



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Tipos de Aditivos para Mejorar las Propiedades Mecánicas y de
Durabilidad del Concreto Elaborado con Agregado Reciclado:
Revisión Sistemática**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental**

AUTORES:

Espinoza Zevallos, Liz Veronica (orcid.org/0000-0002-9878-3212)

Rojas Garriazo, Kevin Alen (orcid.org/0000-0002-4564-8498)

ASESOR:

Dr. Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio (orcid.org/0000-0003-1485-5854)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y gestión de los residuos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2022

Dedicatoria

Este trabajo de investigación lo dedicamos a Dios Elohim, fuente de sabiduría, fortaleza, amor e inspiración. Además no habríamos logrado emprender este viaje sin la ayuda de nuestra familia, quienes con su apoyo, ánimo y palabras de aliento nos motivaron a seguir adelante y dar lo mejor de nosotros para la culminación de nuestro trabajo, por ello dedicamos nuestra tesis también a nuestra amada familia.

Agradecimiento

Expresamos nuestro profundo agradecimiento a nuestro asesor, Dr. Fernando Antonio Sernaque Auccahuasi, por guiarnos mediante sus enseñanzas, reflexiones y recomendaciones a lo largo de nuestro desarrollo de tesis. Nuestro agradecimiento especial también a la Universidad César Vallejo por brindarnos la oportunidad y herramientas para la culminación de nuestra carrera profesional. Finalmente, a nuestra familia por su apoyo incondicional acompañándonos en todo este largo proceso.

Índice de contenido

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenido	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras.....	v
Resumen.....	vi
Abstract.....	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA.....	11
3.1 Tipo y diseño de investigación	11
3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización.....	12
3.3 Escenario de estudio.....	13
3.4 Participantes	13
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	13
3.6 Procedimiento	14
3.7 Rigor científico	15
3.8 Método de análisis de datos	17
3.9 Aspectos éticos	18
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
V. CONCLUSIONES	40
VI. RECOMENDACIONES.....	41
REFERENCIAS.....	42
ANEXOS	53

Índice de tablas

Tabla 1. Matriz de categorización	12
Tabla 2. Tipos de aditivos utilizados para la mejora de las propiedades del concreto con agregados reciclados.....	20
Tabla 3. Metodologías y materiales utilizados en la elaboración del concreto con aditivos y agregados reciclados	27
Tabla 4. Eficiencia de los aditivos en las propiedades del concreto elaborado con agregados reciclados	32
Tabla 5. Aditivos sostenibles más utilizados	38

Índice de figuras

Figura 1. Proceso de elaboración del concreto para análisis de resistencia.....	5
Figura 2. Diagrama de flujo del procedimiento desarrollado	14
Figura 3. Principales aditivos utilizados en la elaboración de concreto con agregado reciclado.....	19
Figura 4. Resistencia a la compresión de mezclas con diferentes tipos de aditivos y tiempo de curado.....	37

RESUMEN

Con el aumento masivo de los residuos de construcción se desarrollan métodos para su aprovechamiento entre ellos el uso de los agregados reciclados (AR); sin embargo, su uso influye negativamente en las propiedades del concreto. Por ello, el objetivo principal de esta revisión es presentar estudios sobre el uso de aditivos en la mejora del concreto con AR. Se ha recopilado información siguiendo técnicas y criterios para investigaciones de enfoque cualitativo y como fuente de datos se tuvo artículos de revistas indexadas como Scopus, ScienceDirect, Proquest y Ebsco de las cuales se obtuvieron 33 artículos mediante criterios de inclusión y exclusión establecidos. Se revisó el uso de aditivos y métodos utilizados para la mejora de propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto. Los resultados señalan una mejora significativa en las propiedades del concreto; determinada por el tipo de aditivo, el porcentaje de reemplazo, métodos utilizados en el tratamiento de los AR y el tiempo de curado. Entre los principales aditivos se tiene el humo de sílice, cenizas de cáscara de arroz y escoria de alto horno granulada. Se puede desarrollar así materiales sostenibles a partir de desechos industriales y municipales contribuyendo al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible.

Palabras clave:

Residuos de construcción, adición de aditivos, concreto sostenible, desempeño del concreto.

ABSTRACT

With the massive increase in construction waste, methods are being developed for its use, including the use of recycled aggregates (RA); however, its use negatively influences the properties of concrete. Therefore, the main objective of this review is to present studies on the use of admixtures in the improvement of concrete with AR. Information has been compiled following techniques and criteria for research with a qualitative approach and as a data source there were articles from indexed journals such as Scopus, ScienceDirect, Proquest and Ebsco, from which 33 articles were obtained through established inclusion and exclusion criteria. The use of additives and methods used to improve the mechanical properties and durability of concrete were reviewed. The results indicate a significant improvement in the properties of the concrete; determined by the type of additive, the percentage of replacement, the methods used in the treatment of AR and the curing time. Among the main additives are silica fume, rice husk ash and granulated blast furnace slag. In this way, sustainable materials can be developed from industrial and municipal waste, contributing to the fulfillment of the objectives of sustainable development.

Keywords: Construction waste, addition of additives, sustainable concrete, concrete performance.

I. INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción asume un papel fundamental en la economía mundial, pues interviene en el desarrollo y crecimiento de un país (CCL, 2021). Hasta en países más desarrollados el nivel de vida disminuiría sin inversiones frecuentes en construcción; debido a que este sector brinda oportunidades de trabajo, contribuciones económicas y es el motor para otros negocios (Taffese et al., 2022, p. 1). Según un estudio realizado por la multinacional Marsh la industria de la construcción impulsará el crecimiento económico post pandemia siendo el motor a nivel mundial con proyección de un crecimiento del producto bruto interno a nivel mundial (PIB) de 6.6% (Oxford Economics, 2021). El sector de la construcción se ha acrecentado gracias a la dinámica de la economía; esto debido a la rápida urbanización y la necesidad de espacios para vivir y trabajar como viviendas, edificios, carreteras y calles (Oluleye, 2022, p. 1). En el Perú, solo hasta marzo del 2021, el PBI de la construcción aumentó en más de 133%