduate theses and three postgraduate theses have been reviewed. It is found that, for the synthesis of new concretes, recycled aggregates must go through a pre-treatment process to determine their properties and rule out the presence of contaminants that may react unfavorably when in contact with the other components of the mixture. The recycled aggregates from CDW have the best performance, which makes it possible to easily replace up to 50% of the coarse aggregate used in concrete, achieving resistances similar to those reported by conventional concretes. However, they have a water absorption approximately 10% higher than natural aggregates, which causes the water demand in concrete to increase, affecting the desired resistance, so the water-cement ratio (W/C) range should be in the range of 0.45 to 0.62. In concrete, where recycled PET aggregates replace the natural aggregate at a rate of 5 to 25%, it permits impressive strengths more significant than 21 MPA and improvements in bending behavior, as when replaced by rubber particles at a rate of 2 to 6%. It has been found that the glass in a 10 to 40% substitution reaches impressive strengths up to 28 MPA. Finally, the durability of recycled concrete depends on the percentage of recycled aggregate, the W/C ratio, and the curing age.

Keywords: concrete, recycled concrete, recycled aggregates, mechanical behavior, durability.



LORENA DEL PILAR
SOLIS VITERI

Reviewed by:

Mgs. Lorena Solís Viteri

ENGLISH PROFESSOR

c.c. 0603356783

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

El problema ambiental, al cual nos enfrentamos en la actualidad, es el resultado del estilo de vida que tiene la sociedad actual (Santos, 2018). Esto debido a que todos somos responsables del daño que pueden generar nuestras acciones. La contaminación ambiental es un proceso cíclico que involucra al aire, agua y suelo, razón por la cual, el compromiso de todos radica en tratar de reducir al máximo los contaminantes que se producen para crear procesos que generen un impacto positivo en el ambiente (Domínguez, 2015). A esto se suma el rápido crecimiento demográfico y la industrialización a nivel mundial, lo que a su vez provoca que exista una gran deposición de materiales de desecho (Jibrael & Peter, 2016). Los materiales de desechos consisten en residuos plásticos, cauchos, desperdicios de mampostería, material de demolición entre otros, los mismos que constituyen un volumen considerable cuya disposición final será una escombrera, relleno o un botadero. Sin embargo, estos pueden ser reutilizados para la elaboración de hormigones, sustituyendo de manera parcial sus componentes (Agarwal et al., 2019). A pesar de esto, en Ecuador los materiales de desecho no son aprovechados adecuadamente, debido a la falta de estudios y de información actualizada respecto al comportamiento mecánico y durabilidad de un hormigón reciclado, el mismo que puede ser usado con fines estructurales. Con lo antes expuesto se puede conseguir un hormigón más económico y que a la vez permita establecer un proceso ideal para la gestión adecuada de este tipo de desechos (Bahoria et al., 2013). En este contexto, la industria de la construcción hace que las sociedades industrializadas generen compromisos orientados al cambio de técnicas en la producción de materiales que contribuyan a mitigar el impacto ambiental que este tipo de desechos generan. No obstante, la incorporación de nuevos materiales a partir de la reutilización y el reciclado de materiales de desecho, constituyen un verdadero reto tanto para la ciencia como para la ingeniería, pues para ser usados dentro de un hormigón, es preciso realizar un análisis a fin de identificar: las características físicas, dosificación óptima, su comportamiento dentro de la mezcla y su durabilidad, con el objeto de garantizar su idoneidad en la mezcla (Maury, 2010).

En el Ecuador se han hecho numerosas investigaciones referente a la incorporación de materiales de desecho en el hormigón, y debido al amplio campo de investigación, no se tiene un reporte actualizado que sintetice los principales resultados obtenidos y a la vez refleje de forma consolidada los avances científicos y técnicos. Razón por la cual, el presente estudio se centra en realizar una revisión bibliográfica, que permita establecer una línea base de investigación y que sirva como punto de partida para la realización de futuras investigaciones que aborden los aspectos todavía en desarrollo con respecto al uso de este tipo de materiales. Se realizó una revisión de estudios desarrollados en el Ecuador, a fin de presentar un análisis del comportamiento de nuevos hormigones elaborados con materiales reciclados de diferentes fuentes de origen.

El presente trabajo de investigación está conformado por cinco capítulos que a continuación se detallan:

En el Capítulo I se contempla la parte introductoria del presente trabajo de investigación, donde se desarrolla el planteamiento del problema de investigación, considerando la inclusión de material reciclado, en la síntesis de nuevos hormigones, que pueden ser utilizados dentro de la construcción de estructuras, a fin de mitigar el impacto ambiental que generan este tipo de desechos. Con esta premisa, se han planteado los objetivos que servirán como guía de la investigación, así también se ha formulado la justificación del estudio, donde se indica la importancia que tiene el desarrollo del presente trabajo.

En el Capítulo II se desarrolla el marco teórico, en el cual se aborda información relacionada con el hormigón convencional, también se acoge información referente al hormigón reciclado, donde se exponen las principales características que presenta el hormigón sintetizado a partir de materiales reciclados, considerando sus propiedades y su comportamiento; por otro lado, también se recopila información que permitirá entender de mejor forma el problema de investigación.

En el Capítulo III se desarrolla la parte metodológica, donde se indica el proceso de obtención y tratamiento de los materiales reciclados, para su incorporación en la elaboración de nuevos hormigones. Así como también se indica el procedimiento de caracterización de los agregados reciclados de acuerdo con su procedencia y la metodología de las pruebas realizadas en los hormigones reciclados.

En el Capítulo IV se exponen los principales logros que se han alcanzado con el uso del hormigón reciclado dentro de la construcción de estructuras, partiendo desde una visión a nivel global, para luego determinar los avances en el Ecuador, considerando los métodos de elaboración del hormigón planteados por los investigadores en estudio. Se presentan los resultados obtenidos en cuanto al comportamiento mecánico que experimenta este tipo de hormigón y sus principales aplicaciones.

Finalmente se presenta el Capítulo V, donde se plantean las principales conclusiones que se han obtenido en conformidad con los resultados alcanzados. Además, se presentan las áreas de investigación que todavía están en desarrollo y que deberían ser abordadas en el desarrollo de futuras investigaciones.

1.2. Antecedentes

El uso de materiales reciclados para la síntesis de nuevos hormigones no es un tema nuevo, esto debido a que la sociedad desde siempre ha considerado la reutilización de diferentes tipos de residuos de desecho, y en particular los residuos de construcción y demolición (RCD), a tal punto de llegarse a convertir en una práctica habitual, donde se considera el uso de materiales reciclados de diferente procedencia, para la construcción de nuevos edificios. En este sentido autores como Zega et al., (2018) plantean que el proceso ideal para la construcción de una estructura de hormigón, planificada desde su concepción hasta que cumple con la vida útil para la que fue diseñada, debe realizarse considerando la

siguiente filosofía: “Construir para demoler, demoler para reciclar, y reciclar para construir”, de tal forma que, si se cumpliera dicho procedimiento, la producción de desechos propios de la construcción se redujera considerablemente.

Los problemas ambientales que generan los RCD, se deben al escaso o nulo conocimiento de los planes de gestión de residuos de las obras de construcción, tanto por cuestiones culturales como por la falta de políticas e investigación sobre el reciclaje y la disposición final de este tipo de residuos, que en la actualidad son los vertederos, escombreras y/o rellenos (Arias, 2017). Razón por la cual, una de las principales aportaciones que puede realizar la industria de la construcción para mitigar el impacto ambiental y llevar a cabo una construcción amigable con el medio ambiente, es promover la revalorización de los residuos que se generan en las actividades constructivas, hecho que se ha venido ejecutando a lo largo del tiempo de forma paulatina, al incorporar dentro de sus procesos sus propios desechos, así como también los generados por otras industrias (Zega et al., 2018).

La reutilización de materiales reciclados dentro de la industria de la construcción, durante los últimos 50-60 años, ha sido un tema que ha llamado la atención tanto para los profesionales de la construcción como para la sociedad en general. En este sentido, el uso de materiales provenientes tanto del reciclaje de residuos sólidos, como la reutilización de escombros de construcción y demolición, dentro de los procesos constructivos, se remonta a principios de la década de 1970, donde se empezaron a desarrollar los primeros estudios con el objeto de determinar las propiedades tanto de resistencia, como de durabilidad en hormigones con fines estructurales, los mismos que fueron sintetizados a partir de la incorporación de agregados reciclados provenientes de la trituración de hormigones de desecho. Este hecho marco un precedente para el uso de este tipo de residuos, debido a que hasta ese momento solo se utilizaba para la construcción de elementos que no estén sujetos a resistir grandes sollicitaciones, debido a que la síntesis de hormigones con materiales reciclados se los realizaba de forma empírica y sin efectuar ningún control de calidad, razón por la cual se obtenían hormigones con bajo desempeño estructural (C. Zega et al., 2018).

En países industrializados como Estados Unidos, Francia, Japón, Alemania entre otros; la reutilización de materiales reciclados dentro de la industria de la construcción es un proceso integrado desde hace más de 40 años, esto debido a que se han generado normativas que rigen el proceso de elaboración de nuevos hormigones a partir de la incorporación de agregado grueso reciclado, haciendo posible que este pueda ser utilizado en la construcción de elementos estructurales que estén expuesto a resistir grandes demandas de sollicitaciones (Suárez, 2016).

En la actualidad se registra un avance importante en el conocimiento dentro de esta temática, a tal punto de llegar a la conclusión que un hormigón sintetizado a partir de agregados reciclados presenta características similares e inclusive mejores en comparación con los que son elaborados con agregados procedentes de cantera.

1.3. Planteamiento del problema

La gestión inadecuada de los desechos sólidos se ha convertido en un problema de carácter mundial. Por tal motivo todos los países hacen esfuerzos encaminados a la búsqueda de acciones que permitan reducir el daño ambiental que generan estos residuos, pues a la larga pueden ocasionar serios daños, no solo de carácter ambiental sino también puede atentar a la salud y a la economía mundial (Conocc, 2019).

Una de las principales industrias que es parte de este problema es la industria de la construcción, puesto que todo proceso de construcción afecta de forma negativa al medio ambiente, esto debido a que va relacionado con las necesidades de las estructuras, y para ello el material más utilizado es el hormigón (Herrera & Vilema, 2019).

Por tal razón, en la actualidad la tendencia de llevar a cabo una construcción más amigable con el medio ambiente ha hecho que se desarrolle múltiples investigaciones con el objeto de buscar alternativas para la sustitución parcial de los componentes de la mezcla (Remache, 2021). Sin embargo, no hay un estudio que refleje información de forma clara y sintetizada de los resultados obtenidos en cuanto a la producción de hormigón en el Ecuador, particularmente en lo que respecta a comportamiento estructural o la idoneidad del uso de residuos sólidos y la durabilidad de hormigones elaborados con estos agregados. En este sentido se plantea que, al incorporar residuos sólidos en la elaboración de hormigón, reducirá parcialmente los costos de construcción presentándose así como una alternativa de solución al problema ambiental desarrollado por el ineficiente sistema de gestión de residuos sólidos, cuya disposición final son los rellenos o botaderos de basura; sin embargo, esto no se usa debido al déficit de información actualizada con respecto al tema de hormigones reciclados y la falta de especificaciones técnicas que describan los procesos y campos de aplicación confiables de este tipo de residuo para incorporarlo dentro de la construcción lo que limita su uso y genera desconfianza a los profesionales de la construcción.

1.4. Justificación

En los últimos años se ha evidenciado que existe una tendencia marcada por reemplazar los materiales de construcción usados convencionalmente por otros, que al ser incorporados dentro de los procesos de construcción contribuyan a mitigar la contaminación que estos generan al estar dispuestos en el medioambiente, en este sentido varios expertos afirman que en los próximos años se incrementará el uso de materiales reciclados en los procesos de construcción (Remache, 2021).

La incesante investigación en torno a aplicaciones constructivas de productos derivados de residuos sólidos urbanos ha hecho que se generen alternativas sustentables, que permitan la incorporación de materiales reciclados en los procesos constructivos, particularmente en la elaboración de hormigones, puesto que es el material compuesto que más se utiliza dentro de la industria de la construcción. Razón por la cual se plantea desarrollar

un estudio de revisión bibliográfica, con el objetivo de conocer el comportamiento mecánico y durabilidad de un hormigón reciclado con fines estructurales en el Ecuador.

En la actualidad este tipo de investigación ha tomado gran importancia, debido al incremento de publicaciones científicas que abordan dicha temática, lo que limita a los investigadores y especialistas acceder a toda la información publicada, debido al tiempo que esto implica. Un estudio de revisión tiene por objeto simplificar el proceso de búsqueda de información en cuanto a connotación conceptual o prácticas y cuando la investigación no ha sido definida, para proporcionar directrices para futuras investigaciones. Razón por la cual el desarrollo de la presente investigación constituye una solución que genera una forma de mantenerse actualizados acerca de los últimos conocimientos y tendencias sobre la incorporación de residuos, en la fabricación de hormigones reciclados, y a la vez establecer una línea base de investigación que permita dar respuesta a los vacíos de conocimientos que se generen.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Investigar el comportamiento mecánico y durabilidad de un hormigón reciclado con fines estructurales en el Ecuador, mediante un estudio de revisión para establecer una línea base que permita desarrollar nuevas investigaciones

1.5.2. Objetivos específicos

- Obtener información relacionada a la elaboración de hormigones reciclados mediante una revisión documental que permita conocer los tipos de agregados reciclados que se utilizan para elaborar dosificaciones.
- Sintetizar la información recopilada mediante un análisis comparativo de los resultados obtenidos en estudios referentes al comportamiento mecánico y durabilidad de un hormigón estructural, elaborado a partir de materiales reciclados para definir el estado actual de la investigación.
- Establecer los estudios que se podrían desarrollar a futuro para la elaboración de un hormigón estructural en el Ecuador a partir de la incorporación de materiales de desecho para sustituir de forma parcial uno de sus componentes.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades del hormigón

El hormigón es uno de los materiales compuestos más utilizados dentro de la industria de la construcción, dado que es un material muy versátil, esto debido a que en estado fresco presenta una condición de plasticidad, que hace que sea un material trabajable y manejable capaz de adaptarse al molde donde este sea vaciado, mientras que, cuando este haya endurecido adopta cierto comportamiento mecánico permitiendo de esta forma aporte resistencia y durabilidad a la estructura; pues debe estar en la capacidad de resistir los efectos del intemperismo y la demanda de sollicitaciones a la que estará expuesta.

Al ser un material compuesto se obtiene al adicionar a la mezcla; cemento (aglomerante), agregados tanto grueso como fino, y agua, también se suele incorporar involuntariamente aire y en algunos casos se incorpora aditivos con el objeto de incrementar sus propiedades físico – químicas, el mismo que al sufrir un proceso químico conocido como fraguado se endurece llegándose a comparar con las piedras naturales.

2.2. Componentes del hormigón

Los elementos principales constituyentes para la elaboración del hormigón son el cemento, los agregados y el agua, los mismos que se mezclan homogéneamente a fin de conseguir una pasta uniforme.

Dentro de este contexto tenemos al material cementante, que permite la unión de los diferentes agregados al entrar en contacto con el agua, formándose así una masa monolítica de alta resistencia (García et al., 2009).

Por otro lado, se tienen que, los agregados conforman las $\frac{3}{4}$ partes de la mezcla; este tipo de material es obtenido de forma natural en canteras, sin embargo, para determinar su confiabilidad del uso en la síntesis del hormigón, estos deben cumplir con las especificaciones técnicas recomendadas en la norma NTE INEN 872, (2011) donde indican que los agregados tanto fino como grueso deben estar exentos de materia orgánica o cualquier otra condición que altere el comportamiento de la mezcla, así como también presentar características de dureza, durabilidad, resistencia a los efectos del intemperismo, y una distribución uniforme en cuanto a su granulometría, a fin de garantizar la calidad y la trabajabilidad de la mezcla (Ronquillo & Verdugo, 2019).

Otro de los componentes indispensables para la elaboración de la mezcla es el agua, ya que este tiene como objeto hacer que la mezcla sea manejable y trabajable, razón por la cual la Norma Ecuatoriana de la Construcción, en su Capítulo de Estructuras de Hormigón Armado (NEC-SE-HM, 2015), indica que el agua recomendable para poder usar en la elaboración del hormigón es aquella apta para el consumo humano, ya que de esta forma se garantiza que esté libre de impurezas u otros agentes contaminantes, que tengan un efecto negativo al entrar en contacto con el cemento.

2.3. Proceso de elaboración del hormigón convencional

El proceso de mezclado del hormigón, se lo puede realizar tanto de forma manual como de forma mecánica, haciendo uso de equipos diseñados para este fin, conocidas en nuestro medio como concreteira.

Luego del mezclado el hormigón debe ser transportado y vaciado, esto debe realizarse cuando este en estado plástico y de forma continua, a fin de obtener un elemento monolítico, durante este procedimiento se debe realizar el proceso de compactación del hormigón, que consiste en la eliminación de aire, que puede generar espacios vacíos que comprometen la resistencia del hormigón. Estudios han demostrado que la presencia de aire en la mezcla puede reducir su resistencia hasta en un 20%, razón por la cual se debe realizar el vibrado correcto del hormigón evitando que este pierda sus propiedades (Rotondaro, 2016).

2.4. Propiedades físicas y mecánicas del hormigón convencional

2.4.1. Propiedades del hormigón en estado fresco

Se define como hormigón fresco a la condición de plasticidad que presenta el hormigón a partir que este termine su proceso de elaboración. En este sentido la característica más importante, es que el hormigón en estado fresco debe ser trabajable, a fin de poder ser manipulado fácilmente desde su elaboración hasta su vaciado (Burner, 2011).

Además, debe ser consistente, homogéneo y uniforme, debido a que debe presentar las mismas características en cualquier parte de la mezcla, sin embargo, esta condición tiende a verse afectada con su manipulación, transporte y vaciado lo que provoca que sus componentes se separen de acuerdo con el tamaño y densidad de las partículas (Cando, 2016).

2.4.2. Propiedades del hormigón en estado seco o endurecido

Tras el paso del tiempo el material cementante experimenta un proceso químico que se lo conoce como fraguado, el mismo que hace que la mezcla se solidifique y por ende adquiera nuevas propiedades tanto físicas como mecánicas. Cando, (2016) menciona que a los 7 días de edad el hormigón tiende alcanzar entre el 70% al 80% de su resistencia final, donde se podrá intuir, si el hormigón cumplirá con la resistencia para el cual fue diseñado, por lo cual, a partir de esta edad se tiende a efectuar los ensayos correspondientes, a fin de determinar su comportamiento mecánico.

Una de las principales características que presenta el hormigón, en cuanto a su comportamiento mecánico, es la capacidad de resistir los esfuerzos de compresión, esto debido a que es un valor que se utiliza en el cálculo y diseño estructural de las edificaciones (Osorio, 2018).

2.5. Hormigón reciclado

Se entiende por hormigón reciclado al material compuesto elaborado a partir de la sustitución total o parcial de los agregados naturales por agregados reciclados, mismos que pueden ser residuos plásticos, escorias, o residuos de la construcción tantos desperdicios de hormigón, cerámicos y de mampostería o a su vez material resultante de demoliciones y escombros. Este tipo de materiales deben estar sujetos a un proceso de limpieza y trituración, a fin de garantizar que sean aptos para incluirlos en la síntesis de nuevos hormigones.

2.5.1. Obtención y clasificación de materiales reciclados para la elaboración de hormigones

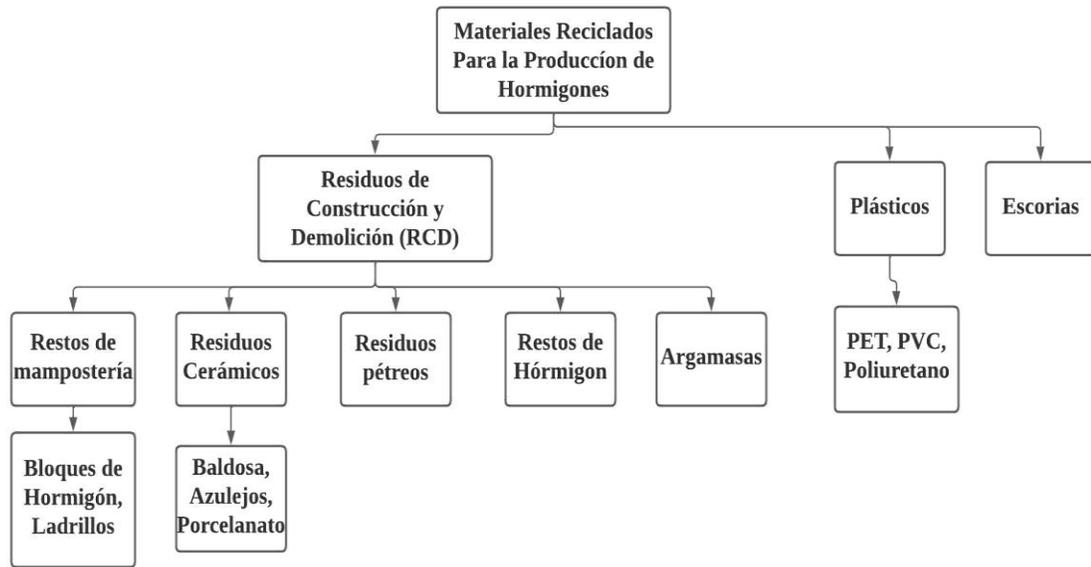
La industria de la construcción es una de las pocas industrias que tiene la capacidad de incluir dentro de sus procesos, sus mismos desperdicios, así como también los residuos generados por otras industrias. En este sentido se pueden utilizar residuos de mampostería, desechos de hormigón, argamasa, fragmentos de acero, madera, vidrio, cerámicos, PVC, cauchos, plásticos, escorias, entre otros.

Sin embargo, la mayoría de los residuos que se utilizan en la elaboración de nuevos hormigones son los que se generan a partir de los procesos constructivos. En este sentido Contreras, (2012) plantea que los residuos de construcción y demolición (RCD), se pueden clasificar en dos tipos que a continuación se detallan:

- **Fragmentos de elementos prefabricados:** Comprenden los residuos de materiales cerámicos, mampostería, demoliciones localizadas, entre otros.
- **Restos de materiales elaborados en obra:** Comprenden los restos de hormigón y argamasas que presentan dentro de su contenido cemento, cal y áridos.

Sin embargo, conforme las investigaciones avanzan, se ha evidenciado que se puede incluir otros materiales reciclados para la síntesis de nuevos hormigones como se indica en la *Figura 1*.

Figura 1 Clasificación de materiales



2.5.2. Propiedades de los agregados reciclados

En la actualidad, el uso de materiales reciclados dentro de la construcción se ha generalizado; sin embargo, para la síntesis de nuevos hormigones, la caracterización de este tipo de residuos es indispensable, para evitar que presenten variaciones en su comportamiento.

Dentro de los aspectos básicos para poder usar agregados reciclados en nuevos hormigones, se debe tener en consideración su distribución granulométrica, debido a que una adecuada interacción de las partículas que componen la mezcla proporciona una mayor compacidad y por ende mayor resistencia mecánica (Contreras, 2012).

La forma y textura que presenta este tipo de agregados está relacionado con la fuente de origen del material.

Los RCD presentan partículas alargadas, rugosas y porosas, lo que hace que la densidad de este tipo de agregados sea menor en comparación con los agregados naturales (González & Martínez, 2005; Poon et al., 2002). Por otro lado, uno de los aspectos que mayor variación presenta, es el incremento de la absorción siendo hasta en un 5% a 10% mayor al de los agregados naturales (Castaño, 2011). Uno de los aspectos positivos que presenta este tipo de agregados es que son muy resistentes a la abrasión debido al origen, forma, tamaño y textura de las partículas, siendo un buen parámetro para considerar en cuanto a la durabilidad que presente el hormigón elaborado con este tipo de material (González & Martínez, 2005).

Del mismo modo se han estudiado las propiedades de otro tipo de agregados, mismos que son producto del reciclado de materiales como plásticos, cauchos y vidrios, con el objeto de incorporarlos en la síntesis de nuevos hormigones. En este sentido, Ojeda & Mercante, (2021) indican que los agregados producto del reciclaje de plásticos presentan una deficiente distribución granulométrica y poca adherencia debido a su naturaleza hidrófoba; por lo que,

recomiendan modificar la textura superficial del agregado, aplicando procedimientos de extrusión, cortado, y temperatura, logrando mejorar sus propiedades físicas. En cuanto a la incorporación de agregados reciclados de vidrio en la síntesis de hormigones Poveda et al., (2015) indican que este tipo de agregados presentan características favorables en cuanto a la corrosión y desgaste; además mencionan que el vidrio presenta un módulo de Young de 720000 kg/cm^2 , una resistencia a compresión de 10000 bar (1000 MPa) y una absorción casi nula; así también Anco & Sarmiento, (2021) determinaron que este tipo de agregados presenta una resistencia a la tracción que varía de 3000 a 5500 N/cm^2 (30 MPa a 55 MPa).

Por otro lado, Kanta & Bera, (2016) plantean que el uso del agregado reciclado de caucho en el hormigón aporta resistencia ante los esfuerzos de tracción y actúa como aislante acústico; del mismo modo, indican que la gravedad específica de este material se encuentra en un rango de 1.02 a 1.27 ; además el agregado derivado de este material presenta una absorción aproximadamente de 2% a 4% mayor a la de los agregados convencionales.

2.5.3. Proceso de elaboración de hormigones reciclados

Los métodos utilizados para elaborar el hormigón reciclado a partir de la sustitución parcial o total de uno de los agregados que componen la mezcla por agregados reciclados, es el mismo método que se utiliza para la elaboración de hormigones convencionales, sin embargo, se deben tomar en cuenta coeficientes de corrección en la mezcla para no afectar la resistencia a compresión, mismos que están directamente relacionados con el porcentaje de sustitución de los agregados reciclados por el natural (Alaejos, 2008).

Sin embargo, es preciso indicar que los agregados reciclados para la elaboración de nuevos hormigones deben presentar condiciones estables en cuanto a sus propiedades físicas como mecánicas, siendo el principal aspecto la variación del contenido de humedad y el grado de dureza del agregado; por otro lado, los agregados deben cumplir con aspectos en cuanto forma, tamaño, y textura; así también, deben estar exentos de material contaminante que pueden perjudicar el desempeño de la mezcla, generando reacciones desfavorables al entrar en contacto con el cemento (Sagoe, 2002).

A fin de conseguir un hormigón de calidad, se debe considerar la interacción de los componentes, y que el porcentaje de participación del agregado reciclado sea idóneo. En este sentido se debe tomar en cuenta que, la cantidad de agua requerida para la elaboración de este tipo de hormigón deberá ser la óptima para conseguir que la mezcla sea trabajable y manejable. Este tipo de agregados se caracteriza por tener mayor capacidad de absorción (5% a 10% mayor que los agregados naturales), lo que provoca que durante el amasado éste absorba un elevado contenido de agua, y se debe cuidar este parámetro, debido a que el excedente de agua incidirá en el comportamiento mecánico de la mezcla (Arias, 2017; Ihobe, 2011).

Al igual que el agua, la cantidad de cemento en la síntesis de este tipo de hormigones es relativamente alta y depende del porcentaje de participación de los agregados reciclados en la mezcla. En tal virtud, si se reemplazase el 100% del agregado natural grueso por el

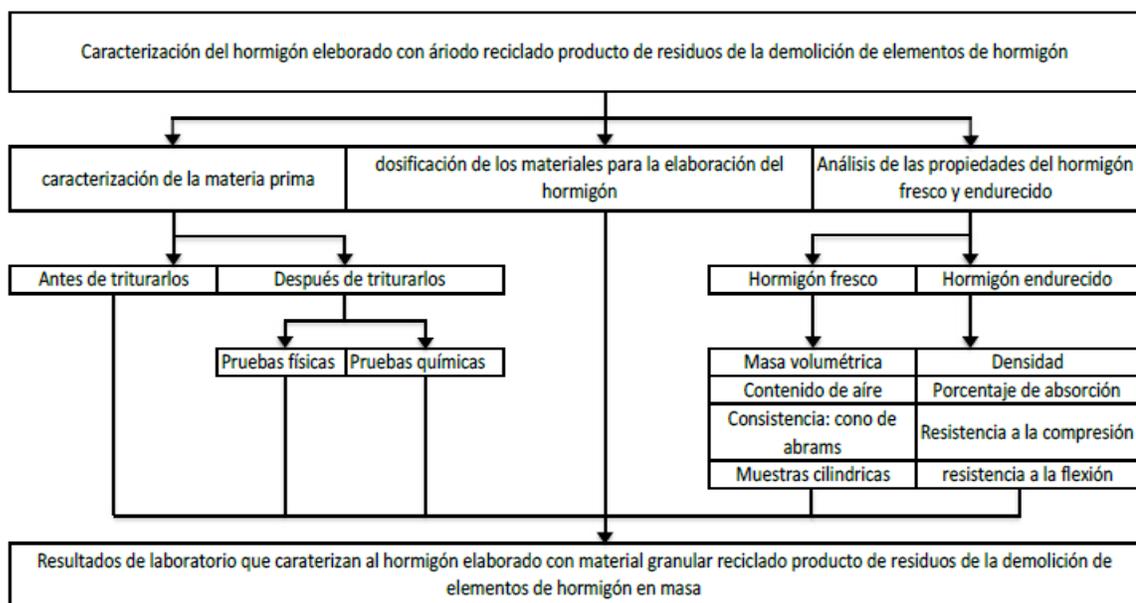
reciclado, se tendría un aumento del cemento en la mezcla de aproximadamente un 5%. Por otro lado, al sustituir tanto el agregado grueso como el fino por el agregado reciclado, la cantidad de cemento necesaria incrementa en aproximadamente un 15% (Arias, 2017). Sin embargo, se debe cuidar el porcentaje de participación de este tipo de agregados, debido a que de este depende en gran medida el comportamiento que presente el hormigón (Etxeberria et al., 2007; C. Zega, 2008). Por tal razón, en investigaciones se concluye que, al sustituir el agregado natural grueso por el agregado reciclado grueso, en un porcentaje aproximado del 25% al 75%, se logra un hormigón con características similares a las que presenta un hormigón convencional (Cachim, 2009; Debieb & Kenai, 2008; C. Zega, 2008). Del mismo modo, estos investigadores mencionan que no se recomienda utilizar el agregado reciclado fino en grandes proporciones, debido a que este incrementa en mayor medida la cantidad de agua necesaria para la mezcla y por ende incide en el comportamiento mecánico del hormigón.

Alaejos, (2008) indica que al reemplazar el 100% del agregado grueso natural por agregado grueso reciclado, el comportamiento mecánico del hormigón se ve afectado considerablemente; debido a que, el esfuerzo a compresión tiende a reducirse entre un 10 y un 20%, con respecto a los hormigones convencionales, del mismo modo se reporta reducciones en un rango del 15 y 40% del módulo de elasticidad de la mezcla e inclusive pueden ser mayores reducciones cuando se sustituye la fracción fina por agregado fino reciclado. Además, el esfuerzo de flexión tiende a reducirse en un 15% con respecto a las resistencias de un hormigón convencional; razón por la cual, no se recomienda sustituir totalmente el agregado natural por el agregado reciclado, llegando a establecer en el estudio un máximo porcentaje de participación del agregado reciclado en la mezcla del 30 al 50%, debido a que no presenta mayor variación en el comportamiento de la mezcla frente a esfuerzos de compresión (Alaejos, 2008).

2.6. Caracterización del hormigón reciclado

De acuerdo con lo que indica Contreras, (2012), se identifican tres etapas para caracterizar el hormigón reciclado, las cuales se sintetizan en la *Figura 2*. La primera etapa hace referencia al proceso de obtención de los materiales reciclados de acuerdo con su fuente de origen. En cuanto a la segunda fase de este proceso hace referencia al tratamiento que se le da al material reciclado y procedimiento para la obtención de los agregados reciclados y a su vez poder caracterizarlos a fin de identificar sus propiedades físico – químicas, para incluirlos en la elaboración de nuevos hormigones. En la tercera fase se hace referencia al proceso de elaboración del diseño del hormigón, a fin de buscar una óptima dosificación que permita cumplir con los requerimientos estructurales, para lo cual se procede a estudiar al hormigón tanto en estado fresco como endurecido, de acuerdo con las recomendaciones de la normativa vigente.

Figura 2 *Proceso de caracterización del hormigón con agregado reciclado*



Fuente: Contreras, (2012)

2.6.1. Propiedades del hormigón reciclado en estado fresco

La sustitución del agregado natural por agregado reciclado en el proceso de elaboración de la mezcla provoca que este tenga una disminución considerable en cuanto a la trabajabilidad, con respecto al hormigón convencional, debido a que el agregado reciclado tiene un alto índice de absorción (Ihobe, 2011), y para poder contrarrestar esto, es necesario incrementar el porcentaje de agua, lo que hace que el hormigón decremente su resistencia (Arias, 2017). En este sentido, algunos investigadores plantean que los agregados reciclados que se van a usar en el hormigón sean saturados previamente, o a su vez usar aditivos superplastificantes, esto con el objeto de que no se vea afectada la relación agua/cemento, conforme se incremente la presencia de agregado reciclado en la mezcla (Etxeberria et al., 2007; López, 2008).

2.6.2. Propiedades del hormigón reciclado en estado endurecido

2.6.2.1. Resistencia a esfuerzos de compresión (f'_c).

Según indica Alaejos, (2008) el hormigón elaborado con un 100% de agregado reciclado grueso presenta una disminución en el esfuerzo a compresión, el mismo que se encuentra en un rango de 10 a 20% con respecto al hormigón convencional. Por otro lado, Serrano & Pérez, (2011) en su estudio, realizaron varias pruebas sustituyendo de forma parcial tanto el agregado grueso como el agregado fino, con un porcentaje máximo del 10% con RCD,

obteniéndose que cuando se reemplaza en un 10% el agregado natural grueso por agregado reciclado grueso producto de escombros, se tiene una reducción del esfuerzo de compresión en un 15%, mientras que cuando se sustituye un 10% de agregado grueso natural por agregado grueso reciclado, se obtiene un 23% de reducción de la resistencia a la compresión en comparación con un hormigón convencional. Además, Lovato et al., (2012) desarrollaron hormigones con una relación agua/cemento de 0.45, en el cual reemplazó el 100% del agregado tanto fino como grueso por agregados reciclados de RCD, concluyendo que la resistencia a la compresión decrementa aproximadamente en un 24% con respecto a un hormigón convencional; del mismo modo, indican que al reemplazar los agregados naturales por agregados reciclados hasta en un 50% se pueden lograr resistencias a la compresión de hasta 25 MPa superando la resistencia a la compresión del hormigón de referencia.

2.6.2.2. Resistencia a esfuerzos de flexión (fr).

La resistencia a la flexión es la que presenta menor variación cuando se reemplaza agregado de origen natural por agregados reciclados, como lo indican (González & Martínez, 2005) y Alaejos, (2008) en sus estudios, donde concluyeron que en ciertos casos la resistencia a la flexión incrementa hasta un 10% del esfuerzo de referencia. Esto se podría deber a que el hormigón presenta una mejor unión entre la matriz y los agregados gruesos. Sin embargo Yang et al., (2011) y Mas et al., (2012) determinaron que esta característica no es del todo cierta debido a que presenta un comportamiento similar a la compresión, obteniendo una reducción de la resistencia a la flexión a medida que el porcentaje de agregado reciclado en la mezcla incrementa, llegando a concluir que cuando se reemplaza un 100% el agregado grueso por agregado reciclado, la resistencia a la flexión disminuye hasta en un 20% en comparación con los valores obtenidos de un hormigón convencional.

2.6.2.3. Durabilidad del hormigón reciclado.

Autores como Olivares et al., (2004), definen la durabilidad de un hormigón como la capacidad que tiene para soportar las acciones perjudiciales del medio en el que se encuentra, el mismo que está relacionado con la porosidad, y la permeabilidad del hormigón. Este aspecto está relacionado con la durabilidad que presenta el hormigón endurecido, el mismo que de acuerdo con opiniones de expertos, es uno de los principales factores que afectan la vida útil de las estructuras que son construidas usando este tipo de hormigón; esto debido a la falta de información acerca de los aspectos que inciden en el mismo.

En tal virtud Lovato et al., (2012) manifiestan que los principales aspectos a considerar para determinar la durabilidad de un hormigón es la capacidad de absorción, carbonatación, y penetración de cloruros; sin embargo, los investigadores asociaron el criterio de durabilidad de los hormigones reciclados a la absorción de agua y la relación agua cemento (a/c), debido a que indican el grado de porosidad de la mezcla; en este sentido concluyen, que la absorción del agua y la profundidad de carbonatación del hormigón incrementa a medida que se

incrementa el porcentaje de participación del agregado reciclado (AR) y la relación a/c; así pues, determinaron una absorción favorable cuando se sustituye un 50% del agregado natural por el reciclado y un a/c de 0.65; del mismo modo, se tiene que este tipo de hormigones presentan mayores profundidades de carbonatación, registrando hasta un 43% de profundidad cuando se sustituye el 100% del agregado natural por AR respecto a los hormigones convencionales.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Metodología del estudio

Para el desarrollo del presente proyecto de investigación se utiliza una investigación de tipo no experimental longitudinalmente, debido a que se va a realizar un análisis de las investigaciones desarrolladas en el Ecuador en torno al comportamiento mecánico y durabilidad de un hormigón reciclado con fines estructurales. Mediante un enfoque mixto que contempla el método deductivo con el método bibliográfico, que permite el manejo de varias fuentes bibliográficas para poder profundizar, en cuanto a la temática en estudio.

La investigación hará uso de las siguientes fuentes de información: artículos científicos en revistas indexadas y trabajos de grado publicados en repositorios académicos de las Universidades del Ecuador, mediante el uso de bases de datos científicas como Scopus, ProQuest y navegadores digitales como Google Académico, lo que permitirá recabar suficiente información para cumplir con los objetivos planteados. En la **Figura 3** se indica el proceso que se llevara a cabo para el desarrollo del proyecto de investigación.

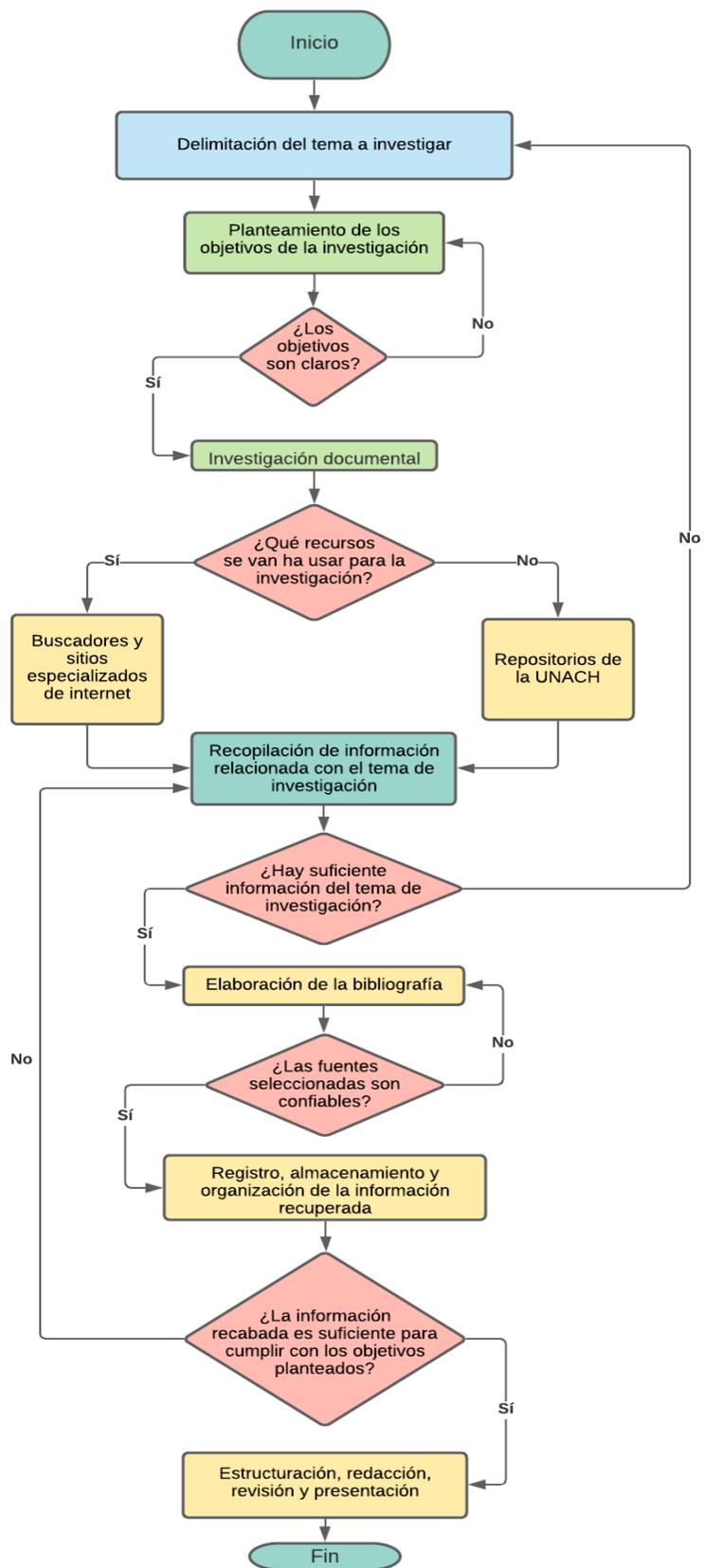
En este contexto, se inició con la recopilación de información mediante el uso de terminología clave como: hormigón reciclado, comportamiento mecánico y durabilidad, las cuales permitió recabar información extensa, e inherente a la temática en estudio. Sin embargo, conforme se avanzó la investigación se realizó un descarte de investigaciones debido a que los resultados alcanzados no permitían cumplir con los objetivos planteados.

Se desarrolló una revisión bibliográfica referente al comportamiento y durabilidad de un hormigón elaborado a partir de agregados reciclados, conforme a investigaciones desarrolladas por varios autores, donde manifiestan que el comportamiento del hormigón depende del origen del material reciclado; el tratamiento previo que se le da antes de ser usado y el contenido de impurezas que este tiene.

De las investigaciones que serán objeto de estudio se procedió a identificar la información necesaria que permita cumplir con los objetivos específicos planteados al inicio de esta investigación, en este sentido el análisis se centró en la dosificación de la mezcla para la elaboración de hormigones a partir del reciclaje de residuos sólidos y desechos de construcción, con porcentajes de sustitución del agregado natural por agregado reciclado, comportamiento mecánico y durabilidad que presenta el hormigón.

También se analizó la metodología utilizada para la recopilación y caracterización de los materiales reciclados empleados en las investigaciones con el objeto de alcanzar los resultados requeridos, debido a que resulta importante comprender la interacción y el comportamiento mecánico que tendrá el hormigón elaborado a partir de la incorporación de agregados reciclados.

Figura 3 *Diagrama de flujo de la investigación*



Conforme la investigación avanzó, se realizó un análisis comparativo de los resultados obtenidos en las investigaciones, a fin de identificar las variaciones que presenta el hormigón reciclado con respecto a un hormigón convencional, en este sentido se elaboraron tablas, donde se sintetizan los principales logros alcanzados con el uso de este tipo de hormigones. Finalmente, se analizó y discutió los principales resultados obtenidos en las investigaciones que son objeto de estudio, en cuanto al comportamiento mecánico y durabilidad de un hormigón sintetizado a partir de la sustitución parcial o total de agregados reciclados el mismo que se haya usado con fines estructurales en el Ecuador.

De acuerdo con lo que indica la literatura acerca del hormigón reciclado, se logró definir este tipo de hormigón, así como también se pudo describir las características y requerimientos que presenta el agregado reciclado para ser considerado en la elaboración de nuevos hormigones. Conforme señalan varios autores, para poder considerar el uso de agregados reciclados en el proceso de elaboración de hormigón se deben seguir los siguientes pasos:

- Recolección de agregados reciclados.
- Clasificación de agregados según su fuente de origen y limpieza de impurezas.
- Triturado de los agregados, a fin de conseguir el tamaño nominal recomendado para el uso en la mezcla.
- Caracterización de los agregados, a fin de determinar sus propiedades fisicoquímicas.
- Cuantificación del porcentaje óptimo de agregados reciclados conforme al diseño de la mezcla de hormigón.
- Elaboración de la mezcla.
- Ensayo a las muestras de hormigón obtenidas, a fin de conocer su comportamiento mecánico.

3.2. Proceso de recolección de material reciclado para la elaboración de hormigones

El proceso de recopilación de material reciclado para la síntesis de nuevos hormigones en su mayoría se lo hace en obra, debido a que es el resultado del proceso constructivo, ya sea de obra nueva o el producto de demoliciones de estructuras que hayan cumplido con su vida útil Aigaje & Yucta, (2018); Arias, (2017); Avila & Paca, (2018); Bolaños, (2015); Cadme, (2013); Campaña, (2017); Chango & Tulcán, (2018); Contreras, (2012); Moncayo, (2020); Mora, (2014); Ronquillo & Verdugo, (2019); Tapia, (2018); Torres, (2020); Vallejo, (2021); Vásquez, (2019); Vivar, (2021) convirtiéndose en un proceso cíclico, que permite el aprovechamiento al máximo de los residuos de construcción que, en su mayoría, terminan en vertederos o escombreras.

Por otro lado, también se ha incursionado en la utilización de residuos provenientes de otras industrias, para el aprovechamiento de materiales como, plásticos, polietileno, vidrio y caucho Abril, (2016); Auquilla & Peláez, (2021); Bastidas & Viñán, (2017); Carrión & Guambaña, (2018); Chacón & Lema, (2012); Checa & Quinapallo, (2020); Mendieta, (2016);

Molina, (2019); Patiño & Villa, (2021); Peñafiel, (2016); Pilamunga & Guamán, (2016); Pucha & Llanga, (2010); Rodríguez & Villalba, (2016); Saltos et al., (2017); Villacrés, (2021).

3.3. Proceso de producción de agregados reciclados para la elaboración de hormigones

En cuanto, a la producción de agregados reciclados, autores como Aigaje & Yucta, (2018); Arias, (2017); Avila & Paca, (2018); Bolaños, (2015); Cadme, (2013); Campaña, (2017); Chango & Tulcán, (2018); Contreras, (2012); Moncayo, (2020); Mora, (2014); Ronquillo & Verdugo, (2019); Tapia, (2018); Torres, (2020); Vallejo, (2021); Vásquez, (2019); Vivar, (2021), plantean que la mejor forma de aprovechar los residuos de construcción y demolición (RCD) es mediante la utilización de la trituradora de mandíbula, debido a que ofrece un mejor aprovechamiento de este tipo de residuos, logrando obtener, hasta en un 70% del volumen total, agregados gruesos y en mínimas cantidades agregado fino. En esto coinciden Zega et al., (2018) quienes indican que, de acuerdo con las experiencias desarrolladas, la producción de agregados reciclados a partir de RCD, haciendo uso de la trituradora de mandíbula, permite obtener agregados con una mejor distribución granulométrica, que resulta ser un buen indicador para la inclusión de este tipo de agregados en la síntesis de nuevos hormigones.

No obstante, el proceso de producción de este tipo de agregados, no se limita únicamente al proceso de triturado, debido a que para este procedimiento es necesario realizar la caracterización del agregado reciclado, a fin de determinar sus propiedades fisicoquímicas, lo que permitirá conocer su idoneidad en la síntesis de nuevos hormigones. En este sentido, para la utilización de agregados reciclados a partir de RCD se debe analizar aspectos como la absorción, contenido de impurezas, densidad, resistencia a la abrasión y durabilidad (Aigaje & Yucta, 2018; Arias, 2017; Avila & Paca, 2018; Bolaños, 2015; Cadme, 2013; Campaña, 2017; Chango & Tulcán, 2018; Contreras, 2012; Moncayo, 2020; Mora, 2014; Ronquillo & Verdugo, 2019; Tapia, 2018; Torres, 2020; Vallejo, 2021; Vásquez, 2019; Vivar, 2021).

Por otro lado, para la producción de agregado reciclado a partir de residuos plásticos, se proponen diferentes métodos de obtención y procesamiento de los mismos, dependiendo de la forma en la que se lo incorporará al hormigón, teniendo así plásticos triturados de Polietileno tereftalato (PET), los cuales han sido sometidos a un proceso de triturado mediante molinos de trituración, ya sea por parte de empresas encargadas de realizar este tipo de trabajo o por maquinarias existentes en laboratorios de ensayos (Chacón & Lema, 2012; Pucha & Llanga, 2010; Villacrés, 2021). Por otro lado, Mendieta, (2016) en su estudio, utilizó el plástico tipo PET en forma de fibras, los cuales fueron producidos con una máquina artesanal, diseñada para la extracción de fibras de plástico.

No obstante, autores como Auquilla & Peláez, (2021); Peñafiel, (2016) incursionaron en esta línea de investigación, desarrollando estudios cuyo fin principal es la incorporación de vidrio en la síntesis del hormigón reciclado, donde el agregado reciclado lo obtuvieron con la ayuda de la máquina de los Ángeles, el cual muele los residuos de vidrio, a tal punto de reducirlos en polvo, así como también utilizaron trituradoras de mandíbula para lograr transformar esta materia prima.

Además, se ha incursionado en el uso de residuos de caucho, mismo que ha sido proporcionado por la empresa Dura Llanta, donde Bastidas & Viñán, (2017) indican que, a este material reciclado se lo pasó por una máquina cortadora de ceja, en el cual se cortan los costados para reducirlos a una sola banda, para que estos posteriormente sean cortados en tiras y finalmente sean introducidas en máquinas trituradoras, donde se los reduce a partículas de menor dimensión, que pasarán por un proceso de cribado a fin de separar las partículas gruesas de las finas.

3.4. Proceso de elaboración de hormigones reciclados

Para la elaboración de hormigones a partir de RCD, de acuerdo con los estudios realizados por Aigaje & Yucta, (2018); Arias, (2017); Avila & Paca, (2018); Bolaños, (2015); Cadme, (2013); Campaña, (2017); Chango & Tulcán, (2018); Contreras, (2012); Moncayo, (2020); Mora, (2014); Ronquillo & Verdugo, (2019); Tapia, (2018); Torres, (2020); Vallejo, (2021); Vásquez, (2019); Vivar, (2021), el método más eficiente para el diseño de la mezcla es el método convencional propuesto por el ACI 211.1, (2002), donde la relación agua/cemento (a/c) es un condicionante principal, para que la mezcla presente características de trabajabilidad y manejabilidad, esto debido a las variaciones en la calidad de los agregados.

Para poder usar este tipo de hormigones con fines estructurales este debe ser capaz de resistir esfuerzos de compresión mayores a 21MPa, conforme lo indica la Norma Ecuatoriana de la construcción (NEC-SE-HM, 2015). Considerando esta premisa, se han diseñado mezclas sustituyendo el 100% de los agregados naturales por agregados reciclados, desarrollando mezclas a partir de la combinación de residuos propios de la construcción, como son restos de mampostería, cerámicos y residuos de hormigón, para luego compararlos con un hormigón convencional (Bolaños, 2015; Campaña, 2017). Además, se han elaborado hormigones donde se han sustituido de forma parcial la fracción gruesa, con el objeto de conseguir una dosificación óptima de la mezcla, sustituyendo así el 30 % y 70% el agregado grueso por el reciclado, en esta combinación se registró un mínimo porcentaje de participación de residuos de mampostería (Arias, 2017).

Así también, se ha diseñado hormigones capaces de resistir al impacto en losas y resistir esfuerzos a flexión en vigas, para lo cual los autores sustituyeron, tanto el agregado grueso como el agregado fino de forma parcial, reemplazando así el agregado grueso natural por un 25 % de agregado grueso reciclado y el agregado fino por 15 % de arena de fundición y 10 % de polvo de ladrillo, obteniendo mezclas con muy buenas características estructurales (Aigaje & Yucta, 2018; Avila & Paca, 2018).

El uso de agregados procedentes de materiales cerámicos dentro de la síntesis de hormigones también ha sido objeto de estudio, por lo que se ha reemplazado la fracción gruesa por el 100% y 70 % de agregados reciclados de este tipo, logrando tener mezclas trabajables (Tapia, 2018; Vásquez, 2019)

Por otro lado, Contreras, (2012) desarrolló mezclas, donde realiza una iteración con el porcentaje de participación de los agregados reciclados en el hormigón, sustituyendo el

agregado natural por el agregado reciclado en proporciones de 20%, 40%, 60%, 80% y 100%. Para la síntesis del nuevo hormigón se utilizó un valor de 21 MPa, y se planteó que el diseño de la mezcla se lo haga mediante el método de “ensayo y error”, debido a que los agregados presentan cierta variación en cuanto a los agregados naturales.

Conforme las investigaciones han avanzado se ha buscado el uso de otro tipo de agregados reciclados en hormigones con fines estructurales, siendo necesaria su caracterización. En este contexto se han sintetizado mezclas a partir de residuos plásticos (PVC triturado); donde se plantea la sustitución parcial del agregado fino por plástico triturado, a razón de 0.1%, 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2%; con el objeto de conseguir mezclas que no presenten variaciones considerables respecto al hormigón convencional (Pucha & Llanga, 2010).

Por otra parte, Mendieta, (2016) diseñó mezclas a partir de la inclusión de fibras de plástico, donde el porcentaje de participación depende de la cantidad de agregado fino presente en la mezcla, por lo que desarrolló mezclas donde reemplazó el agregado fino por el agregado reciclado a razón de 0.2%, 0.4% y 0.6%, obteniendo mezclas con características similares a los hormigones convencionales.

Asimismo, Chacón & Lema, (2012) diseñaron mezclas a partir de la incorporación de triturados de PET, considerando una relación a/c de 0.53, para lo cual reemplazó la fracción fina por agregados reciclados, a razón del 10%, 25%, 50%, y 75%. De la misma manera, Villacrés, (2021) sintetizó una mezcla mediante la adición de plásticos de PET y fibras de bagazo de caña de azúcar para conseguir resistencias superiores a los 21MPa. Para lo cual, desarrollaron mezclas sustituyendo de forma parcial el agregado fino a razón de 1.5%, 2.5%, 5% y 7.5%, con porcentajes de agua equivalentes a 4%, 6%, 8% y 10% respectivamente. Del mismo modo, para elaborar los especímenes que contienen fibras de bagazo de caña de azúcar, los porcentajes de inclusión de estas fueron variando en 1.5%, 2.5%, 5%, y 7.5%, con porcentajes de agua equivalentes a 12%, 16%, 20% y 24% respectivamente.

Por otro lado, Peñafiel, (2016) en su proceso de elaborar hormigones reciclados, reemplazó parcialmente el agregado fino por vidrio molido reciclado, a razón de 10%, 20%, 30% y 40%, cuyos especímenes elaborados para cada diseño serán ensayados a los 7, 14 y 28 días. Del mismo modo, Auquilla & Peláez, (2021) en su estudio para elaborar hormigón reciclado, reemplazó el agregado fino por vidrio molido, en porcentajes equivalentes a 10%, 15%, 20% y 25%.

Checa & Quinapallo, (2020) sintetizaron hormigones reciclados, reemplazando agregado fino por polvo de neumático a razón de 5%, 15%, 25% y 35%, con el fin de obtener un hormigón de resistencia igual o superior a los 210 kg/cm². Adicionalmente, Bastidas & Viñán, (2017) reemplazaron al agregado fino por caucho en porcentajes equivalentes al 5%, 10%, 20% y 30%. Del mismo modo, en su estudio Pilamunga & Guamán, (2016) reemplazaron tanto el agregado fino como el agregado grueso; en este sentido se sustituyó la fracción fina por caucho triturado a razón de 2%, 5%, 7% y 10%, y la fracción gruesa a razón de 10%, 15% del total de la mezcla. Por otra parte, Rodríguez & Villalba, (2016) utilizaron fibras de neumáticos reciclados para el diseño de su hormigón, donde su estudio lo dividieron en dos etapas; para la primera etapa elaboraron vigas de sección 150 mm x 160 mm, con porcentajes

de sustitución de cemento por fibras de neumáticos en porcentajes que van en cantidades del 2%, 3%, 4%, 5% y 6%; mientras que, en la segunda etapa elaboraron vigas de sección 150 mm x 500 mm, donde reemplazaron el cemento por un 4 % de fibras de neumáticos; además, elaboraron cilindros de hormigón de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura, con el objeto de determinar el comportamiento de la muestra ante esfuerzos de compresión, así como también probetas prismáticas (viguetas) de 15cm x15cm x 60 cm de sección para evaluar las propiedades de adherencia.

En su estudio, Carrión & Guambaña, (2018), reemplazaron al agregado grueso por agregado reciclado provenientes de hormigones reciclados, con porcentajes equivalentes al 20%, 25%, 30% y 35%, para luego de analizarlos por separado, y posteriormente realizar un hormigón cuya dosificación contenga el remplazo del agregado convencional por agregado reciclado y el cemento por ceniza volante.

3.5. Métodos de prueba para determinar el comportamiento del hormigón reciclado

Para determinar el comportamiento mecánico del hormigón sintetizado a partir de la inclusión de materiales reciclados, se debe llevar un proceso de control tanto en estado fresco como en estado endurecido, para garantizar que el hormigón modificado logre alcanzar la resistencia adecuada, para su aplicación en la construcción de elementos estructurales. En este contexto, en el proceso de elaboración del hormigón a partir de la inclusión de RCD, los autores Aigaje & Yucta, (2018); Arias, (2017); Avila & Paca, (2018); Bolaños, (2015); Cadme, (2013); Campaña, (2017); Chango & Tulcán, (2018); Contreras, (2012); Moncayo, (2020); Mora, (2014); Ronquillo & Verdugo, (2019); Tapia, (2018); Torres, (2020); Vallejo, (2021); Vásquez, (2019); Vivar, (2021), llevaron un control del hormigón, tanto en estado fresco como endurecido, donde el principal parámetro analizado en el hormigón en estado fresco fue el asentamiento de la mezcla mediante el Cono de Abrams (ASTM C143/C143M-15, 2015); mientras que, para caracterizar las propiedades mecánicas del hormigón en estado endurecido, desarrollaron ensayos a compresión simple, conforme el procedimiento descrito por la norma ASTM C39/C39M-18, (2018); para lo cual, se prepararon la muestras según los métodos planteados por la norma ASTM C1231/C1231M-15, (2015) y NTE INEN 2649, (2012), normativas que describen el procedimiento para la preparación de especímenes de hormigón que serán sometidos a esfuerzos de compresión; estos fueron ensayados con ayuda de la prensa hidráulica a una edad de 7, 14 y 28 días, donde se aplicó cierta carga hasta conseguir que la probeta falle. Por otro lado, también analizaron el comportamiento del hormigón a flexión según el procedimiento descrito por la norma ASTM C78/C78M-02, (2002); para lo cual ensayaron viguetas aplicando cargas en los tercios medios (Bolaños, 2015; Cadme, 2013; Contreras, 2012; Ronquillo & Verdugo, 2019).

Del mismo modo Aigaje & Yucta, (2018); Avila & Paca, (2018), caracterizaron el hormigón con agregados reciclados de RCD en estado fresco determinando el tiempo de fraguado de la mezcla, mediante el método de fraguado del cemento hidráulico por la aguja de Vicat (ASTM C191-08, 2008); además, analizaron la fluidez de la pasta (ASTM C1437-07,

2007), temperatura del hormigón (ASTM C1064/C1064M-08, 2008), la densidad del hormigón (ASTM C29/C29M-07, 2007) y contenido de aire por el método de presión (ASTM C231-08, 2008). Mientras que para determinar el comportamiento del hormigón en estado endurecido Aigaje et al., (2018) elaboraron 81 cilindros de hormigón de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura; las mismas que, fueron ensayadas a compresión a la edad de 7, 14, 21, 28, y 91 días, también evaluaron el módulo de elasticidad (ASTM C469/C469M-02, 2002) y comportamiento del hormigón a tracción indirecta (ASTM C496/C496M -04, 2004) a la edad de 28 y 91 días; también elaboraron nueve losas de hormigón de 5 cm de espesor por 70 cm ancho y largo, las mismas que fueron evaluadas mediante pruebas de impacto a la edad de 28 días según el procedimiento descrito por la norma ASTM C469/C469M-02, (2002), finalmente analizaron la retracción por secado en base a la norma ASTM C157/C157M-08, (2008), donde evaluaron los cambios en las dimensiones del testigo durante el tiempo de fraguado para lo cual elaboraron nueve viguetas de 7.5 cm x 7.5 cm x 28.5 cm, las mismas que fueron ensayadas a la edad de 5, 7, 14, 21 y 28 días.

Por otro lado, Pucha & Llanga, (2010) evaluaron el hormigón sintetizado con agregados reciclados de plástico triturado en estado endurecido, elaborando 144 probetas de hormigón con 22 combinaciones distintas, en el cual varía el porcentaje de participación del agregado reciclado. Las probetas fueron sometidas a ensayos de compresión según la norma ASTM C39-18, (2005) de la siguiente manera: 48 probetas a los 7 días, 12 probetas a los 14 días, 12 probetas a los 21 días y 56 probetas a los 28 días. Así también, Mendieta, (2016) para caracterizar el hormigón con agregados reciclados de plástico, elaboró cuatro losas de 50 cm x 114 cm x 7 cm de dimensión, mismos que fueron evaluadas ante esfuerzos de flexión; para ello, las losas se apoyaron sobre cuatro probetas cilíndricas de hormigón de 15 cm de diámetro, mismas que fueron colocadas en cada uno de los extremos de la losa; además elaboró 21 cilindros de hormigón de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura y 21 probetas prismáticas (viguetas) de 15 cm de ancho x 15 cm de alto x 54 cm de longitud, los mismos que fueron ensayados a compresión y flexión respectivamente a la edad de 28 días.

Asimismo, Villacrés, (2021) evaluó su diseño de hormigón reciclado a base de partículas de PET, mediante ensayos de flexión, para lo cual elaboró 16 vigas de 15 cm de ancho x 15 cm de alto x 75 cm de longitud de dimensión, las cuales fueron distribuidas en grupos de cuatro según el porcentaje de inclusión de plástico. Del mismo modo, Chacón & Lema, (2012) para caracterizar el hormigón elaborado con agregados reciclados de plástico PET, elaboraron tres probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura, para cada ensayo (compresión, velocidad sónica, y adherencia), cabe indicar que para el ensayo de adherencia embebieron varilla corrugada de 10 mm de diámetro en la probeta de hormigón, con el objeto de determinar el esfuerzo que produce la barra de acero para ser extraída; mientras que en el ensayo de velocidad sónica permite determinar el tiempo en el que se demora el pulso ultrasónico en atravesar la probeta del hormigón evaluando así su calidad; además, para poder evaluar el comportamiento a flexión del hormigón, elaboraron viguetas de 15 cm de ancho por 15 cm de alto por 60 cm de longitud, las cuales fueron sometidas a cargas en los tercios medios de la luz.

Por otro lado, también se han realizado pruebas en hormigones elaborados a partir de la inclusión de partículas de vidrio; en este sentido, Peñafiel, (2016) para evaluar el comportamiento de la mezcla, realizó 45 probetas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, distribuidos en grupos de tres cilindros de acuerdo con el porcentaje de sustitución de la fracción fina por vidrio triturado; mismos que fueron sometidos a esfuerzos de compresión en grupos de 15 probetas a la edad de 7, 14 y 28 días. Del mismo modo, Auquilla & Peláez, (2021), elaboraron nueve probetas de hormigón de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura, de acuerdo con el porcentaje de participación del agregado reciclado; mismas que fueron ensayadas a compresión en grupos de tres especímenes a la edad de 7, 14 y 28 días. Así también, Auquilla & Peláez, (2021) evaluaron la calidad de este tipo de hormigón mediante el ensayo de ultrasonido a la edad de 28 días, descartando así la presencia de espacios vacíos en el hormigón.

Además, Saltos et al., (2017) evaluaron el hormigón sintetizado a partir de la inclusión de partículas de caucho triturado, elaborando 45 probetas cilíndricas, mismas que fueron ensayados a compresión simple a la edad de 28 días. Del mismo modo Bastidas & Viñán, (2017), elaboraron tres cilindros de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, los cuales fueron ensayados de acuerdo con el procedimiento que dictamina la norma NTE INEN 3124, (2017), para el ensayo a compresión simple; además, elaboraron dos probetas prismáticas (viguetas), para poder evaluar el comportamiento a flexión aplicando carga en el punto medio de la probeta.

De la misma manera Checa & Quinapallo, (2020), evaluaron el hormigón elaborado con partículas de neumático triturado, mediante ensayos de compresión; para lo cual elaboraron 50 probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura que fueron ensayados a la edad de 7 y 28 días; además evaluaron el comportamiento a flexión a la edad de 28 días, en la que aplicaron una carga máxima de 33000 N en los tercios medios del espécimen, para lo cual elaboraron 12 viguetas de 15 cm de ancho por 15 cm de altura por 50 cm de longitud. Así mismo Rodríguez & Villalba, (2016), analizaron el comportamiento del hormigón elaborado con partículas de neumático, mediante ensayos de compresión y flexión; para el ensayo de compresión elaboraron 79 probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, de las cuales ocho probetas fueron ensayadas a la edad de 7 días y 71 probetas a los 28 días de edad; del mismo modo, analizaron el comportamiento a flexión del hormigón, para lo cual elaboraron 54 vigas de 15cm x 15cm x 60cm, donde 10 probetas fueron ensayadas a los 7 días y 44 probetas a los 28 días de edad; además para determinar la resistencia de adherencia de este nuevo hormigón, produjeron 20 probetas cubicas de 10 cm x 10cm x 10cm, incrustando una varilla de 10 mm, mismas que fueron ensayadas a los 28 días de edad.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Uso del agregado reciclado en la síntesis de nuevos hormigones, Visión general.

El uso de materiales reciclados para la síntesis de nuevos hormigones ha sido tema de investigación a escala global, esto con el objeto de determinar su comportamiento mecánico y garantizar su uso en la construcción de nuevas edificaciones. Siendo los principales exponentes dentro de esta temática aquellos países que debido a su ubicación hace que el acceso a los recursos naturales sea limitado y por ende sea costosa, como es el caso de países del Centro de Europa, donde esta práctica ha sido un proceso integrado que permite una gestión eficaz de los residuos generados tanto por la industria de la construcción como por otras industrias; inclusive siendo los pioneros en implementar normativas que regulan el uso de este tipo de residuos en los procesos constructivos; que, es producto del avance en el conocimiento en cuanto a las propiedades de los agregados reciclados y su comportamiento en la mezcla, que permite obtener hormigones con resistencias similares o inclusive superiores a los hormigones sintetizados con agregados naturales, el mismo que está en función del porcentaje de participación del agregado reciclado y la relación agua cemento (a/c); de acuerdo a ello se han concluido que la mezcla diseñada con un a/c de 0.50 y 25% de agregado grueso reciclado, presenta un 10% más de la resistencia del hormigón convencional (Zega et al., 2018).

El hecho de la utilización de materiales productos del reciclaje en la síntesis de nuevos hormigones, ocasiona que este se encuentre en constante control razón por la cual se debe considerar la creación de procesos estandarizados para determinar las propiedades de la mezcla; en este sentido, Alberti et al., (2020) plantean que para la caracterización del hormigón y garantizar su uso en la construcción de estructuras sujetas a resistencias importantes, se lo haga mediante ensayos mecánicos que permitan conocer su comportamiento, ensayando elementos prismáticos (vigas) capaces de resistir esfuerzos de flexión, tracción y corte. Es por ello que Awoyera et al., (2021) incursionaron en el estudio de las propiedades del hormigón en estado plástico y la absorción que presenta la mezcla sintetizada a partir de la sustitución de la fracción fina por residuos cerámicos en un rango del 50% y 100% de su peso y la inclusión de fibras de PET en un porcentaje de 1,5% y 2,5% respecto al peso de la mezcla; da como resultado que la mezcla diseñada con un a/c de 0.6 y 50% de participación de agregado cerámico fino con el 2.5% de fibras de PET reduce el asentamiento hasta en un 75% respecto a un hormigón convencional; y por ende, la trabajabilidad de la mezcla en estado plástico se ve afectada debido al grado de absorción del material cerámico hasta en un 10%. Sin embargo, al sustituir el 100% del agregado fino por restos cerámicos y la inclusión del 2,5% de fibras de PET en la mezcla hace que este tenga un mejor desempeño ante esfuerzos de tracción siendo superior hasta en un 45% con respecto a valores reportados por hormigones convencionales. Por otro lado, también se evidencia una reducción de la absorción del agua en la mezcla al incrementar el porcentaje de participación de este tipo de residuos. En esta misma línea de investigación, Alejandrino et al., (2017)

abordaron estudios desarrollados en Argentina, donde indican que el uso de PET en la síntesis de hormigones resulta satisfactorio, debido a que la incorporación de fibras de plástico en la mezcla reduce el grado de fisuración del hormigón y sus propiedades mecánicas se encuentran dentro de valores permisibles para considerarse como hormigón estructural; el uso de este tipo de agregado en la mezcla se lo realizó sustituyendo de forma parcial el agregado fino en un rango de 0.5 – 29.9%. Sin embargo, Lima et al., (2019) manifiestan que el porcentaje idóneo de participación de fibras de PET en la mezcla es del 15%, sustituyendo de esta forma parcialmente la fracción gruesa de la mezcla, debido a que presenta una buena resistencia ante los esfuerzos de compresión siendo en un 2.33% superior a la de un hormigón convencional; además se evidenció un bajo grado de absorción de agua lo que hace que se tenga una mezcla más homogénea.

En Colombia el uso de residuos de mampostería procedentes de la cocción de material cerámico también ha sido objeto de estudio, según reporta Moreno et al., (2019) quienes indican que el porcentaje de participación del agregado reciclado incide en el comportamiento de la mezcla tanto en estado fresco como en estado sólido; por lo que, no es recomendable que se sustituya en su totalidad el agregado natural para lo cual, establecen que la sustitución del agregado reciclado no debe exceder el 30%, tanto en su fracción gruesa como en la fina, debido a que la variación en su comportamiento mecánico no dista de valores reportados por un hormigón convencional; por otra parte, también indican que al reemplazar la fracción fina en cantidades pequeñas aporta resistencia a la mezcla debido a sus propiedades puzolánicas, obteniendo resistencias de hasta 22.5 MPa, además de contribuir a la mejora en las propiedades de flujo de la mezcla en estado plástico.

Se puede evidenciar que, uno de los materiales de reciclaje que presenta mayor número de investigaciones, son los RCD, debido a que son residuos generados por los procesos constructivos y presentan una ventaja con respecto a los demás residuos ya que este tipo de agregados se pueden incluir fácilmente en la síntesis de nuevos hormigones; dentro de esta línea de investigación, Valdés et al., (2011) indica que las investigaciones desarrolladas en países como Chile, Francia, Alemania, Inglaterra y países Europeos, concluyen que el porcentaje máximo de sustitución de este tipo de agregados reciclados no debe superar el 20% en relación al agregado natural, para obtener un hormigón con un comportamiento mecánico similar al que presenta un hormigón convencional cuya variación no supera el 10% en sus parámetros de resistencia; en esto coincide Arias, (2017) quien indica que para considerar aun hormigón como hormigón con fines estructurales dicho reemplazo no debe superar el 20% y el 25% de la fracción gruesa por agregado grueso reciclado, debido a que si se incrementaría el porcentaje de participación del agregado reciclado la resistencia se vería comprometida considerablemente.

A continuación, en la *Tabla 1* se sintetizan resultados obtenidos en estudios desarrollados a escala global donde se recogen investigaciones que analizan las propiedades del hormigón con fines estructurales elaborado con agregados reciclados.

Tabla 1 Estudios desarrollados a nivel global en torno a la síntesis de hormigones a partir de la inclusión de materiales reciclados.

Investigaciones	Referencia	Tipos de residuos	Porcentaje de sustitución		Relación a/c	Resistencia f'c (MPa)
			% Fracción gruesa	% Fracción fina		
Hormigones con Agregados Reciclados	Zega et al., (2018)	Hormigón de desecho	25 %	No se incluye	0.5	23
Propiedades físicas, de resistencia y a microescala del hormigón a partir de fibras plásticas y partículas finas de cerámica	Awoyera et al., (2021)	Residuos de cerámicas como agregado fino y botellas de tereftalato de polietileno (PET) en fibras como agregado grueso	2.5 %	100 %	0.6	24
Propiedades mecánicas del concreto fabricado con agregados reciclados extraídos de escombros de mampuestos de arcilla cocida	Moreno et al., (2019)	Residuos de mampostería de arcilla	30 %	30 %	0.70	22.5
Aplicación de los residuos de hormigón en materiales de construcción	Valdés et al., (2011)	Residuos de la demolición de pavimentos rígidos	50 %	No se incluye	No se detalla	21
Caucho reciclado en la resistencia a la compresión y flexión modificado con aditivo plastificante.	Farfán & Leonardo, (2018)	Residuos de Caucho	5 % para compresión 10 % para flexión	No se incluye	0.48 y 0.6	21.8
Respuesta a flexión de vigas de hormigón reforzado con fibras con caucho de llantas de desecho y agregado reciclado.	Shahjalal et al., (2021)	Caucho y fibras de polipropileno (PP)	30% de caucho y 0.5 % del PP	No se incluye	0.5	31
Comportamiento en estado fresco y endurecido de un hormigón autocompactante, adicionado con escoria de carbón, y elaborado con agregado grueso de hormigón reciclado	Robayo et al., (2014)	Escoria de Carbón	25%	No se incluye	0.45	36
Efecto del agregado grueso reciclado sobre las propiedades del hormigón	C. J. Zega & Di Maio, (2007)	Restos de hormigón	75%	No se incluye	0.4	33.5

De acuerdo con lo que se expone en la *Tabla 1* se puede evidenciar que la inclusión de materiales reciclados para la síntesis de hormigones no solo se limita al uso de los RCD, sino que también se han incursionado en el estudio de introducir agregados procedentes de otras industrias con el objeto de mejorar su comportamiento mecánico y a la vez busca un reaprovechamiento de los recursos disponibles. En este sentido se han desarrollado investigaciones donde sustituyen los agregados naturales por agregado reciclado tanto para la fracción gruesa como la fina el mismo que se lo hace de acuerdo a su origen y propiedades; la inclusión de RCD se lo ha realizado considerando el porcentaje de participación del agregado reciclado en un rango de 25% al 50% obteniendo muy buenos resultados en cuanto a la resistencia a la compresión el mismo que supera los 21 MPa (Awoyera et al., 2021; Junak & Sicakova, 2017; Moreno et al., 2019; Valdés et al., 2011; C. Zega et al., 2018), no obstante también se ha incursionado en introducir cenizas volantes obtenidas de hornos utilizados para la cocción de materiales cerámicos y hornos utilizados para la fundición de metales (Huaquisto & Quispe, 2018; Robayo et al., 2014; Valencia et al., 2018). Por otro lado, también se han introducido caucho y PET en la síntesis de hormigones el mismo que se lo ha incluido en la mezcla como sustituto al agregado grueso en pequeñas proporciones (Awoyera et al., 2021; Guevara & Águila, 2018; Shahjalal et al., 2021), para no alterar el comportamiento de la mezcla; todos estos estudios indican que es posible la obtención de un hormigón con un buen desempeño mecánico y que fácilmente se lo puede considerar como de uso estructural, siempre y cuando los porcentajes de participación de los agregados reciclados estén previamente definidos en función del origen del agregado reciclado y sus propiedades.

4.2. Estudios desarrollados en Ecuador acerca de hormigones reciclados

En Ecuador se han desarrollado numerosas investigaciones en torno a la elaboración de hormigones a partir de la inclusión de materiales de desecho derivado de los procesos propios de la construcción, así como también de los residuos generados por otras industrias; esto debido, a que la industria de la construcción se caracteriza por presentar cierta inclinación a la optimización y el aprovechamiento de los recursos disponibles. Si bien es cierto que la industria de la construcción es una de las industrias que más genera desechos durante el proceso constructivo, también es una de las pioneras en introducir materiales producto del reciclaje para la ejecución de nuevas obras de construcción civil, en este sentido se han desarrollado investigaciones en torno a la síntesis de nuevos hormigones los mismos que han alcanzado resistencias similares e inclusive superiores a los reportados por hormigones convencionales. El proceso de elaboración del hormigón reciclado inicia con la recopilación del material de reciclaje, para posterior iniciar con el cribado y triturado del agregado reciclado a fin de obtener un material que presente una buena distribución granulométrica y finalmente se procede a realizar la caracterización del agregado donde se determina sus características principales, lo que hará factible que se definan los parámetros

de diseño de la mezcla, esto con el objeto de obtener un hormigón que se ajuste a los requerimientos para considerarlo como estructural.

Uno de los parámetros que determina el comportamiento mecánico del hormigón, es la relación agua cemento (a/c), debido a que este factor define la resistencia que se quiere alcanzar con el hormigón, además se debe controlar el porcentaje de sustitución del agregado reciclado, con el objeto de garantizar una buena interacción entre el material cementante y los demás componentes de la mezcla; a fin de obtener una mezcla homogénea, trabajable y compacta, y que además se ajuste con los requerimientos técnicos para que pueda ser utilizados con fines estructurales. En la **Tabla 2** sintetizan los resultados de los estudios considerados en esta investigación, donde se indica el valor de a/c que utilizan en el diseño del hormigón, porcentaje de sustitución del agregado natural por el agregado reciclado y los resultados obtenidos de los ensayos a los que fueron sometidos.

De acuerdo con los resultados expuestos en la **Tabla 2**, respecto a las investigaciones desarrolladas en el Ecuador, se puede concluir que la utilización de agregados reciclados provenientes de la actividad constructiva para la elaboración de hormigones resulta favorable debido a que presentan características similares a los hormigones preparados con agregados convencionales; sin embargo, una de las principales diferencias que presenta este tipo de agregado es la capacidad elevada de absorción de agua respecto al agregado convencional. En este sentido los investigadores plantean que para la síntesis de nuevos hormigones en los que se incluye residuos de hormigón reciclado se debe considerar el porcentaje de participación del agregado reciclado el mismo que debe oscilar entre el 25% y el 40%, sustituyendo de esta forma el agregado grueso natural por agregado grueso reciclado, además un aspecto importante a considerar en el diseño de la mezcla es la relación a/c , debido a que este factor determina la resistencia que se quiere alcanzar con el hormigón, siendo lo recomendable que este valor oscile en un rango de 0.57 y 0.62 para obtener hormigones con un comportamiento mecánico similar al de un hormigón convencional (Aigaje & Yucta, 2018; Bolaños, 2015; Contreras, 2012; Tapia, 2018). Mientras que investigadores como Cadme, (2013); Campaña, (2017) elaboraron mezclas con un a/c de 0.469 y 0.60, reemplazando el 100% del agregado grueso natural por agregado grueso reciclado, obteniendo resistencias al término de 28 días de 23.13 MPa y 25 MPa respectivamente. Por otro lado, en la **Tabla 2** se puede evidenciar que se han sintetizado hormigones sustituyendo de forma parcial tanto el agregado fino, como el agregado grueso por agregados reciclados de RCD; cuyo análisis no se limita únicamente a analizar el comportamiento ante esfuerzos de compresión, sino que también se ha evaluado la resistencia a la flexión en vigas y el impacto en losas, obteniendo muy buenos resultados; además con la adición de fibras de acero, se ha logrado incrementar la capacidad de resistencia a la deformación tanto transversal como longitudinalmente, logrando así obtener un hormigón más dúctil, capaz de resistir de mejor forma las cargas externas antes de llegar a fallar; también, se evidencia que este tipo de hormigón ofrece mayor capacidad de absorción de energía ante pruebas de impacto siendo hasta un 30% mayor a la de un hormigón convencional (Aigaje & Yucta, 2018; Avila & Paca, 2018).

Tabla 2 Estudios desarrollados en el Ecuador

No	Investigación	Referencia	Tipos de Residuos y metodología usada	Resultados Obtenidos
01	Estudio del uso de materiales reciclados como hormigones, cerámicas y otros productos de derrocamiento o desperdicio de obra como agregados para un hormigón.	Bolaños, (2015)	Residuos procedentes de las actividades constructivas para la síntesis de cinco tipos de hormigones donde se combinan restos de hormigón, bloques de hormigón, residuos de cerámicas, y restos de ladrillo; que fueron incluidas en el hormigón como reemplazo del agregado grueso. La dosificación del hormigón lo realizó conforme lo dicta el ACI 211.1, (2002) para conseguir una resistencia de 21 MPa.	La Mezcla sintetizada con un a/c de 0.567 donde se incluye agregados de hormigón triturado presenta resultados similares a los revelados por un hormigón convencional en cuanto la resistencia a la compresión llegando a resistir los 21,21 MPa al término de los 28 días, para esto se determinó que el porcentaje óptimo de participación del agregado reciclado es de un 30% para no alterar su comportamiento mecánico.
02	Uso de hormigones reciclados de residuos de construcción y demolición como agregados para hormigón.	Ronquillo & Verdugo, (2019)	Agregados de hormigón triturado provenientes de la demolición de pavimento rígido, bordillos y cunetas; el mismo que utilizaron como reemplazo de la fracción gruesa a razón de 60% y 100%, con el objeto de obtener resistencias mínimas de 21 MPa.	El hormigón elaborado con un a/c de 0.57 y un 60% de participación del agregado grueso reciclado en el hormigón dio como resultado valores similares e inclusive superior a los revelados por un hormigón convencional, ante la presencia de esfuerzos a compresión obteniendo un f'c de 21.4 MPa a la edad de 28 días.
03	Concreto con agregados reciclados: Adaptación de esta tecnología, alcanzando por lo menos 210kg/cm ² de resistencia a la compresión.	Contreras, (2012)	Agregados de RCD que corresponden a residuos generados en construcciones de viviendas, de vías y los desechos derivados de la instalación de servicios básicos; que fueron incluidos en la mezcla sustituyendo el agregado grueso a razón de 20%, 40%, 60%, 80% y 100%. Para determinar el comportamiento mecánico de la mezcla se ensayaron seis cilindros de hormigón, y seis viguetas (15cm*15cm*56cm) esperando conseguir una resistencia superior a los 21 MPa al termino de 28 días.	Se considero usar un a/c de 0.55 con lo que se obtuvo una mezcla con un comportamiento variable, esto debido a que, conforme incrementa el porcentaje de participación del agregado reciclado en la mezcla la resistencia disminuye considerablemente, por lo cual el autor concluye que al incluir hasta un 40% de agregado grueso reciclado en la mezcla se obtienen resistencias a la compresión de hasta 25.9 MPa superando en un 23% a la resistencia teórica; del mismo modo logró obtener una resistencia a la flexión de 3.17 MPa a la edad de 28 días.

No	Investigación	Referencia	Tipos de Residuos y metodología usada	Resultados Obtenidos
04	Elaboración de concreto utilizando agregado grueso reciclado de los elementos estructurales de las edificaciones colapsadas por el terremoto en Pedernales.	Campaña, (2017)	RCD, obtenidos en las escombreras de Pedernales, los mismos que se sometieron a un proceso de clasificación, limpieza y trituración, para posteriormente realizar la caracterización del agregado reciclado. Diseño tres tipos de mezclas con un a/c de 0.50, 0.55 y 0.60 respectivamente; sustituyendo el 100% del agregado tanto fino como grueso	Al incluir el 100% del agregado reciclado en la mezcla obtuvo muy buenos resultados en cuanto al comportamiento a compresión debido a que en los primeros 7 días de ensayo los valores fueron superiores (19.45 MPa) en cuanto a valores arrojados por el hormigón convencional (12.75MPa); no obstante, a medida que transcurrió el tiempo el esfuerzo a compresión no dista mucho de lo revelado por el hormigón convencional esto debido a que la relación a/c juega un papel preponderante en el comportamiento de la mezcla, por lo que el autor concluye que al considerar el uso de agregados reciclados en su totalidad en la síntesis de nuevos hormigones, el a/c óptimo a considerar es de 0.60 debido a que se pueden lograr hormigones hasta de 25 MPa a la edad de 28 días que resulta ser satisfactorio para el empleo en la construcción de obras civiles.
05	Hormigón con agregados reciclados de demolición de estructuras de hormigón.	Cadme, (2013)	Residuos producto de la demolición de estructuras, que fueron procesadas mediante el uso de una trituradora de mandíbula para un mejor desempeño. Elaboraron hormigón con el 100% de sustitución del agregado grueso por agregado grueso reciclado siendo la relación a/c un parámetro fundamental en este diseño; es así como, diseñaron tres tipos de mezclas con a/c de 0.619, 0.469, y 0.429, esperando lograr resistencias iguales o superiores a 18 MPa, 28 MPa, y 32 MPa.	Concluye que la sustitución total de la fracción gruesa en la mezcla hace que la resistencia a los esfuerzos a compresión varíe conforme la relación a/c; del mismo modo, evidenció una reducción significativa en la resistencia a la compresión en la mezcla con agregado reciclado respecto a los valores revelados por el hormigón convencional. Al utilizar una relación de a/c de 0.469 se obtuvo un hormigón capaz de resistir esfuerzos de compresión de 23.13 MPa; del mismo modo con un a/c de 0.429 se logra resistencias a la compresión de 28.06 MPa a la edad de 28 días, los mismos que se los pueden utilizar como hormigón estructural.
06	Reciclaje de escombros de hormigón producto de desechos de laboratorio y construcciones, para la fabricación de hormigón estructural de 21 MPa	Moncayo, (2020)	Utilizaron escombros producto del proceso constructivo y desechos de hormigón procedentes de escombreras y laboratorios de materiales, con el cual previo a la caracterización del material de reciclaje diseñaron una mezcla capaz de resistir esfuerzos a compresión igual o superior a 21 MPa; considerando variar el porcentaje de sustitución del agregado grueso por agregado reciclado en 20% y 25%.	Se evidenció que el agregado reciclado presenta una absorción superior a la del agregado natural siendo diez veces mayor a la que presenta el agregado natural. La resistencia a los esfuerzos de compresión se reduce hasta en un 10% con respecto al hormigón convencional cuando se incluyó el 20% de agregado reciclado a la mezcla mientras que cuando se sustituyó el 25 % se evidenció que la resistencia a la compresión del hormigón incrementa en un 5% con respecto a los valores arrojados por un hormigón convencional. Por lo que el investigador concluye que la sustitución de agregado natural por el reciclado no debe exceder el 25% de su peso.

No	Investigación	Referencia	Tipos de Residuos y metodología usada	Resultados Obtenidos
07	Uso de agregados reciclados y fibra de acero para elaborar un concreto satisfactorio a flexión en vigas	Avila & Paca, (2018)	Diseñaron mezclas capaces de resistir esfuerzos a compresión igual o superior a los 21 MPa, para lo cual se elaboraron 17 tipos de mezcla en el cual varía la relación a/c; para ello, utilizaron residuos de hormigón, restos de ladrillo el mismo que lo trituraron hasta hacerlo polvo (PL) y arena de fundición (AF). En este contexto sustituyeron el 25% del agregado grueso natural por agregado grueso reciclado (AGR); así también reemplazaron la fracción fina por un el 15% de AF y 10% de PL	Concluyen el porcentaje de sustitución de los agregados reciclados en el hormigón incide en el comportamiento a compresión, tracción indirecta y flexión, razón por la cual se debe controlar este aspecto; en este sentido indican que al reemplazar los agregados naturales hasta en un 50% correspondiente al 25 % de AGR, 10% de PL y 15% de AF, la resistencia a compresión incrementa de 3 a 5 MPa con respecto al hormigón convencional (24.83 MPa); por otro lado, determinaron que la trabajabilidad se ve afectada por el elevado grado de absorción de los agregados reciclados. También indican que la densidad de este tipo de hormigón oscila entre 2.2 a 2.4 g/cm ³ a la edad de 28 días, similar a la de los hormigones convencionales. Con el fin de mejorar sus propiedades los autores incluyeron fibra de acero logrando obtener un hormigón con mayor capacidad de deformación en sus dos sentidos, siendo un hormigón más dúctil para evitar que este llegue a fallar en corto tiempo; por otro lado, también indican que la capacidad de absorber energía se incrementa considerablemente llegando a ser hasta 11 veces mayor que el hormigón convencional a la edad de 28 días; del mismo modo, lograron mejorar la resistencia a flexión.
08	Uso de agregados reciclados y fibra de acero para la elaboración de un concreto satisfactorio al impacto de losas.	Aigaje & Yucta, (2018)	Se utilizaron restos de hormigón triturado producto del ensayo de cilindros de hormigón para la fracción gruesa mientras que para la fracción fina se utilizó polvo de ladrillo y arena de fundición, con el cual diseñaron tres tipos de mezclas en las cuales incluyeron el agregado reciclado, agregado reciclado - fibras de acero, y agregado natural a fin de conseguir resistencias iguales o superiores a los 21 MPa.	De acuerdo con recomendaciones de la literatura elaboraron un hormigón con un a/c de 0.625 y reemplazaron la fracción fina por un 10% de polvo de ladrillo y 15% por arena de fundición, también reemplazaron el 25% del agregado grueso por hormigón triturado logrando obtener resistencias de hasta 27.88 MPa, debido a la consistencia de la mezcla. Por otro lado, indican que el hormigón reciclado presenta poca resistencia a la tracción indirecta en comparación con un hormigón convencional, tendiendo así que a los 28 días su resistencia se incrementa en un 9.91 %, mientras que al incluir fibras de acero esta se eleva hasta un 16.5%; en cuanto, al módulo de elasticidad presenta un incremento del 5.56% mientras que al incluir fibras de acero esta disminuye en un 8.59% respecto al hormigón patrón; del mismo modo indican que losas elaboradas con este tipo de hormigón presenta mayor capacidad para absorber energía logrando desarrollar mayor ductilidad y mejoras en la flexión.

No	Investigación	Referencia	Tipos de Residuos y metodología usada	Resultados Obtenidos
09	Desempeño, factibilidad y sostenibilidad de hormigones hidráulicos estándares con el uso de agregados reciclados.	Vásquez, (2019)	<p>Utilizaron residuos de porcelanas, cerámicas y vidrio los mismos que fueron sometidos a un proceso de triturado con la ayuda de la trituradora de mandíbula que permitió reducir su tamaño hasta 8 mm.</p> <p>Previo al diseño de la mezcla el material reciclado fue caracterizado a fin de conocer sus propiedades; posterior a eso se elaboraron mezclas considerando utilizar el 30% de agregado natural y 70% de agregado reciclado (restos de porcelana, cerámicas y vidrio) esto debido a recomendaciones de la literatura revisada; no obstante, también decidieron diseñar mezclas considerando la relación inversa de los agregados.</p>	<p>Se elaboró una mezcla considerando un a/c de 0.51 lo que permitió que la mezcla sea trabajable; sin embargo, debido al alto grado de absorción del agregado reciclado se realizó correcciones para evitar pérdida de agua que afecte directamente a la hidratación del cemento.</p> <p>Se pudo evidenciar que el agregado reciclado procedente de restos de porcelanas presenta un buen desempeño mecánico en la mezcla ya que se pudo lograr resistencias de hasta 37 MPa, mientras que al adicionar residuos de cerámicas se logró resistencias de hasta 23.9 MPa; por otro lado, al trabajar con vidrio se redujo el porcentaje de participación del agregado reciclado a fin de obtener una mejor resistencia con lo que se llegó a obtener resistencias de hasta 22.4 MPa, demostrando de esta forma que las mezclas sintetizadas a partir de este tipo de residuos es factible introducirlos en la elaboración de hormigones con fines estructurales.</p> <p>En cuanto al comportamiento de la mezcla a tracción directa se pudo evidenciar que la mezcla que contenía restos de porcelana presenta un mejor desempeño con un valor de 2.7 MPa, no obstante, las demás mezclas elaboradas a partir de restos de cerámicas y vidrio también presentan un buen desempeño y presentan valores superiores a los 2.5 MPa.</p>
10	Correlación del Módulo de Rotura del hormigón simple en vigas elaboradas con agregados pétreos naturales y agregados reciclados.	Chango & Tulcán, (2018)	<p>Utilizaron los restos de cilindros de hormigón que fueron sometidos a pruebas de compresión en el laboratorio del Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón, el mismo que se lo trituró a tal punto de reducirlos a partículas manejables y adecuadas para la síntesis de nuevos hormigones, en este sentido se optó por sustituir el agregado reciclado en porcentajes de 60% de la fracción fina y 40% la fracción gruesa.</p>	<p>Para el diseño de la mezcla se utilizó una relación a/c de 0.51 tanto para el diseño de la mezcla patrón como en el del hormigón reciclado. Cabe indicar que las mezclas patrón sintetizadas a partir de agregados naturales, presentó un buen desempeño mecánico logrando obtener resistencias de hasta 26.7 MPa, mientras que con el agregado reciclado se obtuvo resistencias de hasta 26.4 MPa, demostrando de esta forma que el agregado reciclado procedentes de la demolición de cilindros de hormigón presenta muy buenas características para la síntesis de nuevos hormigones.</p> <p>Por otro lado, en cuanto a la flexión la mezcla presentó un buen desempeño llegando a obtenerse valores de 3.52 MPa el mismo que corresponde a un 13.33% de lo obtenido en el ensayo a compresión de la mezcla, lo que indica que se encuentra en el rango del 10% al 20% de la resistencia a compresión según las recomendaciones de la normativa ASTM C78, (1978).</p>

No	Investigación	Referencia	Tipos de Residuos y metodología usada	Resultados Obtenidos
11	Propiedades físico – mecánicas del hormigón elaborado con agregados reciclados	Arias, (2017)	Se utilizó RCD procedentes de una escombrera, el mismo que se llevó a un tratamiento previo de cribado y trituración para posterior realizar la caracterización de los agregados y definir el porcentaje de participación en la mezcla; en este sentido consideraron incluir un 30% de agregado reciclado procedente de RCD.	La mezcla diseñada con un valor a/c de 0.45 , considerando la participación de 27% de agregado grueso reciclado procedente de restos de hormigón y el 3% de agregado fino reciclado procedente de restos de mampostería presentó una resistencia a compresión de 22.5 MPa, definiendo de esta forma que para lograr un hormigón con características similares a los de un hormigón convencional y con un comportamiento mecánico similar el porcentaje de participación de los agregados reciclados no deben superar el 30%.
12	Hormigón con agregados reciclables procedentes de residuos de construcción.	Vivar, (2021)	Utilizaron RCD provenientes de escombreras el mismo que luego de la recolección del material se lo trituro de forma manual. Para el diseño de la mezcla se consideró diferentes porcentajes de participación del agregado reciclado sustituyendo solo la fracción gruesa, así como también la relación a/c (0.35; 0.40; 0.45; 0.55; y 0.60) a fin de determinar el porcentaje y a/c idóneo.	Se obtuvo que la resistencia de la mezcla varía en función del porcentaje de participación del agregado reciclado y del a/c, en este sentido se logró una mezcla con un a/c de 0.35 y 75 % de agregado grueso reciclado dio una resistencia a la compresión de 30.6 MPa; por otro lado, al considerar el 25% de participación del agregado reciclado con valores de a/c de 0.40 y 0.45 se obtuvieron resistencias de 28.4 MPa y 21.3 MPa respectivamente, lo que indica que el porcentaje óptimo para poder emplearlo en la síntesis de hormigones es del 25% del agregado grueso reciclado.
13	Hormigones alternativos de alto desempeño con el uso de desechos de porcelana como agregado grueso	Tapia, (2018)	Se utilizó restos de porcelana que luego del proceso de triturado se procedió a definir sus características. Para la síntesis del hormigón se decidió incorporar el agregado reciclado en por porcentajes de 30% y 100% sustituyendo el agregado grueso, a fin de identificar el porcentaje de participación idóneo en la mezcla para lograr un buen desempeño mecánico.	Se pudo evidenciar que la mezcla diseñada con un a/c de 0.25, y un porcentaje de participación de 30% del agregado grueso reciclado logro desarrollar un comportamiento similar a los resultados arrojados por el hormigón convencional. En este sentido la mezcla sintetizada con un 30% de agregado grueso reciclado y 70% de agregado grueso natural logro una resistencia a la compresión de 90.9 MPa a los 28 días; y la resistencia a la tracción indirecta está dentro de los parámetros aceptables con un valor de 5 MPa, lo que indica que fácilmente se lo puede utilizar en la construcción de pavimentos rígidos debido a que supera los 70 MPa.
14	Propuesta de vivienda Popular conformada por paredes portantes de concreto elaborado con material reciclado.	Pucha & Llanga, (2010)	Utilizaron plástico triturado, mismo que fue introducido a razón del 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 y 2%, sustituyendo así al agregado fino en la mezcla; con el objeto de alcanzar resistencias superiores al obtenido en el hormigón convencional; para lo cual elaboraron cilindros que fueron ensayados a los 7, 14, 21 y 56 días.	Como resultado de este estudio se evidenció que, si se sustituye al agregado fino por plástico triturado en porcentajes menores o iguales al 5%, el hormigón refleja propiedades físico mecánicas similares o superiores a las del hormigón convencional. Mientras que, si este porcentaje de sustitución supera al 5% la resistencia final del hormigón va disminuyendo. Es así que, al trabajar con el 5% de sustitución de la fracción fina por plástico triturado se logra alcanzar una resistencia a compresión de 24.11 MPa a los 28 días de edad.

No	Investigación	Referencia	Tipos de Residuos y metodología usada	Resultados Obtenidos
15	Diseño de mezcla para hormigón simple de 240 kg/cm ² utilizando fibras de materiales reciclados.	Mendieta, (2016)	Utilizaron fibras de PET de diversos tamaños (1.5 mm a 2 mm de ancho x 6cm a 7cm de largo x 0.1mm a 0.2 mm de espesor; 1.5 mm a 2 mm de ancho x 9cm a 11cm de largo x 0.1mm a 0.3 mm de espesor; 1.5 mm a 2 mm de ancho x 13cm a 15cm de largo x 0.1mm a 0.4 mm de espesor) en sustitución de la fracción fina, a razón de 0.2%, 0.4%, y 0.6% con el objetivo de alcanzar una resistencia a compresión de 24 MPa	El mejor resultado que obtuvieron fue al sustituir la fracción fina por fibras de plástico de 9 a 11cm de largo en una proporción de 0.6%, obteniendo una resistencia a compresión de 19.443 MPa, sin embargo, no se logra alcanzar la resistencia de diseño de 24 MPa, según el autor esto se debió a la mala calidad de los otros agregados. En cuanto a la resistencia a flexión, el mejor resultado se obtuvo, al trabajar con las fibras de 9cm a 11 cm en una proporción de sustitución del 0.6%, alcanzando una resistencia a flexión de 3.486 MPa. Al evaluar el comportamiento de las losas, el mejor resultado obtenido fue al trabajar con una proporción de sustitución del 0.4% de fibras, que poseían dimensiones entre 13 cm a 15 cm de largo x 2 mm de ancho, logrando alcanzar mayor capacidad de carga, con un valor diferencial de 73.195 kg respecto al hormigón convencional, y además no existió presencia de fisuras superficiales.
16	Estudio comparativo de elementos fabricados de hormigón con material reciclado PET (Polietileno Tereftalato) y de hormigón convencional.	Chacón & Lema, (2012)	Emplearon agregado triturado de PET como sustituto del agregado fino a razón de 10%, 25%, 50 y 75%, con el objetivo de alcanzar una resistencia a compresión de 21MPa.	Concluyen que el porcentaje óptimo de sustitución de agregado fino por agregado triturado de PET oscila aproximadamente en una proporción del 25%, logrando alcanzar una resistencia de 23.7 MPa, superando a la resistencia teórica; sin embargo, este hormigón presentó una disminución de un 4% en la resistencia a compresión respecto a la resistencia obtenida del hormigón convencional. En cuanto a los resultados obtenidos de las pruebas de la resistencia de adherencia, este nuevo hormigón reciclado incrementa un 26.5% sus propiedades de adherencia por anclaje.
17	Influencia del poliestireno reciclado en las características físico-mecánicas y sostenibilidad de un hormigón estructural	Patiño & Villa, (2021)	Usaron partículas de poliestireno en remplazo del agregado fino a razón de 30%, 60% y 100%; tomando en cuenta que las tres proporciones de sustitución corresponden a cada resistencia teórica proyectada cuyos valores son equivalentes a 24 MPa, 27 MPa y 30 MPa	Concluyen que los porcentajes óptimos de sustitución oscilan aproximadamente en un 35.5%, 86.6% y 71%, obteniendo resistencias aproximadas a 24 MPa, 27 MPa y 30 MPa respectivamente; además este hormigón modificado presenta una disminución de la densidad del hormigón aproximadamente en un porcentaje del 15.3%. En cuanto a los resultados obtenidos del ensayo de desgaste mediante la máquina de los ángeles, este se incrementa en proporciones de 3.4% a 4.77%, de 3.9% a 4.2% y de 2.1% a 4.07%, para resistencias teóricas de 24 MPa, 27 MPa y 30MPa, respectivamente respecto al hormigón convencional.

No	Investigación	Referencia	Tipos de Residuos y metodología usada	Resultados Obtenidos
18	Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del hormigón elaborado con partículas de caucho de neumáticos reciclados.	Bastidas & Viñán, (2017)	Emplean partículas de caucho en sustitución del agregado fino a razón de 5%, 10%, 20% y 30%, a fin de alcanzar resistencias superiores a los 24 MPa; en donde utilizan partículas retenidas en los tamices No. 16, No. 30 y No. 50	Concluyen que este hormigón modificado puede ser empleando para elaborar elementos estructurales que vayan a estar sometidos a solicitaciones de flexión; donde además determinan que el porcentaje de sustitución óptimo es aproximadamente del 4%, y con las partículas retenidas por el tamiz No.16, y No. 50, logrando alcanzar así resistencias a flexión de 3.51 MPa y 3.48 MPa respectivamente. Por otra parte, el mejor comportamiento a compresión se lo obtuvo al trabajar con las partículas retenidas por el tamiz No. 30, alcanzando únicamente una resistencia a compresión de 20.93 MPa, en otras palabras, presentó una disminución de resistencia del 28% respecto al hormigón convencional.
19	Análisis de las características físico-mecánicas del hormigón con la adición de polvo de neumático reciclado con cemento Holcim y Mina de Pifo	Checa & Quinapallo, (2020)	Usan polvo de neumático reciclado para reemplazar el agregado fino a razón de 5%, 15%, 25%, 35%, buscando de tal forma encontrar una dosificación que permita alcanzar o superar la resistencia a compresión de 21 MPa y 24 MPa.	Concluyen que el uso de polvo de neumático reciclado como material sustituyente del agregado fino en porcentajes que oscilan en un rango del 0 al 9%, alcanzan resistencias a compresión de aproximadamente 24.77 MPa y 27.95 MPa; con diseños para hormigones de 21 MPa y 24 MPa de resistencia. En cuanto a la resistencia a flexión, los mejores resultados obtuvieron al trabajar con un porcentaje de sustitución del 5%, alcanzando así resistencias a flexión de 3.93 MPa y 4.43 MPa con diseños para hormigones de 21 MPa y 24 MPa respectivamente.
20	Análisis a flexión en vigas de concreto armado, compuestas de Hormigón Modificado con fibrillas recicladas de neumático, y su influencia en la cuantía de acero en un Hormigón Estructural de $f'c$ 210 kg/cm ²	Rodríguez & Villalba, (2016)	Emplean el uso de fibrillas de caucho en reemplazo del agregado fino a razón de 2%, 3%, 4%, 5% y 6%, a fin de obtener resistencias similares o superiores a los 21 MPa.	Concluyen que el porcentaje de sustitución del 3% y el 4% de fibrilla de neumático en reemplazo de la fracción fina, presentan la mejor resistencia a compresión, alcanzando resistencias aproximadamente de 26.9 MPa y 25.23 MPa, respectivamente. En cuanto a los resultados obtenidos de los ensayos a flexión, el 4% y 5%, presentaron mejores resultados, alcanzando resistencias de 3.94 MPa y 3.76 MPa, respectivamente, mejorando así las propiedades del hormigón en un 26.70% ante esfuerzos de flexión. Por otra parte, como resultado de las pruebas de adherencia, este hormigón incrementa la adherencia entre el hormigón y el acero en un porcentaje del 164%, logrando obtener una resistencia de 17.1 MPa, superando así al hormigón convencional.

No	Investigación	Referencia	Tipos de Residuos y metodología usada	Resultados Obtenidos
21	Determinación de la cantidad óptima de Polímero Elástico para un Hormigón Modificado de 28 MPa y su influencia en algunas de sus propiedades.	Pilamunga & Guamán, (2016)	Emplean el uso de partículas de polímero elástico en sustitución de la fracción fina a razón de 2%, 5%, 7% y 10%, así como también para sustituir al agregado grueso en proporciones del 10% y 15%, con el objetivo de determinar dosificaciones que alcancen resistencias a compresión similares o superiores a los 28 MPa.	En este estudio el hormigón que contenía 2% de polímero elástico como sustituto parcial de agregado fino, presentó excelentes características físico-mecánicas, alcanzando así una resistencia a compresión de 28.04 MPa, del mismo modo al remplazar la fracción gruesa en un porcentaje del 2% alcanzo una resistencia de 25.2 MPa; sin embargo, esta resistencia no cumplió con la resistencia proyectada de 28 MPa. No obstante, en cuanto a la resistencia a flexión se obtuvo mayor resistencia al remplazar la fracción fina en un 2% alcanzando una resistencia de 5.73 MPa, mientras tanto, con el remplazo de la fracción gruesa se obtuvo una resistencia de 3.36 MPa. Otro resultado relevante que obtuvieron fue que el polímero elástico al poseer gran capacidad de absorber energía plástica permite soportar grandes deformaciones, mejorando así su ductilidad.
22	Comportamiento a flexión del hormigón tradicional frente a un hormigón en base de PET reciclado y fibras de bagazo de caña de azúcar.	Villacrés, (2021)	En el presente estudio incursionaron el uso del plástico PET, así como también fibras de bagazo de caña de azúcar para remplazar parcialmente al agregado grueso a razón de 1.5%, 2.5%, 5%, 7.5%, a fin de elaborar un hormigón reciclado de 210 kg/cm ² de resistencia; además para evaluar las propiedades físico – mecánicas que presenta este nuevo hormigón reciclado; se elaboraron ensayos a flexión del hormigón endurecido, determinando de tal forma su comportamiento frente a esfuerzos de flexión.	Como resultados principales obtenidos en este proyecto de investigación, indican que la resistencia a flexión mejora con sustitución parcial del agregado grueso por plástico PET; donde el porcentaje de sustitución ideal, para que el hormigón presente excelentes propiedades físico – mecánicas oscila en un rango del 5% al 7.5%, obteniendo resistencias a flexión de 2.3 MPa y 3.052 MPa, reflejando un incremento en sus resistencias del 37% y 49% respectivamente, sobrepasando a la resistencia a flexión obtenida por el hormigón patrón; sin embargo, a mayores porcentajes de sustitución, no se obtienen mejores resultados en cuanto a la resistencia a flexión, ya que si se sobrepasa del 7.5% de sustitución, únicamente se estabiliza la relación porcentaje PET vs módulo de rotura. Por otra parte, al sustituir parcialmente al agregado grueso con los diferentes porcentajes de fibra de caña de azúcar, su resistencia a flexión disminuye considerablemente; obteniendo resistencias de 0.721 MPa y 0.554 MPa para el 5% y 7.5% de sustitución de agregado grueso, reflejando un decremento en sus resistencias del 79% y 81% respecto al hormigón patrón, indicado de tal forma que la incorporación de este material reciclado a la mezcla no muestra ningún aporte para mejorar la resistencia a flexión del hormigón.

No	Investigación	Referencia	Tipos de Residuos y metodología usada	Resultados Obtenidos
23	Determinación de la resistencia a compresión de hormigón preparado con policarbonato, vidrio templado y hormigón reciclado.	Abril, (2016)	En este caso de estudio sintetizaron hormigón reciclado, sustituyendo al agregado grueso por materiales reciclados tales como policarbonato, vidrio templado y hormigón reciclado, a fin de obtener una resistencia a compresión igual o superior a los 210 kg/cm ²	El hormigón elaborado con residuos de hormigón en un 25% de sustitución del agregado grueso por agregado reciclado grueso presenta un mejor comportamiento mecánico, alcanzando una resistencia a la compresión de 244.97 kg/cm ² ; del mismo modo el hormigón elaborado con agregados de vidrio templado en el mismo porcentaje de participación alcanza una resistencia a la compresión de 262.30 kg/cm ² respecto al hormigón patrón, el cual obtuvo una resistencia de 280.17 kg/cm ² . Mientras que, al evaluar el hormigón que poseía agregados de policarbonato, se obtuvo como resultado que este material no es apto para la elaboración de hormigones estructurales, puesto a que tiende a disminuir su resistencia considerablemente.
24	Utilización de neumáticos usados como agregado en el hormigón: caso provincia de Santa Elena, Ecuador.	Saltos et al., (2017)	En este caso de estudio, se incursionó el uso de partículas de neumático reciclado, para sustituir parcialmente al agregado fino en un 10% y 15%; así como también al agregado grueso en un 10%, con el objetivo de obtener un hormigón reciclado con resistencia a compresión equivalente a 210 kg/cm ²	El hormigón trabajado con un 10% de sustitución de agregado fino por partículas trituradas de caucho, alcanza una resistencia promedio de 191.71 kg/cm ² , presentando una disminución de 8.71% respecto a la resistencia del hormigón patrón. Por otra parte, al remplazar el 10% al agregado grueso, el diseño alcanza una resistencia 153.13 kg/cm ² , lo que refleja un 72.92% de eficiencia respecto al hormigón patrón; sin embargo, estos resultados mejoraron a los 90 días, donde el hormigón presentó una resistencia de 200 kg/cm ² , incrementando su resistencia en un 23%.
25	Diseños alternativos sostenibles para el hormigón hidráulico con la utilización de vidrio molido como parte del agregado fino.	Aquilla & Peláez, (2021)	En este caso de estudio, implementan el uso de vidrio molido como material reciclado sustituyente del agregado fino, con el fin de elaborar hormigones hidráulicos, para lo cual elaboraron 10 diseños de hormigón con nueve ejemplares que representen a cada diseño con diferentes porcentajes de vidrio (10%, 15%, 20% y 25%), mismos que fueron evaluados a compresión y a tracción indirecta a los 7, 14 y 28 días.	Como resultado se obtuvo que, al sustituir al agregado fino por vidrio molido en la mezcla del hormigón, en un 10 % se obtienen resistencias a la compresión de 28.2 MPa respecto al hormigón patrón que presento una resistencia de 27 MPa, superando de tal modo a la resistencia planteada en un 4.4%. Por otro lado, el resultado más bajo se presentó, al sustituir el 15% de agregado fino por vidrio molido, dando como resultado una resistencia a compresión de 26.5 MPa. No obstante, al analizar las probetas a tracción indirecta obtuvieron resultados desfavorables, siendo así que el diseño que mejor se comporto fue aquel en el que se sustituía un 20% al agregado fino por vidrio molido, alcanzando así una resistencia de 22.3 MPa con respecto al hormigón patrón, donde se obtuvo una resistencia de 22.7 MPa.

No	Investigación	Referencia	Tipos de Residuos y metodología usada	Resultados Obtenidos
26	Análisis de la resistencia a la compresión del hormigón al emplear vidrio reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino.	Peñañiel, (2016)	En este caso de estudio incursionaron la sustitución parcial del agregado fino por vidrio triturado, afín de obtener un hormigón de 210 kg/cm ² de resistencia a compresión, para lo cual elaboraron 45 probetas cilíndricas en donde fue variando la incorporación de vidrio triturado en porcentajes equivalentes al 10%, 20%, 30% y 40%, mismas que fueron ensayadas posteriormente a los 7, 14 y 28 días	En este caso de estudio muestran como resultado principal que el vidrio triturado como material alternativo sustituto parcial del agregado fino en la producción de hormigón, presenta excelentes propiedades físico-mecánicas al trabajar con un porcentaje de sustitución del 40%, alcanzando así una resistencia a compresión de 234.76 kg/cm ² respecto al hormigón patrón 227.73 kg/cm ² , superando de tal forma la resistencia a compresión del hormigón convencional en un 111.8%.
27	Diseño y elaboración de mezclas de hormigón con materiales reciclados.	Carrión & Guambaña, (2018)	Este proyecto investigativo propone elaborar hormigones reciclados a partir de la sustitución parcial del cemento por ceniza volante proveniente de hornos artesanales usados para fabricar ladrillos, a fin de obtener un hormigón con una resistencia igual o superior a 240 kg/cm ² ; para lo cual proponen tres diseños con sustitución de cemento por ceniza volante, en diferentes porcentajes tales como 20%, 30%, 50% y 70%. Por otra parte, también elaboraron diseños sustituyendo al agregado grueso por partículas de hormigón reciclado en porcentajes de 20%, 25%, 30% y 35%.	Al considerar un 23% de sustitución del agregado grueso por agregado reciclado el hormigón presenta una resistencia a la compresión de 231 kg/cm ² , mientras que el hormigón elaborado a partir de cenizas volantes como sustituto del cemento en un 10% se obtiene una resistencia de 228 kg/cm ² . Por otra parte, los resultados de la combinación de estos dos materiales en un mismo diseño, presentó una resistencia de 201 kg/cm ² , es decir refleja un decremento de resistencia del 15% respecto al hormigón patrón; evidenciando que al trabajar con la sustitución de cualquiera de los dos componentes ya sea agregado grueso o agregado fino por ceniza volante, permitirá ser usado como material alternativo para la producción de hormigones con fines estructurales.

Así también, se puede ver que se han elaborado hormigones a partir de agregados reciclados de porcelana, vidrio y cerámicas, donde Tapia, (2018) y Vásquez, (2019) determinaron que la presencia de superficies lisas en los agregados ocasionan un bajo porcentaje de adherencia, generando áreas de fallo que inciden en la resistencia a compresión del hormigón; sin embargo, el hormigón elaborado con agregados de porcelana triturado presentó un comportamiento mecánico aceptable al reemplazar el agregado grueso convencional en un 70% por agregado reciclado logrando alcanzar resistencias superiores a los 21 MPa.

Además, se puede indicar que se han desarrollado investigaciones respecto a la elaboración de hormigones reciclados a partir del remplazo de agregados naturales por agregados reciclados provenientes de diferentes tipos de plásticos, ya sean estos en forma de fibras o en forma triturada; por lo que autores como Villacrés, (2021); Chacón & Lema, (2012); Pucha et al., (2010), concluyen que el porcentaje óptimo de sustitución para trabajar con agregados triturados de plástico oscila aproximadamente en un rango del 5% al 25%, con lo que se logra alcanzar resistencias a compresión superiores a los 21 MPa, y se nota mejoras en la resistencia frente a esfuerzos de flexión. De manera similar, Mendieta, (2016) concluye que al sustituir la fracción fina por fibras de plástico en un 0.6%, el hormigón resulta favorables frente a los esfuerzos de flexión; mientras que la resistencia a compresión no alcanzó la resistencia proyectada.

Por otra parte, el uso de agregados de caucho como reemplazo de los agregados naturales; en porcentajes aproximados del 1 al 9% hace que el hormigón no presente mermas en su resistencia final, logrando alcanzar resistencias superiores a los 21 MPa ante esfuerzos de compresión; del mismo modo, este agregado mejora la resistencia a flexión logrando incrementar la capacidad de deformación haciendo que el hormigón experimente un comportamiento dúctil (Bastidas & Viñán, 2017; Checa & Quinapallo, 2020; Pilamunga & Guamán, 2016). Asimismo Rodríguez & Villalba, (2016) concluyen que el porcentaje óptimo para usar caucho en forma de fibrillas como sustituto de la fracción fina, oscila en una proporción del 2 al 6%, con lo que logra un hormigón que alcanza resistencias a la compresión superiores a los 21 MPa; así también, indican que mejora considerablemente la resistencia a la adherencia por anclaje con una eficiencia del 164% respecto al hormigón convencional.

También se evidencia el uso de vidrio molido como reemplazo de la fracción fina del hormigón, señalando así que el porcentaje óptimo de sustitución está en un rango aproximado del 10 al 40%, con lo que se logra obtener hormigones de hasta 28 MPa, lo cual resulta favorable para la construcción de elementos estructurales (Abril, 2016; Auquilla & Peláez, 2021; Carrión & Guambaña, 2018; Peñafiel, 2016).

De acuerdo con los resultados expuestos se puede concluir que el uso de agregados reciclados procedentes tanto de las actividades propias de la construcción como agregados procedentes de otras industrias representa una alternativa eficiente para la elaboración de nuevos hormigones que pueden ser utilizados con fines estructurales.

4.3. Criterios de durabilidad del hormigón reciclado producido en el Ecuador

La durabilidad de un hormigón se define como la capacidad que tiene la mezcla en estado endurecido para conservar sus características tanto físicas como mecánicas sin presentar alteraciones al estar expuestos a agentes meteorológicos y químicos, es decir que para considerar que un hormigón sea de buena calidad, este no solo depende de un buen desempeño mecánico sino también de la capacidad de resistir a agentes agresivos que comprometan su vida útil. En este sentido la NEC-SE-HM, (2015), plantea que para garantizar la durabilidad del hormigón es preciso cumplir con ciertos criterios técnicos en sus propiedades a corto y largo plazo, dichos requerimientos evalúan su comportamiento ante la presencia de esfuerzos externos, así como la capacidad de resistencia a agentes agresivos y a los efectos de la intemperie.

Uno de los aspectos que incide directamente en el comportamiento tanto mecánico como durable del hormigón es la calidad del agregado que se utiliza para la elaboración de la mezcla; razón por la cual, previo a la incorporación de agregados reciclados en la síntesis de nuevos hormigones se procede con la caracterización de estos, con el objeto de analizar propiedades asociados con su durabilidad.

Los agregados reciclados debido a su procedencia presentan variaciones en cuanto a su comportamiento, lo que hace que su condición de durabilidad se vea comprometida. La **Tabla 3** recoge los resultados obtenidos de la caracterización de agregados reciclados utilizados para la elaboración de nuevos hormigones en el Ecuador.

De acuerdo con los resultados que se indica en la **Tabla 3**, los agregados reciclados procedentes tanto de los RCD, residuos de hormigón, y restos de porcelana presentan una resistencia aceptable a la abrasión y se encuentran dentro de los parámetros aceptables requeridos por la norma ASTM C 131-01, (2001), la misma que indica que el desgaste del agregado debe estar en un rango del 10 al 45%; por otro lado, la densidad del agregado reciclado también se encuentran dentro de los parámetros recomendados por Kosmatka et al., (2002) quienes establecen que la densidad del agregado debe estar en un rango de 2.4 y 2.9 g/cm³ para poder ser considerados en la elaboración del hormigón; sin embargo, se evidencia que la absorción del agregado producto de residuos de hormigón, RCD, mampostería y residuos de polímeros elásticos (cauchos), presentan una absorción elevada que supera las recomendaciones planteadas por Kosmatka et al., (2002), los mismos que indican que para el agregado grueso dicho valor debe estar en un rango de 0.5 y 2 %, mientras que para el agregado fino dicho valor corresponde a un rango de 2 y 6% (Vásquez, 2019). Como se puede ver en la **Tabla 3**, la absorción que presenta los agregados reciclados es bastante alta en comparación con los agregados naturales, lo que hace que la demanda de agua en la mezcla para conseguir un hormigón con buena trabajabilidad sea superior, afectando de esta forma la relación a/c y por ende sus propiedades a corto plazo.

Tabla 3 Características de agregados reciclados asociados a su durabilidad

Referencia	Tipo de agregado		Densidad (g/cm ³)	Absorción	Resistencia a la Abrasión
Bolaños, (2015)	Restos de hormigón	AF	2.473	4.84%	
		AG	2.417	3.88%	22.52%
Ronquillo & Verdugo, (2019)	Restos de hormigón de Pavimento rígido	AG	2.519	1.21%	19.58%
	Restos de hormigón de aceras y cunetas	AG	2.667	0.91%	42.1%
Contreras, (2012)	RCD	AG	2.352	7.29%	21.48%
Campaña, (2017)	RCD	AF	2.365	5.00%	
		AG	2.351	8.16%	40%
Aigaje & Yucta, (2018); Avila & Paca, (2018)	Restos de cilindros de hormigón	AG	2.306	9.676 %	
	Polvo de ladrillo	AF	1.657	8.431 %	
	Arena de Fundición	AF	2.292	7.035 %	
Vásquez, (2019)	Residuos de cerámica	AG	3.30	8.20 %	9.26 %
	Residuos de porcelana	AG	3.14	1.96 %	7.02 %
	Residuos de vidrio	AG	2.52	0.03 %	16.60 %
Chango & Tulcán, (2018)	Residuos de hormigón	AG	2.36	6.87 %	31.00 %
Vivar, (2021)	RCD	AG	2.92	2.30 %	
Tapia, (2018)	Residuos de porcelana	AG	2.42	1.22 %	
Pucha & Llanga, (2010)	PVC triturado	AF	1.225	5.65%	
Mendieta, (2016)	Fibras de PET	AF	1.330	3.2%	
Chacón & Lema, (2012)	PET triturado	AF	0.80	0.1 %	
Patiño & Villa, (2021)	Poliestireno	AF	1.07	0.01%	
Bastidas & Viñán, (2017)	Partículas de caucho	AF	1.10	6.5%	
Checa & Quinapallo, (2020)	Polvo de Neumático Reciclado	AF	1.10	7%	
Rodríguez & Villalba, (2016)	Fibrillas de Caucho	AF	1.07	2.01%	
Pilamunga & Guamán, (2016)	Polímero elástico	AF	1.07	2.01%	
		AG	1.07		
Villacrés, (2021)	Plástico PET	AG	0.206	24.87%	
Abril, (2016)	Vidrio templado	AG	2.50	0.01%	
Saltos et al., (2017)	Neumático reciclado	AF	1.10	7%	
Auquilla & Peláez, (2021)	Vidrio molido	AF	2.52	0.03%	

Peñañiel, (2016)	Vidrio triturado	AF	2.20	0%
------------------	------------------	----	------	----

AF: agregado fino; AG: Agregado grueso

El comportamiento del hormigón a corto plazo está directamente relacionado con la calidad del agregado reciclado y el porcentaje de participación dentro de la mezcla; esto debido a que se ha evidenciado que a medida que se incrementa el porcentaje de participación del agregado reciclado esta condición se ve afectada. En el Ecuador se han desarrollado estudios enfocados en el análisis de las propiedades mecánicas del hormigón sintetizado a partir de agregados reciclados obteniendo resultados favorables que hacen factible su uso en la construcción de obras civiles; sin embargo, se ha dejado de lado el estudio de las propiedades a largo plazo, esta condición ha hecho que su uso sea poco confiable en la construcción civil; puesto que profesionales de la industria de la construcción aseguran que los problemas con este tipo de hormigones pueden presentarse a largo plazo llegando a afectar la durabilidad del hormigón y por ende el desempeño de la estructura se vería comprometido (Arias, 2017).

Debido a que en el Ecuador la condición de durabilidad del hormigón reciclado ha sido muy poco estudiado y con el afán de cumplir uno de los objetivos señalados en este estudio, se ha optado por revisar estudios que abordan este aspecto a nivel internacional lo que permite conocer metodologías relacionadas con la determinación de la durabilidad de este tipo de hormigones; para lo cual, se describen los principales resultados obtenidos en las pruebas de resistencia a los ataques de cloruros, resistencia a la congelación y descongelación, resistencia a la abrasión, resistencia a la carbonatación, la absorción y la contracción por secado; pruebas que están asociadas a la determinación de la durabilidad del hormigón.

4.3.1. Resistencia del hormigón reciclado ante ataques de cloruros

Al estar expuestos a la intemperie el hormigón desarrollado a partir de agregados reciclados debe ser capaz de resistir a agentes nocivos que comprometan su desempeño y durabilidad, uno de ellos es la presencia de cloruros que al entrar en contacto con el hormigón busca introducirse por las cavidades vacías de la masa, afectando de manera directa a las barras de acero, debido a que da lugar a la corrosión de este; afectando de tal modo a la seguridad de la estructura (Evangelista & Brito, 2010).

En este contexto se han desarrollado estudios con el objeto de determinar la capacidad de resistencia a la permeabilidad del cloruro que tiene el hormigón reciclado, llegando a determinar que esta condición está asociada directamente al porcentaje de sustitución del agregado convencional por agregado reciclado, concluyéndose que la permeabilidad del cloruro presenta un incremento lineal a medida que el porcentaje de participación del agregado reciclado incrementa (Bae & Kim, 2010; Pavón et al., 2011; Peyvandi et al., 2013).

Sin embargo, Berndt, (2009) concluye que la mezcla de hormigón elaborada a partir de la sustitución de la fracción gruesa en un 50 % del agregado natural por reciclado y reemplazando el cemento en el mismo porcentaje por cenizas de escorias se tiene un hormigón que presenta muy buen desempeño mecánico y las pruebas de durabilidad mostraron que el coeficiente de permeabilidad y el coeficiente de difusión de cloruros presentan ligeros incrementos; no obstante, dicho incremento no excede los valores recomendados para tener un hormigón duradero. Además, se tiene que la resistencia del hormigón a la permeabilidad de cloruros es afectada por el uso de aditivos, edad de curado, relación a/c y método de mezclado. De acuerdo con ello, Nassar, (2010) en su estudio concluye que, al incluir ceniza volante como sustituto parcial del cemento para la elaboración de hormigones con agregados reciclados, la resistencia a la penetración de cloruros mejora en un 38% en comparación con un hormigón convencional.

Otro de los aspectos que se ha analizado es la edad de curado del hormigón reciclado, puesto que se ha evidenciado que esta incrementa la penetración de los iones de cloruro (Bae & Kim, 2010), por lo que la reducción de la relación a/c y considerando un porcentaje de sustitución de la fracción gruesa hasta en un 30% por agregado reciclado podría mejorar esta condición (Jain et al., 2011).

4.3.2. Resistencia del hormigón reciclado a la congelación y el deshielo

Otro factor determinante que afecta a la durabilidad del hormigón son los ciclos de congelación y descongelación que presenta el mismo al estar expuesto a ambientes con bajas temperaturas, es por ello que autores como Ajdukiewicz & Kliszczewicz, (2002); Limbachiya et al., (2000); Ma et al., (2019); Richardson et al., (2011), han elaborado estudios para evaluar esta condición aplicando ciclos rápidos de congelación y descongelación en probetas prismáticas de hormigón con diferentes porcentajes de sustitución de agregado natural por agregado reciclado, llegando a concluir que el hormigón elaborado con un 30% de sustitución del agregado presenta un comportamiento similar al de un hormigón convencional; sin embargo, Shang et al., (2008) afirman que el hormigón reciclado es menos resistente a la congelación y descongelación, debido a que los agregados reciclados que lo conforman poseen un alto grado de absorción de agua, lo que ocasiona que presente pérdidas en la masa y por ende la durabilidad se vea afectada; en esta línea de investigación Yoshiharu, (2003) realizó un estudio donde evaluó la influencia del mortero adherido frente a esta condición, obteniendo como resultado que la reducción de mortero adherido no ayuda a que mejore la resistencia del hormigón frente al congelamiento y deshielo. Sin embargo, Richardson et al., (2011), encontraron una alternativa para contrarrestar este fenómeno incluyendo aire y fibras de polipropileno, mejorando así la resistencia del hormigón frente al congelamiento y deshielo, además se ha demostrado que la reducción de la relación a/c en la mezcla y la inclusión de aire mejora favorablemente esta condición (Salem & Burdette, 1998).

4.3.3. Resistencia a la abrasión del hormigón reciclado

El daño por abrasión es un factor importante a considerar cuando se habla de duración, puesto a que este fenómeno afecta directamente al hormigón al ser expuesto ante diferentes agentes ambientales, por ello autores como Limbachiya et al., (2000); Nassar & Soroushian, (2015); Olorunsogo & Padayachee, (2002); Xiao et al., (2013) han desarrollado estudios para analizar esta condición; en los cuales llegan a concluir que el porcentaje de sustitución del agregado natural por agregado reciclado influye directamente en la resistencia ante la abrasión del hormigón, debido a que si el porcentaje de participación del agregado reciclado es superior al 30%, la resistencia a la abrasión del hormigón disminuye hasta un 12%, generando desprendimiento de la masa que afectan al desempeño del hormigón (Thomas et al., 2018). Sin embargo, Limbachiya et al., (2000) concluyen que la abrasión que presentan los hormigones elaborados a partir de agregados de RCD es similar a los presentados por un hormigón convencional.

Por otro lado, se ha evidenciado que el uso de aditivos, la relación a/c y el método de mezclado que se usa para la elaboración de hormigones con agregados reciclados influyen en este parámetro; en tal virtud, Xiao et al., (2013) concluyen que la resistencia a la abrasión del hormigón elaborado con restos de hormigón de pavimentos incrementa en un 18% y 36% en comparación con el hormigón normal, para lo cual utilizaron el método de doble mezcla, lo que hizo posible combinar ceniza volante de alta calidad y aditivo de alta eficiencia; por otro lado, Sagoe et al., (2001) y Xiao et al., (2013) coinciden en que la modificación de la relación a/c y el porcentaje de participación del agregado reciclado en el hormigón mejora considerablemente esta condición; razón por la cual Thomas et al., (2018) sostiene que la sustitución del agregado convencional por agregado reciclado no debe superar el 30% , para obtener un comportamiento similar al del hormigón convencional.

4.3.4. Resistencia del hormigón reciclado a la carbonatación

El proceso de carbonatación es altamente nocivo para el acero de refuerzos en los elementos de hormigón armado, pues este destruye el entorno de pH de hormigón al reaccionar la portlandita y el CO₂, razón por el cual Levy & Helene, (2004) concluyen que el proceso de carbonatación del hormigón reciclado disminuye si se trabaja con sustituciones de agregado reciclado en porcentajes del 20% y el 50% de su fracción fina y el 100% en su fracción gruesa; Sin embargo, dichos resultados contrastan con los obtenidos por Limbachiya et al., (2012), quienes sostienen que la profundidad de carbonatación aumenta conforme aumente el porcentaje de sustitución del agregado convencional por agregado reciclado; en este criterio coinciden Levy & Helene, (2004) quienes afirman que la profundidad de carbonatación del hormigón reciclado se incrementa si el porcentaje de sustitución es menor que el 70%, mientras que este proceso disminuye si se incrementa el porcentaje de participación del agregado reciclado debido a la presencia de poros en el hormigón tiende a ser mayor.

4.3.5. Absorción en el hormigón reciclado

Los hormigones sintetizados a partir de la inclusión de agregados reciclados producto de las actividades constructivas presentan un porcentaje elevado de absorción esto en comparación con los valores presentados por hormigones convencionales (Gomes & De Brito, 2009). Al evaluar la absorción tanto por inmersión como por capilaridad Lima et al., (2019) concluyen que el hormigón elaborado a partir de agregados gruesos producto de la trituración de ladrillos presenta una absorción del 70% por el fenómeno de capilaridad, sin embargo, al evaluar esta condición por inmersión presenta un 62% de absorción con respecto a los hormigones convencionales; mientras que, al evaluar hormigones desarrollados con un porcentaje de participación del 100% de agregados procedentes de la trituración de hormigones viejos se ha evidenciado que la absorción incrementa en un 70% esto debido al grado de absorción de los agregados reciclados, lo que hace que se genere alta presión de osmosis dentro de la estructura del hormigón (Olorunsogo & Padayachee, 2002; Xiao et al., 2013).

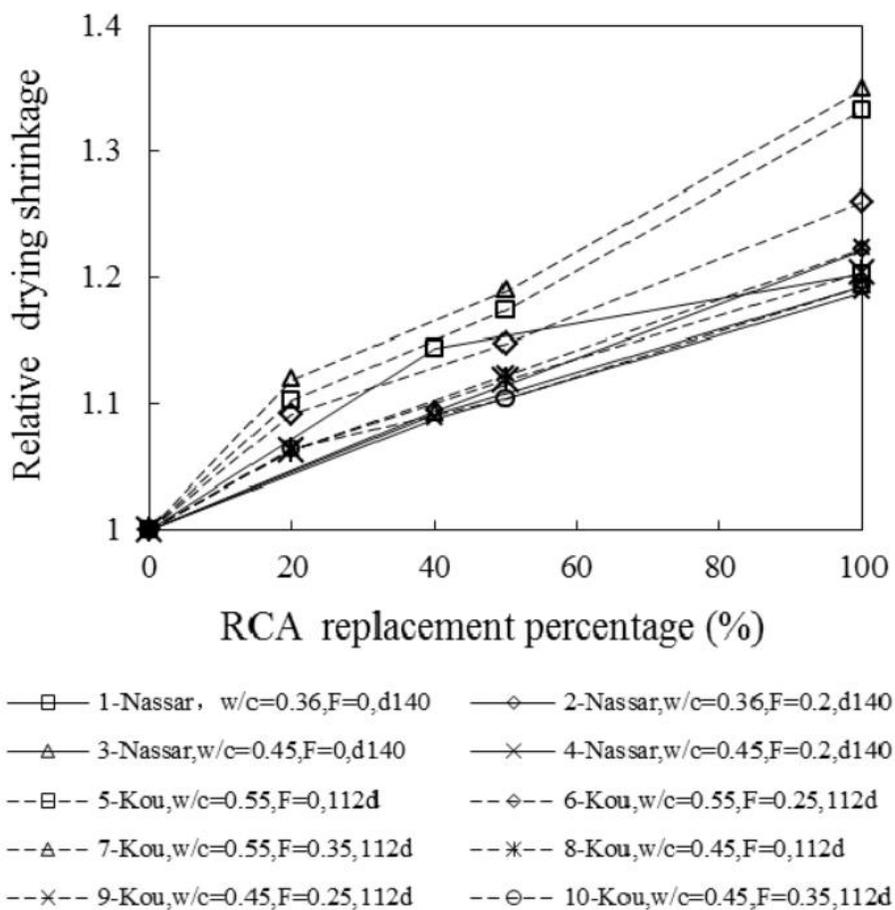
Thomas et al., (2018), sostienen que la absorción del hormigón incrementa debido a la presencia de mortero adherido en agregados reciclados producto de las actividades constructivas, esto debido a que generan cavidades vacías en la estructura interna del hormigón, para lo cual concluyen que se debe reducir la relación a/c con el objeto de introducir mayor cantidad de cemento y lograr un hormigón más denso.

4.3.6. Contracción por secado en el hormigón reciclado

La contracción por secado generalmente genera grietas en el hormigón al sufrir deformaciones en su estructura interna, además aparecen deflexiones externas y por ende afecta en la durabilidad del hormigón reciclado (Xiao et al., 2013).

Autores como Domingo et al., (2009); Gómez, (2002); Hansen & Boegh, (1985); Poon et al., (2002), establecen un diagrama en el que representan la relación entre el porcentaje de sustitución de agregado reciclado y la contracción por secado que experimenta el hormigón reciclado (**ver Figura 4**)

Figura 4 Reducción de la contracción por secado del hormigón de acuerdo con el porcentaje de reemplazo del agregado natural por agregado reciclado



Fuente: Xiao et al., (2013)

Por otra parte, Domingo-Cabo et al., (2009), Hansen & Boegh, (1985), concluyen que el hormigón sintetizado a partir de materiales reciclados presentaba un porcentaje de contracción por secado con un valor equivalente entre el 40% y 60%, en comparación al hormigón convencional; en esto coincide Gómez, (2002), quien afirma que esta condición se ve afectada mayormente por la absorción que presentan los agregados reciclados, razón por el cual, al incrementar el porcentaje de remplazo de agregado reciclado, influye directamente en el incremento de la contracción. No obstante, Sagoe et al., (2001), concluyen que esta condición se estabiliza en lapso de 91 días, reflejando así un incremento en la contracción de un 25% respecto al hormigón convencional. Por lo consiguiente Xiao et al., (2013), menciona que la contracción por secado se incrementa rápidamente dentro de los primeros 56 días y posteriormente este avanza lentamente durante en el tiempo restante. Razón por el cual Limbachiya et al., 2012; Xiao et al., 2013) determinaron que el incremento de la contracción por secado puede obedecer al incremento de la relación a/c.

De acuerdo con lo expuesto en los parámetros que define la durabilidad de este tipo de hormigones, se tiene que los aspectos a considerar en el diseño de la mezcla es el porcentaje de participación del agregado reciclado el mismo que no debe superar el 30% del agregado reciclado, así como también se debe considerar la relación a/c esto debido a que mientras mayor sea este valor el hormigón presentará inconvenientes que comprometerán su desempeño tanto a largo como a corto plazo; no obstante dichos parámetros se puede contrarrestar con la inclusión de cenizas volantes en la mezcla como material que mejora las propiedades del hormigón debido a sus propiedades puzolánicas; razón por la cual los investigadores plantean que al adicionar el 10% de cenizas volantes respecto a la cantidad del cemento de la mezcla las condiciones de durabilidad mejoran considerablemente (Limbachiya et al., 2012; Xiao et al., 2013).

4.4. Ventajas y desventajas que genera el uso de hormigones reciclados en la construcción

La industria de la construcción es una de las mayores industrias que generan un gran volumen de desperdicios que son producto de las actividades constructivas; en este sentido, con el objeto del reaprovechamiento de este tipo de desperdicios, se ha incursionado en investigaciones que hacen posible su uso en la elaboración de hormigones. El hecho de la reutilización de residuos generados tanto por la industria de la construcción como por otras industrias, en los procesos constructivos supone una gran ventaja frente al impacto ambiental que este tipo de residuos representa al estar dispuestos en el medio sin tratamiento alguno. En este sentido se tiene que el material compuesto más utilizado dentro de la industria debido a que ofrece características de resistencia y durabilidad lo que hace que este tipo de material sea estable para la construcción de obras civiles.

Si bien es cierto que el mayor número de investigaciones que se ha realizado centran sus esfuerzos en la búsqueda de formas para la reutilización de los residuos de construcción y demolición (RCD) no se ha dejado de lado la incorporación de otros tipos de residuos que previo análisis hace posible su uso en la elaboración de hormigones; los mismos que han presentado muy buenos resultados en la parte experimental logrando inclusive mejorar sus propiedades.

Conforme a esto, la **Tabla 4** recoge las principales ventajas y desventajas que sugieren el uso de agregados reciclados de diferentes fuentes.

Tabla 4 *Ventajas y desventajas del uso de materiales reciclados en la elaboración de hormigones*

Tipo de agregado	Ventajas	Desventajas
RCD	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El reaprovechamiento de los desperdicios de las actividades propias de la construcción supone un ahorro energético y la reducción de costos en la producción del hormigón. ▪ La utilización de agregados producto de la trituración de hormigones en un porcentaje de participación de hasta 50% permite alcanzar comportamientos similares a los expuestos por hormigones convencionales. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La inclusión de grandes cantidades de agregado reduce el comportamiento mecánico del hormigón. ▪ Los agregados reciclados presentan variaciones en cuanto a su comportamiento lo que hace que su uso sea limitado. ▪ La utilización de agregados reciclados que presentan mortero adherido hace que merme el comportamiento mecánico del hormigón. ▪ El hormigón presenta, una mayor absorción y menor densidad con respecto al hormigón convencional. ▪ La sustitución de la fracción fina en grandes proporciones hace que el hormigón experimente bajas en la cuantía de la resistencia a esfuerzos externos.
Plásticos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El costo de producción de este hormigón ecológico resulta ser menor que el de un hormigón convencional, debido a la reducción del uso de materiales pétreos ▪ Mejora las propiedades de adherencia por anclaje, debido a la geometría y textura que presenta el PET triturado; es así como induce mayor fuerza de fricción ya que tiene mayor área de contacto que el agregado fino. ▪ Presentan buena resistencia frente a la abrasión puesto a que su estructura está compuesta por moléculas de cloro que constituyen una fracción de los polímeros de PVC, mismo que no permiten que ardan fácilmente. ▪ Al utilizarlo en forma de fibras en remplazo del agregado fino, reduce la contracción del hormigón en un 50% 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Si los materiales complementarios no son de calidad al incorporarlo en la mezcla, no logra adquirir la resistencia proyectada. ▪ La mala granulometría de este tipo de material puede ocasionar que queden espacios entre las demás partículas, dando paso al aumento de cantidad de aire dentro de la mezcla y por ende disminuye la capacidad de resistencia. ▪ El plástico tipo PET tiene mayor porcentaje de absorción que los agregados convencionales, lo que implicaría mayor consumo de agua y por ende mayor pérdida de resistencia.

Tipo de agregado	Ventajas	Desventajas
Vidrio	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Al poseer propiedades de impermeabilidad, facilita la trabajabilidad durante el proceso de elaboración de hormigón, reduciendo de tal forma el consumo de agua ▪ El vidrio en estado molido mejora las propiedades del cemento, puesto a que reacciona de forma positiva al entrar en contacto con los hidratos de cemento ralentizando el proceso de absorción de agua, permitiendo obtener un hormigón más fuerte y durable. ▪ Al incorporar vidrio en forma de fibra, permite mejorar la ductilidad del hormigón, evitando así la falla frágil, puesto a que a que la fibra de vidrio en cierta manera sella las fisuras que se forman en el hormigón ya que genera un enlace entre los agregados gruesos; disminuyendo así el diámetro de las fisuras y por ende mejorando de tal forma la resistencia a la corrosión. ▪ Refleja mayor resistencia mecánica, puesto a que es capaz de soportar grandes sollicitaciones, así como también presenta un buen control de retracción del hormigón. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El uso de este marial como componente sustituyente de la mezcla disminuye levemente la resistencia a compresión, puesto a que este material al ser impermeable origina una acción tardía de adherencia entre todos sus componentes. ▪ Mientras mayor es el porcentaje de sustitución, mayor es su reducción de resistencia ▪ El vidrio templado en el hormigón genera fallas por adherencia, debido a que este es un material que no posee rugosidad en su superficie, imposibilitando una correcta unión con sus demás componentes; además presenta una mala distribución granulométrica.
Cauchos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La incorporación de caucho en la mezcla ayuda a aligerar el peso del hormigón, lo que conlleva que a gran escala a reducirá el peso de la super estructura y por ende se redujera el cortante basal. ▪ Al presentar gran capacidad para soportar deformaciones, el caucho permite que el hormigón posea gran capacidad de absorber energía plástica, mejorando de tal forma su comportamiento mecánico. ▪ Al implementar al caucho en forma de fibra en la producción del hormigón, esta mejora las propiedades a flexión, evitando así que se presente una falla frágil en 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Si se utiliza en grandes cantidades, el hormigón presenta fisuras, debido a que este tipo de material reciclado no presenta buenas propiedades de adherencia, haciendo que la matriz del hormigón no sea del todo una masa compacta, razón por la cual diferentes investigadores recomiendan su uso en pequeñas cantidades ▪ Presenta mayor absorción y porosidad, los cuales son factores determinantes para la durabilidad del hormigón ▪ Previo al uso de este material en la elaboración del hormigón debe ser expuesto a un tratamiento, ya que, al

<p>los elementos estructurales.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Al remplazar las fibras de neumático reciclado en sustitución del agregado grueso ayuda a controlar el agrietamiento en un 20%. ▪ El uso de fibrillas de neumático permite incrementar las propiedades de adherencia, así como también mejorar las propiedades de ductilidad del hormigón, puesto a que facilita la deformación del hormigón 	<p>ser un material hidrófobo, disminuye la capacidad de unión con los demás componentes constituyentes del hormigón.</p>
---	--

4.5. Avances alcanzados con la utilización de hormigones elaborados a partir de agregados reciclados en Ecuador

La utilización de materiales reciclados para la síntesis de nuevos hormigones en el Ecuador han permitido analizar las propiedades del hormigón a corto plazo enfocándose principalmente en su comportamiento mecánico, es así que autores como Aigaje & Yucta, (2018); Avila & Paca, (2018); Bolaños, (2015); Campaña, (2017); Contreras, (2012); Moncayo, (2020); Ronquillo & Verdugo, (2019); Vásquez, (2019) plantean que al utilizar agregado reciclado procedente de la actividad propia de la construcción en un porcentaje no superior al 50% de sustitución de la fracción gruesa se obtiene hormigones con resistencias similares a los hormigones convencionales; dicha sustitución también resulta beneficioso en cuanto al comportamiento a flexión, esto debido a que se han analizado vigas, mismas que fueron sometidas a cargas en los tercios medios de la luz, obteniendo un comportamiento favorable, lo que hace concluir que este tipo de agregados reciclados, es el más idóneo en la elaboración de hormigones con fines estructurales. En este sentido Aigaje & Yucta, (2018) logró desarrollar un hormigón con agregados reciclados capaz de absorber hasta en un 30% la energía, retardando de esta forma la aparición de grietas en la cara inferior del espécimen; sin embargo, esta condición se incrementa hasta el doble al incorporar fibras de acero a la mezcla; del mismo modo, Avila & Paca, (2018) logró desarrollar un hormigón con agregados reciclados y fibras de acero obteniendo un hormigón capaz de soportar grandes deformaciones tanto longitudinalmente como transversalmente, esto debido a que la fibra de acero usada en este estudio crea un micro reforzamiento en la estructura del hormigón permitiendo que el hormigón se comporte de forma dúctil, además la capacidad de absorción de la energía en la tracción indirecta se incrementa 11 veces con respecto a los experimentados por un hormigón convencional también evidenció que la resistencia a la flexión mejora considerablemente debido a que el módulo de rotura se incrementa haciendo que el hormigón soporte en mayor grado los esfuerzos externos antes que este falle.

Vásquez, (2019) logró demostrar que mientras mayor sea el porcentaje de superficies lisas en el agregado reciclado, la resistencia última del hormigón se ve comprometida esto también se verificó mediante un ensayo de resistividad eléctrica demostrando de esta forma que a mayor contenido de agua menor resistencia a los esfuerzos externos.

Arias, (2017) determinó que el esfuerzo a flexión en hormigones reciclados tiende a reducirse debido al contenido de polvo de mampostería en la mezcla; sin embargo, esta condición no limita su uso en la construcción de elementos que estén sometidos a esfuerzos de flexión.

Del mismo modo la producción de hormigones ecológicos desarrollados a partir de residuos de otras industrias ha empezado a tomar gran importancia en el mundo de construcción logrando desarrollar así diferentes avances dentro de esta área de investigación, tal es el caso propuesto por Pucha & Llanga, (2010) quienes llegan a desarrollar una propuesta de vivienda popular constituida por paredes portantes de hormigón, en cuya estructura se reemplaza parcialmente la fracción fina por plástico triturado, donde obtienen como resultado luego de la modelación y análisis de datos un vivienda con buenas características mecánicas frente a eventos sísmicos; logrando desarrollar así una nueva innovación tecnológica para la elaboración de viviendas para la sociedad. Dentro de la misma área de investigación, a fin de determinar el comportamiento del hormigón a flexión, Mendieta, (2016) incursiona en la elaboración de losas unidireccionales con hormigón reciclado, en cuya mezcla sustituye la fracción fina por fibras de plástico, obteniendo como resultado que el uso de este material reciclado ayuda a disminuir la aparición de fisuras en su superficie, cuando se trabaja con porcentaje de sustitución de 0.4 % con fibras de plástico de 13 a 15 cm de largo por 2 mm de ancho; además, evaluaron la capacidad de carga que presentan las losas aplicando cargas hasta que el elemento falle, llegando a concluir que la losa elaborada con este tipo de hormigón alcanza una capacidad de carga de 366.407 kg superando la capacidad de carga de la losa con hormigón convencional en un 73.195 kg. Por consiguiente, a medida que se desarrolla este tipo de investigaciones, consecuentemente los investigadores van implementando nuevas metodologías y tecnologías a fin de evaluar y garantizar la calidad final de cada tipo de diseño de hormigón, es así que Chacón & Lema, (2012) en su estudio, someten a su diseño de hormigón agregados de plástico PET, a otro tipo de ensayos a más de los ensayos convencionales, implementando así el ensayo de velocidad sónica, descrita en la norma ASTM D2845-08, (2017), con el que determinan la facilidad con que el pulso ultrasónico longitudinal atraviesa el hormigón; acción que se vincula con la densidad que posee el hormigón y que la correlaciona directamente con la resistencia. Consecuentemente, el resultado mostrado al trabajar con hormigón PET fue favorable, puesto a que se determinó un pulso ultrasónico de 3293 m/s, el cual indica que la calidad del hormigón es aceptable.

Otra investigación acerca de la producción de hormigones ecológicos es la utilización de poliestireno, para lo cual Patiño & Villa, (2021) evaluaron el impacto ambiental que genera este tipo de hormigón, haciendo uso de una herramienta calificadora denominada LED v4, la misma que determina las emisiones de CO₂ y el consumo de energía que

producirá en la construcción de obras civiles; en este sentido, analizaron esta condición mediante un ejemplo comparativo, donde evaluaron el impacto que genera la construcción de un edificio de tres pódicos y ocho pisos usando este tipo de hormigón reciclado en comparación con el impacto que genera la construcción de un edificio de similares características con hormigón convencional; determinando así que el hormigón modificado con agregados de poliestireno reduce las emisiones de CO₂ en un 14.61%, así como también su consumo de energía disminuirá en un 15.5 %, respecto al impacto que genera el uso de un hormigón convencional.

Por otro lado, Villacrés, (2021), incursiona en la elaboración de vigas en el cual implementa el uso del plástico PET como material sustituyente del agregado grueso, mismos que son usados para determinar la influencia que genera los esfuerzos de flexión en este nuevo hormigón modificado con plástico PET; logrando así determinar que el porcentaje de sustitución óptimo oscila en un rango de 5 a 7,5%, donde el hormigón presenta características mecánicas similares al hormigón convencional.

Otro tipo de material reciclado estudiado a fin de que sea utilizado en remplazo del agregado convencional es el vidrio, por ello Peñafiel, (2016) desarrolla un estudio implementando vidrio molido en sustitución del agregado fino, en donde enuncia que el vidrio más adecuado para realizar este proceso es el vidrio de color verde, puesto a que reduce la reacción álcali sílice, mismo que resulta ser perjudicial para el hormigón ya que genera grietas superficiales. No obstante, su implementación en la mezcla del hormigón como material sustituyente, ayuda al hormigón a alcanzar una resistencia de 102.5% con un 40% de vidrio molido añadido. Del mismo modo Auquilla & Peláez, (2021) al proponer su diseño de hormigón con vidrio molido, somete a su diseño a diferentes pruebas no destructivas tales como la velocidad ultrasónica, mismo que permitió determinar la calidad del hormigón, obteniendo como resultado que este hormigón ecológico en todos sus porcentajes de sustitución, entran dentro del rango de hormigones de buena calidad. Además, con la ayuda de herramientas calificadoras tales como el Greenroads y LEED y una herramienta cuantificadora (PaLATE), se pudo establecer un caso hipotético de la aplicación de este hormigón ecológico para una infraestructura de plan vial con pavimento rígido, a fin de poder analizar el parámetro de sostenibilidad, donde se obtuvo como resultado que el uso de este hormigón es ampliamente factible en términos de sostenibilidad. Por otra parte, al analizar el impacto ambiental que conlleva la producción de este tipo de hormigón, se obtuvieron resultados favorables, puesto a que este proceso ayuda a reducir significativamente la contaminación ambiental; esto se pudo determinar con el uso de la herramienta PaLATE, donde se obtuvo como resultado que para una obra de 5000 m³ de hormigón, la emisión del CO₂ se reduce en un 0.8%, sin embargo, el consumo de energía no varía en comparación con el consumo de energía que se produce al realizar hormigones convencionales.

Por otra parte, el vidrio finamente molido al ser un material muy versátil ha sido tomado en cuenta como posible alternativa al para sustituir parcialmente al cemento, es por ello que Alvarado et al., (2019) incursiona en su estudio implementando este material, en

cual a fin de obtener mejores resultados, implementa un superplastificante reductor de agua de alto rango, con el objeto de distribuir las partículas de material cementante, logrando obtener una eficiencia máxima del cemento; consecuentemente esto permite que el hormigón no disminuya su resistencia a los 28 y 56 días.

Al incorporar caucho como material sustituyente del agregado fino, concluyen que la resistencia a compresión de estos hormigones disminuye; según Bastidas & Viñán, (2017), sostienen que esto se debe a causa de que las partículas de caucho se distribuyen en toda la mezcla durante el proceso de fraguado, formando de tal forma puntos blandos donde se originan las grietas en el hormigón. Por otra parte, fue necesario analizar las características del hormigón nuevo ante esfuerzos de flexión, debido a que el caucho es un material elastomérico, para lo cual Bastidas & Viñán, (2017) evaluaron la flexión que presenta este tipo de hormigón, logrando determinar que la distribución de esfuerzos presenta un comportamiento lineal; además determinan que la incorporación de agregados de caucho en el hormigón mejoran esta condición debido a sus características elásticas; es por ello que recomiendan el uso de este tipo de hormigón para elementos estructurales que estén expuestos ante solicitaciones a flexión. Además, el caucho al ser un material liviano reduce el peso del hormigón, factor que permitirá aliviar el peso total de la superestructura cuando se lo aplique a gran escala (Bastidas & Viñán, 2017).

Podemos incluir también el avance desarrollado por Pilamunga & Guamán, (2016) quienes proponen la sustitución de agregado fino por partículas de polímero elástico, logrando determinar durante los ensayos mecánicos que la rotura de los diferentes especímenes produce un nivel menor de ruido, puesto a que este material posee una gran capacidad de absorción de energía plástica; además, consiguieron identificar que la incorporación del polvo de neumático en el hormigón, permite mejorar su ductilidad; en otras palabras se logra conseguir que el hormigón trabaje en la zona plástica.

Por otro lado, con la inclusión de fibrilla de neumático reciclado como sustituto del agregado fino en un 4% en el hormigón, se logra mejorar considerablemente la resistencia ante esfuerzos de flexión en vigas, así también presenta mejoras en el comportamiento post agrietamiento respecto al hormigón convencional, puesto a que su inclusión evita la aparición de fallas frágiles, facilitando la deformación del hormigón antes del fallo; cabe recalcar que, en las normativas actuales, la resistencia a flexión del hormigón no es considerada como parámetro de diseño dentro del cálculo estructural, debido a que el hormigón presenta un comportamiento frágil frente a solicitaciones de este tipo; por lo que la implementación de este nuevo material permite incrementar la resistencia del hormigón frente a cargas a flexión, consiguiendo que el mismo pueda ser considerado como un parámetro de diseño (Pilamunga & Guamán, 2016).

4.6. Limitaciones actuales y retos futuros para garantizar el uso de hormigones reciclados en elementos estructurales.

Una de las principales limitantes que se encuentra en Ecuador en relación con este tipo de hormigones, es la falta de información publicada en fuentes de información diferentes a tesis, teniendo que recabar información y resultados de estudios de tesis publicadas en los repositorios de las universidades del país. Por lo que, es conveniente que los avances científicos alcanzados sean transmitidos a la comunidad científica por medio de artículos, libros o capítulos de libros; información que permitirá la creación o mejoramiento de normativas.

El hecho de incorporar materiales de reciclaje dentro de los procesos constructivos se ha convertido en un verdadero reto para la ciencia, esto debido a que se han dejado de lado ciertos aspectos que incurren en el comportamiento del hormigón, razón por la cual los investigadores plantean que se debe ahondar en las investigaciones a fin de conseguir un material viable que aporte todas las garantías para que su uso sea confiable; puesto que, no se cuenta con una normativa local que brinde directrices para el uso de este tipo de agregados en el hormigón, la misma que debe estar en función de su origen.

No existen estudios para la búsqueda de mecanismos que permitan reducir el mortero adherido de los agregados reciclado de RCD, con el objeto de mitigar el impacto que este ocasiona en el hormigón; del mismo modo, se debería investigar la reacción que presenta este tipo de hormigón ante la presencia de cloruros, sulfatos y sílice – álcali. Asimismo, la información o los estudios realizados son limitados cuando se ha determinado el módulo de elasticidad y de rotura de este tipo de hormigones; en esto coinciden Cadme, (2013), Chango & Tulcán, (2018), quienes recomiendan determinar el módulo de rotura de hormigones con resistencias a compresión de 21, 24, 28 y 36 MPa, con el objeto de tener datos estadísticos que permitan hacer un análisis para su uso en Ecuador.

Se deberían realizar estudios que determinen la composición química de este tipo de hormigones, con el objeto de conocer la interacción entre este tipo de partículas y los demás componentes de la mezcla, descartando de esta forma posibles reacciones que comprometan la resistencia final del hormigón.

En el estudio realizado por Avila & Paca, (2018), se plantea la necesidad de analizar la factibilidad de incrementar el porcentaje de sustitución del agregado reciclado de RCD en cuanto a su fracción fina, esto debido a que la literatura recomienda que la sustitución del agregado fino no debería hacerse en grandes cantidades porque este presenta un elevado grado de absorción, afectando a la trabajabilidad del hormigón; mientras que Aigaje & Yucta, (2018) proponen realizar estudios para analizar un hormigón reciclado ante esfuerzos de impacto a diferentes edades, con el objeto de analizar la variación de la capacidad de absorción de energía en función de la madurez del hormigón.

También se debería profundizar, mediante nuevas investigaciones, la correlación entre cantidad de cemento requerida en la mezcla en función del uso de los diferentes tipos

de agregados reciclados, con el objeto de lograr resistencias similares a los hormigones convencionales.

En base a las investigaciones desarrolladas acerca del uso del caucho como sustituto del agregado convencional, tanto en su fracción fina como gruesa para la síntesis de nuevos hormigones, se debería realizar estudios donde se analice la configuración geométrica de las fibrillas de neumático reciclado; en este sentido, Rodríguez & Villalba, (2016) sugieren estudiar incrementos en la relación longitud / diámetro equivalente (L/D), para buscar la mejora en la resistencia a tracción, flexión y el tiempo de agrietamiento.

Se deberían realizar estudios que permitan establecer métodos para controlar la inclusión de aire al incorporar partículas de polímeros elásticos en el hormigón, debido a que la presencia de aire en el hormigón hace que se generen cavidades vacías, ocasionando que se incremente la capacidad de absorción de agua en el hormigón y afectando a su durabilidad.

Con el objeto de mejorar la adherencia entre un polímero elástico y el cemento, Pilamunga & Guamán, (2016) recomiendan realizar estudios donde se modifique la superficie del polímero elástico, evitando de esta forma la creación de planos de falla en el hormigón.

Se deberían realizar investigaciones para determinar la interacción entre el acero de refuerzo y el hormigón cuando se reemplaza la fracción fina por polvo de neumático reciclado usado en varios porcentajes con el fin de determinar la afinidad química entre estos materiales en hormigones utilizados en la construcción de elementos estructurales, lo que concuerda con la recomendación de Checa & Quinapallo, (2020).

No existen los suficientes estudios donde se analice la tracción indirecta del hormigón elaborado con partículas de PET triturado. Además, Chacón & Lema, (2012) recomiendan realizar estudios donde se analice el comportamiento físico – mecánico de este tipo de agregados y su influencia en la resistencia de hormigones con resistencias superiores a los 24 MPa.

Continuando con la investigación de Patiño & Villa, (2021) se podrían realizar estudios donde se reemplace tanto el agregado grueso como el agregado fino por partículas de poliestireno, con lo que se lograría disminuir los costos de producción, el peso propio de la estructura y además reducir el impacto ambiental; además, se debería analizar el comportamiento acústico de este tipo de hormigones.

Conforme las investigaciones desarrolladas donde se limitan al análisis de las propiedades del hormigón a corto plazo, se deberían realizar estudios que determinen el comportamiento de este tipo de hormigones a largo plazo y mejorar su durabilidad; considerando parámetros como: corrosión, la resistencia a abrasión; carbonatación; congelamiento y deshielo, resistencia a la penetración de sulfatos y cloruros, entre otros.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En este estudio se ha realizado una revisión bibliográfica acerca de hormigones elaborados con agregados reciclados con el fin de conocer su comportamiento mecánico y su durabilidad. Para esto, se han revisado 55 artículos científicos, de los cuales, 2 artículos se refieren a estudios realizados en Ecuador y 53 artículos se refieren a estudios llevados a cabo internacionalmente; además, se han revisado 28 tesis de grado y 3 tesis de postgrado.

Se ha buscado desarrollar investigaciones que hagan posible la incorporación de materiales de desecho tanto de la propia actividad constructiva como desechos de otras industrias dentro de los procesos constructivos. Razón por la cual se han hecho esfuerzos en el desarrollo de investigaciones donde indican que una alternativa eficiente para la gestión de RCD, restos de vidrio, caucho y PET, es incorporarlos en la producción de nuevos hormigones como sustitutos de los agregados naturales, donde determinan que este tipo de hormigones experimenta un comportamiento favorable ante esfuerzos de compresión y flexión, lo que hace posible su uso para fines estructurales; siempre y cuando se controle el porcentaje de sustitución del agregado natural por el agregado reciclado y la relación a/c, a fin de obtener hormigones con un comportamiento similar a los convencionales.

La incorporación de agregados reciclados procedentes de los residuos derivados de las actividades constructivas en la producción de hormigones ha sido la que mayormente se ha estudiado llegando a determinar que es el residuo más recomendable para la elaboración de nuevos hormigones debido a que presentan características similares a las de los agregados convencionales; sin embargo, la mayor capacidad de absorción de este tipo de agregados hace que el hormigón sufra afectaciones, sobre todo, en la resistencia del hormigón; razón por la cual se debe considerar la modificación de la relación a/c para alcanzar la resistencia deseada. En este sentido, la relación a/c debe estar en un rango de 0.45 a 0.62, considerando únicamente la sustitución del agregado grueso en porcentajes que no superen el 50%. En cuanto a la sustitución del agregado fino, no es muy recomendable hacerlo en grandes proporciones debido a que afecta a la resistencia final del hormigón.

También se ha evidenciado que la incorporación de residuos procedentes de caucho, como sustituto del agregado convencional, en la elaboración de nuevos hormigones en porcentajes aproximados del 2% al 6% mejora el comportamiento a flexión debido a sus propiedades elastoméricas; sin embargo, la resistencia a la compresión no presenta cambios significativos con respecto a los hormigones convencionales.

La adición de PET en forma de fibras como reemplazo de la fracción fina en un 0.6% mejora la capacidad de carga del hormigón; así también mejora la contracción por secado evitando la aparición de fisuras superficiales; mientras que la utilización de partículas de PET como sustituto del agregado fino en un rango aproximado del 5 al 25% hace que el hormigón alcance resistencias superiores a la compresión y mejore la resistencia a flexión con respecto a los hormigones convencionales; por otro lado, la

adición de agregados de vidrio como reemplazo de la fracción fina en un rango aproximado del 10 al 40% hace que el hormigón alcance resistencias a la compresión de hasta 28 MPa.

Cabe señalar que en Ecuador las investigaciones realizadas de hormigón reciclado, únicamente se han enfocado en analizar su comportamiento a corto plazo, dejando de lado el análisis de las propiedades a largo plazo, las mismas que determinan su durabilidad.

Si bien es cierto que los avances tecnológicos en cuanto a la utilización de este tipo de hormigones han sido considerables en Ecuador, uno de los principales limitantes a los que han tenido que enfrentarse los investigadores, es la falta de normativas en Ecuador que garanticen su uso en la construcción de obras civiles, por lo que basan sus investigaciones en recomendaciones propuestas en artículos científicos y normativas extranjeras; obteniendo hormigones con un excelente desempeño mecánico.

5.2. Recomendaciones

Para poder usar los agregados reciclados en la síntesis de nuevos hormigones, estos deben ser sometidos a tratamientos previos que descarten la presencia de agentes contaminantes; debido a que podrían reaccionar de manera desfavorable al entrar en contacto con los demás componentes de la mezcla, afectando a la resistencia final del hormigón. Además, se deberían buscar alternativas para contrarrestar la elevada capacidad de absorción que presentan los agregados de RCD y caucho, esto con el objeto de no afectar la relación a/c en el hormigón; debido a que la presencia de este tipo de agregados en el hormigón hace que la demanda de agua incremente considerablemente para lograr que esta sea trabajable.

En la actualidad las investigaciones desarrolladas en el Ecuador respecto al comportamiento de este tipo de hormigones se han limitado únicamente al análisis de sus propiedades a corto plazo; por lo que, sería recomendable llevar a cabo estudios y metodologías que permitan conocer su desempeño y lograr posibles mejoras en el transcurso del tiempo.

El análisis de hormigones elaborados a partir de la sustitución de agregados naturales por agregados reciclados ha sido un tema creciente de investigación, por lo que sería recomendable hacer esfuerzos encaminados en la creación de una normativa que regule la producción de este tipo de hormigones, logrando así generar confianza en los profesionales de la construcción para que lo utilicen como un material alternativo, permitiendo de esta forma reducir costos en la producción del hormigón.

Desarrollar estudios considerando modificar la superficie del agregado reciclado, y la variación de porcentajes de sustitución del árido reciclado incrementando la cantidad de cemento en el hormigón; así también, se sugiere evaluar al hormigón reciclado ante pruebas de impacto para determinar la absorción de energía.

Realizar estudios que permitan determinar el uso de hormigones reciclados en la construcción de elementos estructurales, los mismos deberán estar sometidos a diferentes tipos de sollicitaciones, descartando cualquier tipo de reacción desfavorable que pudiera

generar la presencia de agregados reciclados en el hormigón, cuando este entre en contacto con el acero de refuerzo.

Tanto los avances tecnológicos como científicos en cuanto a la elaboración y uso del hormigón reciclado deberían ser difundidas a la comunidad científica y académica, mediante la publicación de artículos científicos, libros y capítulos de libros, con el fin de conocer el estado de arte en cuanto a esta temática de estudio.

Bibliografía

- Abril, B. E. (2016). Determinación de la resistencia a compresión de hormigón preparado con policarbonato, vidrio templado y hormigón reciclado [Bachelor's Thesis, Universidad Técnica de Ambato]. In *Universidad Técnica de Ambato*. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/23039>
- ACI 211.1. (2002). *Práctica Estándar para Seleccionar el Proporcionamiento de Concreto de Peso Normal, Pesado y Masivo* (American Concrete Intitute, Ed.; 211.1).
- Agarwal, L. K., Felix, S., & Agarwal, S. (2019). Strength and Behavior of Concrete Contains Waste Plastic (High Density PVC) Aggregates As Partial Replacement of Coarse Aggregates. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 8(6). <https://doi.org/10.17577/IJERTV8IS060631>
- Aigaje, Y. M., & Yucta, H. J. (2018). Uso de agregados reciclados y fibra de acero para la elaboración de un concreto satisfactorio al impacto de losas [Bachelor's Thesis, Universidad Nacional de Chimborazo]. In *Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/5128>
- Ajdkiewicz, A., & Kliszczewicz, A. (2002). Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC. *Cement and Concrete Composites*, 24(2), 269–279. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(01\)00012-9](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(01)00012-9)
- Alaejos, P. (2008). *Tipos y Propiedades de Áridos Reciclados*. Catálogo de Residuos utilizables en construcción. <https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Thomas-7/project/Construccion-sostenible-Curso-de-Verano-de-la-Universidad-de-Cantabria/attachment/577f5a3c08ae1a9db8a25835/AS:381482670542848@1467963964704/download/PA2.pdf?context=ProjectUpdatesLog>
- Alberti, M. G., Picazo, Á., Gálvez, J. C., & Enfedaque, A. (2020). New Methodological Approach towards a Complete Characterization of Structural Fiber Reinforced Concrete by Means of Mechanical Testing Procedures. *Applied Sciences 2020, Vol. 10, Page 4811, 10(14)*, 4811. <https://doi.org/10.3390/APP10144811>
- Alejandrino, C., Mercante, I., Ojeda, J., & Chini, J. (2017). Revisión bibliográfica: Hormigón con agregados de plástico reciclados. *Simposio Iberoamericano En Ingeniería de Residuos: Hacia Una Economía Circular*. <https://www.researchgate.net/publication/326426428>
- Alvarado, S. M., Vélez, A. G., Ruiz, W. E., Ortiz, E. H., & Jarre, C. M. (2019). Estudio de la resistencia a compresión del hormigón utilizando el vidrio finamente molido en reemplazo parcial del cemento. *Revista de Investigaciones En Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721*, 4(2), 1–7. <https://doi.org/10.33936/RIEMAT.V4I2.2187>
- Anco, G., & Sarmiento, O. (2021). *Influencia del vidrio molido como agregado fino para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto* [Bacherol's Thesis, Universidad Ricardo Palma]. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/4719>

- Arias, R. A. (2017). Propiedades físico – mecánicas del hormigón elaborado con áridos reciclados [Bachelor's Thesis, Universidad Central del Ecuador]. In *Quito: UCE*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/13131>
- ASTM C29/C29M-07. (2007). *Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate*. www.astm.org,
- ASTM C39/C39M-18. (2018). *Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de muestras de concreto cilíndrico* (American Society for Testing and Materials, Ed.).
- ASTM C78. (1978). *Método de prueba estándar para la resistencia a la flexión del hormigón (Utilizando una viga simple con carga en el tercer punto)* (American Society for Testing and Materials, Ed.).
- ASTM C78/C78M-02. (2002). *Método de Ensayo Estándar para la Determinación de la Resistencia a la Flexión del Concreto (Usando Viga Simple con Carga a los Tercios del Claro)*.
- ASTM C131-01. (2001). *Método de Ensayo Normalizado para la resistencia a la degradación de los áridos gruesos de tamaño pequeño por el método de abrasión e impacto en la Máquina Los Angeles*.
- ASTM C143/C143M-15. (2015). *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*.
- ASTM C157/C157M-08. (2008). *Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete*. www.astm.org,
- ASTM C191-08. (2008). *Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle of Testing Materials*. <https://doi.org/10.1520/C0191-08>
- ASTM C231-08. (2008). *Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method*. www.astm.org,
- ASTM C469/C469M-02. (2002). *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*. www.astm.org,
- ASTM C496/C496M -04. (2004). *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. www.astm.org,
- ASTM C1064/C1064M-08. (2008). *Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete*. www.astm.org
- ASTM C1231/C1231M-15. (2015). *Standard Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Cylindrical Concrete Specimens*.
- ASTM C1437-07. (2007). *Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar*. www.astm.org
- ASTM D2845-08. (2017). *Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock*. <https://doi.org/10.1520/D2845-08>
- Auquilla, C. F., & Peláez, D. E. (2021). Diseños alternativos sostenibles para el hormigón hidráulico con la utilización de vidrio molido como parte de agregado fino [Bachelor's Thesis, Universidad de Cuenca]. In *Universidad Cuenca*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/35991>

- Avila, V. A., & Paca, E. G. (2018). Uso de agregados reciclados y fibra de acero para elaborar un concreto satisfactorio a flexión en vigas [Bachelor's Thesis, Universidad Nacional de Chimborazo]. In *Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/5081>
- Awoyera, P. O., Olalusi, O. B., & Iweriebo, N. (2021). Physical, strength, and microscale properties of plastic fiber-reinforced concrete containing fine ceramics particles. *Materialia*, *15*, 100970. <https://doi.org/10.1016/J.MTLA.2020.100970>
- Bae, J.-M., & Kim, Y.-S. (2010). A Study on the Chloride Diffusivity of Recycled Aggregate Concrete. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, *10*(1), 147–153. <https://doi.org/10.5345/JKIC.2010.10.1.147>
- Bahoria, B., Parbat, D., & Naganai, P. (2013). Replacement of natural sand in concrete by waste products: a state of art. *J. Environ. Res. Develop. Journal of Environmental Research And Development*, *7*(4). https://www.researchgate.net/publication/272023365_REPLACEMENT_OF_NATURAL_SAND_IN_CONCRETE_BY_WASTE_PRODUCTS_A_STATE_OF_ART
- Bastidas, P. G., & Viñán, M. P. (2017). Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del hormigón elaborado con partículas de caucho de neumáticos reciclados [Bachelor's Thesis, Universidad Politécnica Salesiana]. In *Universidad Politécnica del Ecuador*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14667>
- Berndt, M. L. (2009). Properties of sustainable concrete containing fly ash, slag and recycled concrete aggregate. *Construction and Building Materials*, *23*(7), 2606–2613. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2009.02.011>
- Bolaños, J. S. (2015). Estudio del uso de materiales reciclados como hormigones, cerámicas y otros productos de derrocamiento o desperdicio de obra como agregados para un hormigón [Bachelor's Thesis, Universidad Internacional del Ecuador]. In *Universidad Internacional del Ecuador*. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2197>
- Burner, F. (2011, February 4). *La Trabajabilidad o Docilidad del Hormigón*. Apuntes Ingeniería Civil. <https://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2011/02/la-trabajabilidad-o-docilidad-del.html>
- Cachim, P. B. (2009). Mechanical properties of brick aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, *23*(3), 1292–1297. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2008.07.023>
- Cadme, B. G. (2013). Hormigón con agregados reciclados de demolición de estructuras de hormigón [Bachelor's Thesis, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. In *Universidad Católica de Guayaquil*. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/1308>
- Campaña, D. S. (2017). Elaboración de concreto utilizando agregado grueso reciclado de los elementos estructurales de las edificaciones colapsadas por el terremoto en Pedernales [Master's Thesis, Universidad Internacional SEK]. In *Universidad Internacional SEK*. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2185>

- Cando, L. F. (2016). Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del hormigón elaborado con fibras de acero reciclado. [Bachelor's Thesis, Universidad Central del Ecuador]. In *Universidad Central del Ecuador*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/8007>
- Carrión, S. M., & Guambaña, R. S. (2018). Diseño y elaboración de mezclas de hormigón con materiales reciclados [Bachelor's Thesis, Universidad de Cuenca]. In *Universidad de Cuenca*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31517>
- Castaño, J. O. (2011). *FLUENCIA Y RETRACCIÓN DE HORMIGÓN DE ÁRIDOS RECICLADOS - Influencia del Contenido de Áridos Reciclados en las Deformaciones Diferidas del Hormigón estructural* [Master's Thesis, Universidad Politécnica de València]. <http://hdl.handle.net/10251/12902>
- Chacón, E. J., & Lema, G. A. (2012). Estudio comparativo de elementos fabricados de hormigón con material reciclado PET (Polietileno Tereftalato) y de hormigón convencional [Bachelor's Thesis, Escuela Politécnica Nacional]. In *Escuela Politécnica Nacional*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4837>
- Chango, T. M., & Tulcán, A. G. (2018). Correlación del Módulo de Rotura del hormigón simple en vigas elaboradas con agregados pétreos naturales y agregados reciclados [Bachelor's Thesis, Universidad Central del Ecuador]. In *Quito: UCE*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/17109>
- Checa, M. I., & Quinapallo, L. A. (2020). Análisis de las características físico-mecánicas del hormigón con la adición de polvo de neumático reciclado con cemento Holcim y Mina de Pifo [Bachelor's Thesis, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. In *Pontificia Universidad Católica del Ecuador*. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/18054>
- Conocc, J. C. (2019). *Vialidad del uso de agregado reciclado para la elaboración de concreto f'c 210 kg/cm2 proveniente de la trituración de probetas del laboratorio de ensayos de materiales de una obra en Distrito de la Molina* [Bachelor's Thesis, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/21266>
- Contreras, C. E. (2012). Concreto con áridos reciclados: adaptación de esta tecnología, alcanzando por lo menos 210kg/cm2 de resistencia a la compresión [Master's Thesis, Universidad de Cuenca]. In *Universidad de Cuenca*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/535>
- Debieb, F., & Kenai, S. (2008). The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete. *Construction and Building Materials*, 22(5), 886–893. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2006.12.013>
- Domingo, A., Lázaro, C., López, F., Serrano, M. A., Serna, P., & Castaño, J. O. (2009). Creep and shrinkage of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 23(7), 2545–2553. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2009.02.018>
- Domínguez, M. C. (2015, June). La contaminación ambiental, un tema con compromiso social. *Producción + Limpia*, 10(1), 9–21.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552015000100001

- Etxeberria, M., Marí, A. R., & Vázquez, E. (2007). Recycled aggregate concrete as structural material. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 40(5), 529–541. <https://doi.org/10.1617/S11527-006-9161-5>
- Evangelista, L., & Brito, J. (2010). Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 32(1), 9–14. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2009.09.005>
- Farfán, M., & Leonardo, E. (2018). Caucho reciclado en la resistencia a la compresión y flexión de concreto modificado con aditivo plastificante. *Revista Ingeniería de Construcción*, 33(3), 241–250. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732018000300241>
- García, Á., Francisco, M., Cabré, M., Carlos, J., & Portero, A. (2009). *Hormigón armado: Basada en la EHE-2008 Ajustada al Código Modelo y al eurocódigo EC-2* (15th ed.). Gustavo Gili.
- Gomes, M., & De Brito, J. (2009). Structural concrete with incorporation of coarse recycled concrete and ceramic aggregates: Durability performance. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 42(5), 663–675. <https://doi.org/10.1617/S11527-008-9411-9/METRICS>
- Gómez, J. M. V. (2002). Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate: An experimental study. *Cement and Concrete Research*, 32(8), 1301–1311. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00795-0](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00795-0)
- González, B., & Martínez, F. (2005). Recycled aggregates concrete: aggregate and mix properties. *Materiales de Construcción*, 55(279), 53–66. <https://doi.org/10.3989/MC.2005.V55.I279.198>
- Guevara, L., & Águila, I. (2018). Estudio de la resistencia a la compresión de morteros a base de cemento, puzolana, y superplastificante para su aplicación en concreto de alta resistencia. *Revista de La Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 33(3–4), 7–14. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_fiucv/article/view/22155
- Hansen, T. C., & Boegh, E. (1985). Elasticity and Drying Shrinkage Concrete of Recycled-Aggregate. *Journal Proceedings*, 82(5), 648–652. <https://doi.org/10.14359/10374>
- Herrera, J. A., & Vilema, B. M. (2019). *Análisis del flujo metabólico de los materiales de construcción en la Ciudad de Riobamba* [Bachelor's Thesis, Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/5900>
- Huaquisto, S., & Quispe, G. (2018). Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(2), 225–234. <https://doi.org/10.18271/RIA.2018.366>
- Ihobe, S. P. de G. A. (2011). *Usos de áridos reciclados mixtos procedentes de residuos de construcción y demolición*. CEDEX, centro de estudios y experimentación de obras públicas. https://www.euskadi.eus/contenidos/libro/aridos/es_doc/adjuntos/aridos.pdf
- Jain, J., Olek, J., Whiting, N., & Pin, K. (2011). Chloride ion Penetration Resistance of Concretes Containing Recycled Concrete Aggregate (RCA). *SIMPOSIO DE*

INGENIERÍA ESTRUCTURAL Y MATERIALES DE INDONESIA, 1.
<https://www.researchgate.net/publication/236008565>

- Jibrael, M. A., & Peter, F. (2016). Strength and Behavior of Concrete Contains Waste Plastic. *Journal of Ecosystem & Ecography* 2016 6:2, 6(2), 1–4.
<https://doi.org/10.4172/2157-7625.1000186>
- Junak, J., & Sicakova, A. (2017). Effect of Surface Modifications of Recycled Concrete Aggregate on Concrete Properties. *Buildings* 2018, Vol. 8, Page 2, 8(1), 2.
<https://doi.org/10.3390/BUILDINGS8010002>
- Kanta, S., & Bera, D. K. (2016). Fundamental properties of self-compacting concrete utilizing waste rubber tires-a review. *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2321–7308. <http://www.ijret.org>
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., & Panarese, W. C. (2002). *Design and Control of Concrete Mixtures* (14th ed.). Portland Cement Association .
- Levy, S. M., & Helene, P. (2004). Durability of recycled aggregates concrete: a safe way to sustainable development. *Cement and Concrete Research*, 34(11), 1975–1980.
<https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2004.02.009>
- Lima, J. M., Costa, H. N. da, Cândido, L. F., & Correio, A. E. B. C. (2019). Análise das propriedades físicas e mecânicas de blocos de concreto prensados sem função estrutural com incorporação de PET reciclado. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 24(2).
<https://doi.org/10.1590/s1517-707620190002.0672>
- Limbachiya, M. C., Leelawat, T., & Dhir, R. K. (2000). Use of recycled concrete aggregate in high-strength concrete. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 33(9), 574–580. <https://doi.org/10.1007/BF02480538/METRICS>
- Limbachiya, M., Meddah, M. S., & Ouchagour, Y. (2012). Use of recycled concrete aggregate in fly-ash concrete. *Construction and Building Materials*, 27(1), 439–449.
<https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2011.07.023>
- López, F. (2008). Influencia de la variación de los parámetros de dosificación y fabricación de hormigón reciclado estructural sobre sus propiedades físicas y mecánicas [Doctoral's Thesis, Universidad de Oviedo]. In *Tesis Doctorals en Xarxa, Universidad De Oviedo*. <http://www.tesisenred.net/TDR-1126109-132850>
- Lovato, P. S., Possan, E., Molin, D. C. C. D., Masuero, Â. B., & Ribeiro, J. L. D. (2012). Modeling of mechanical properties and durability of recycled aggregate concretes. *Construction and Building Materials*, 26(1), 437–447.
<https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2011.06.043>
- Ma, Z., Tang, Q., Yang, D., & Ba, G. (2019). Durability Studies on the Recycled Aggregate Concrete in China over the Past Decade: A Review. *Advances in Civil Engineering*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/4073130>
- Mas, B., Cladera, A., Olmo, T. del, & Pitarch, F. (2012). Influence of the amount of mixed recycled aggregates on the properties of concrete for non-structural use. *Construction and Building Materials*, 27(1), 612–622.
<https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2011.06.073>

- Maury, A. (2010). Construcción y medio ambiente. *MÓDULO ARQUITECTURA CUC*, 1(9).
https://revistascientificas.cuc.edu.co/moduloarquitecturacuc/article/view/119/pdf_50
- Mendieta, E. R. (2016). Diseño de mezcla para hormigón simple de 240 kg/cm² utilizando fibras de materiales reciclados [Bachelor's Thesis, Universidad Católica de Cuenca]. In *Universidad Católica de Cuenca. Carrera de Ingeniería Civil*.
<https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/1830>
- Molina, J. D. (2019). Análisis de las propiedades mecánicas de especímenes de hormigón fabricados con partículas de reciclados en sustitución a porcentajes de agregados [Bachelor's Thesis, Universidad Técnica Particular de Loja]. In *RIUTPL*.
<https://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/24166>
- Moncayo, J. D. (2020). *Reciclaje de escombros de hormigón producto de desechos de laboratorio y construcciones, para la fabricación de hormigón estructural de 21MPa* [Bachelor's Thesis, Universidad Técnica Particular de Loja].
<https://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/26777>
- Mora, D. B. (2014). Hormigones con agregados cerámicos: caracterización del hormigón resultante de utilizar el desecho de la industria cerámica de la ciudad de Cuenca como agregado grueso [Master's Thesis, Universidad de Cuenca]. In *UCUENCA*.
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/21011>
- Moreno, L., Ospina, M., & Rodriguez, K. (2019). Propiedades mecánicas del concreto fabricado con agregados reciclados extraídos de escombros de mampuestos de arcilla cocida. *Revista Espacios*.
https://www.researchgate.net/publication/331791097_Propiedades_mecanicas_del_concreto_fabricado_con_agregados_reciclados_extraidos_de_escombros_de_mampuestos_de_arcilla_cocida
- Nassar, R., & Soroushian, P. (2015). Use of milled waste glass in recycled aggregate concrete. *Https://Doi.Org/10.1680/Coma.11.00059*, 166(5), 304–315.
<https://doi.org/10.1680/COMA.11.00059>
- Nassar, R.-U.-D. (2010). *Synergistic use of milled waste glass and recycled aggregate towards a sustainable concrete-based infrastructure* [Doctoral's Thesis, Michigan State University]. <https://doi.org/https://doi.org/doi:10.25335/M5GQ6R89Z>
- NEC-SE-HM. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción: Estructuras de hormigón armado*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-HM-Hormig%C3%B3n-Armado.pdf>
- NTE INEN 872. (2011). *Áridos para hormigón. Requisitos* (I. Instituto Ecuatoriano de Normalización, Ed.; Primera Edición).
- NTE INEN 2649. (2012). *Hormigón de cemento hidráulico. Refrentado de especímenes cilíndricos para la determinación de la resistencia a la compresión*. Norma Técnica Ecuatoriana.
- NTE INEN 3124. (2017). *Hormigón. Elaboración y Curado de Especímenes de Ensayos en el Laboratorio* (Norma Técnica Ecuatoriana, Ed.).

- Ojeda, J. P., & Mercante, I. T. (2021). Recycling plastic waste to produce lightweight aggregates. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 37, 489–499. <https://doi.org/10.20937/RICA.54081>
- Olivares, M., Laffarga, J., Galán, C., & Nadal, P. (2004). Evaluación de la resistencia mecánica de un hormigón según su porosidad. *Materiales de Construcción*, 54(273), 21–33. <https://hdl.handle.net/11441/78477>
- Olorunsogo, F. T., & Padayachee, N. (2002). Performance of recycled aggregate concrete monitored by durability indexes. *Cement and Concrete Research*, 32(2), 179–185. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00653-6](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00653-6)
- Osorio, J. (2018, June 28). *Resistencia Mecánica del Concreto y resistencia a la compresión*. ARGOS 360. <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/calidad-y-aspectos-tecnicos/resistencia-mecanica-del-concreto-y-compresion>
- Patiño, J. samanta, & Villa, D. M. (2021). Influencia del poliestireno reciclado en las características físico-mecánicas y sostenibilidad de un hormigón estructural [Bachelor's Thesis, Universidad de Cuenca]. In *Universidad de Cuenca*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/35906>
- Pavón, E., Etxeberria, M., & Martínez, I. (2011). Propiedades del hormigón de árido reciclado fabricado con adiciones, activa e inerte. *Revista de La Construcción*, 10(3), 4–15. <https://doi.org/10.4067/S0718-915X2011000300002>
- Peñañiel, D. A. (2016). Análisis de la resistencia a la compresión del hormigón al emplear vidrio reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino [Bachelor's Thesis, Universidad Técnica de Ambato]. In *Universidad Técnica de Ambato. Facultad Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Civil*. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/23038>
- Peyvandi, A., Soroushian, P., & Nassar, R.-U.-D. (2013). Recycled Glass Concrete: Milled waste glass used in mixtures for flatwork construction on the campus of Michigan State university. *Concrete International*. https://www.researchgate.net/publication/257938067_Recycled_Glass_Concrete
- Pilamunga, L. O., & Guamán, R. (2016). Determinación de la cantidad óptima de Polímero Elástico para un Hormigón Modificado de 28 MPa y su influencia en algunas de sus propiedades. [Bachelor's Thesis, Universidad Nacional de Chimborazo]. In *Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo, 2016*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/1639>
- Poon, C. S., Kou, S. C., & Lam, L. (2002). Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks. *Construction and Building Materials*, 16(5), 281–289. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(02\)00019-3](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(02)00019-3)
- Poveda, R. A., Granja, M. V., Hidalgo, D., & Ávila, C. (2015). Análisis de la influencia del vidrio molido sobre la resistencia al desgaste en adoquines de hormigón tipo A. *Revista Politécnica*, 35(3), 61–61. https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/4

- Pucha, F. R., & Llanga, X. V. (2010). Propuesta de vivienda popular conformada por paredes portantes de concreto elaborado con material reciclado [Bachelor's Thesis, Universidad Nacional de Chimborazo]. In *Universidad Nacional de Chimborazo*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/473>
- Remache, A. (2021). *Diseño de un hormigón bio-compuesto de baja densidad utilizando papel bond reciclado* [Bachelor's Thesis, Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/22522>
- Richardson, A., Coventry, K., & Bacon, J. (2011). Freeze/thaw durability of concrete with recycled demolition aggregate compared to virgin aggregate concrete. *Journal of Cleaner Production*, 19(2–3), 272–277. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2010.09.014>
- Robayo, R. A., Matthey, P. E., Silva, Y. F., & Arjona, S. D. (2014). Comportamiento en estados fresco y endurecido de un concreto autocompactante, adicionado con escoria de carbón, y elaborado con agregado grueso de concreto reciclado. *Informador Técnico*, 78(2), 128–139. <https://doi.org/10.23850/22565035.96>
- Rodríguez, A. E., & Villalba, J. B. (2016). *Análisis a flexión en vigas de concreto armado, compuestas de hormigón modificado con fibrillas recicladas de neumático, y su influencia en la cuatía de acero en un hormigón estructural de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$* . [Bachelor's Thesis, Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/1792>
- Ronquillo, G., & Verdugo, M. (2019). Uso de hormigones reciclados de residuos de construcción y demolición como agregados para hormigón [Bachelor's Thesis, Universidad Laica Vicente Rocafuerte]. In *Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil*. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/2721>
- Rotondaro, F. (2016). *Tecnología del Hormigón*. <https://web1.icpa.org.ar/wp-content/uploads/2019/04/Compactacion-del-hormigon-jul2016.pdf>
- Sagoe, K. (2002). Development Of Guide Specifications For Recycled Aggregates In Concrete Construction. In *CSIRO Building Construction and Engineering Victoria Australia*. Durabilidad de materiales y componentes de construcción 9 : 9ª Conferencia Internacional Durabilidad de Materiales y Componentes de Construcción: 9dbmc. <http://hdl.handle.net/102.100.100/197754?index=1>
- Sagoe, K., Brown, T., & Taylor, A. (2001). Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate. *Cement and Concrete Research*, 31(5), 707–712. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00476-2](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00476-2)
- Salem, R. M., & Burdette, E. G. (1998). Role of Chemical and Mineral Admixtures on the Physical Properties and Frost-Resistance of Recycled Aggregate Concrete. *Materials Journal*, 95(5), 558–563. <https://doi.org/10.14359/398>
- Saltos, A., Garcés, J., Ordoñez, L., Suarez, M., & Guerrero, H. (2017). Utilización de neumáticos usados como agregado en el hormigón: caso provincia de Santa Elena, Ecuador. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 4(1), 16–27. <https://doi.org/10.26423/RCTU.V4I1.235>

- Santos, E. de los. (2018, January 28). *¿Qué son los problemas ambientales? - Parques Alegres I.A.P.* <https://parquesalegres.org/biblioteca/blog/los-problemas-ambientales/>
- Serrano, M. F., & Pérez, D. D. (2011). Concreto preparado con residuos industriales: resultado de alianza empresa universidad. *Revista Educación En Ingeniería*, 6(11), 1–11. <https://doi.org/10.26507/REI.V6N11.116>
- Shahjalal, M., Islam, K., Rahman, J., Ahmed, K. S., Karim, M. R., & Billah, A. M. (2021). Flexural response of fiber reinforced concrete beams with waste tires rubber and recycled aggregate. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123842. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.123842>
- Shang, H. S., Song, Y. P., & Qin, L. K. (2008). Experimental study on strength and deformation of plain concrete under triaxial compression after freeze-thaw cycles. *Building and Environment*, 43(7), 1197–1204. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2006.08.027>
- Suárez, S. S. (2016). Propuesta metodológica para evaluar el comportamiento ambiental y económico de los residuos de construcción y demolición (RCD) en la producción de materiales pétreos [Doctoral's Thesis, Universidad Politécnica de Catalunya]. In *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. <http://hdl.handle.net/10803/376709>
- Tapia, C. F. (2018). Hormigones alternativos de alto desempeño con el uso de desechos de porcelana como agregado grueso [Bachelor's thesis, Universidad de Cuenca]. In *Universidad de Cuenca*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31362>
- Thomas, J., Thaickavil, N. N., & Wilson, P. M. (2018). Strength and durability of concrete containing recycled concrete aggregates. *Journal of Building Engineering*, 19, 349–365. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2018.05.007>
- Torres, A. E. (2020). Hormigón reciclado reemplazando el árido grueso natural del área minera “Pirincay”, por ladrillo triturado [Bachelor's Thesis, Universidad del Azuay]. In *Universidad del Azuay*. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10409>
- Valdés, G., Reyes, Ó., & Gonzáles, G. (2011). Aplicación de los residuos de hormigón en materiales de construcción. *Ingeniería y Desarrollo*. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612011000100003&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Valencia, W., Angulo, D., & Mejia, R. (2018). Resistencia química de concretos de activación alcalina ceniza volante/ escoria: Sulfatos y ácidos. *Informador Técnico*, 82(1), 67–77. <https://doi.org/10.23850/22565035.1351>
- Vallejo, G. (2021). Durabilidad y propiedades mecánicas del hormigón sintetizado con desechos cerámicos como material cementoso suplementario [Bachelor's Thesis, Universidad Nacional de Chimborazo]. In *Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/7754>
- Vásquez, P. A. (2019). Desempeño, factibilidad y sostenibilidad de hormigones hidráulicos estándares con el uso de agregados reciclados [Bachelor's Thesis, Universidad de Cuenca]. In *Universidad de Cuenca*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/33503>

- Villacrés, J. A. (2021). Comportamiento a flexión del hormigón tradicional frente a un hormigón en base a PET reciclado y fibras de bagazo de caña de azúcar [Bachelor's Thesis, Universidad Técnica de Ambato]. In *Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil*. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/33540>
- Vivar, J. L. (2021). Hormigón con áridos reciclables procedentes de residuos de construcción [Bachelor's Thesis, Universidad Católica de Cuenca]. In *Universidad Católica de Cuenca*. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/11896>
- Xiao, J., Lu, D., Ying, J., Ajdukiewicz, A. B., Kliszczewicz, A. T., Tsujino, M., Noguchi, T., Masaki, T., Kanematsu, M., Dosho, Y., Ogawa, H., & Nawa, T. (2013). Durability of Recycled Aggregate Concrete: An Overview. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 11(12), 347–359. <https://doi.org/10.3151/JACT.11.347>
- Yang, J., Du, Q., & Bao, Y. (2011). Concrete with recycled concrete aggregate and crushed clay bricks. *Construction and Building Materials*, 25(4), 1935–1945. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2010.11.063>
- Yoshiharu, H. (2003). *Properties of Concrete Product Using Recycled Coarse Aggregate from Waste Flumes*. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsidre1965/2003/227/2003_227_609/_pdf
- Zega, C. (2008). *Hormigones reciclados: Caracterización de los agregados gruesos reciclados* [Master's Thesis, Universidad Nacional del centro de la Provincia de Buenos Aires]. <https://digital.cic.gba.gob.ar/items/085a2676-9e9c-46d0-beb2-e467ddc0a2fa>
- Zega, C. J., & Di Maio, A. A. (2007). Efecto del agregado grueso reciclado sobre las propiedades del hormigón. *Boletín Técnico*, 45(2), 1–11. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0376-723X2007000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Zega, C., Sosa, M., & Di Maio, Á. (2018). *Hormigones con Agregados Reciclados* (Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica, Ed.; 1ra edición). Publicaciones Científicas y Tecnológicas (PCT09). https://www.researchgate.net/publication/341408740_Hormigones_con_Agregados_Reciclados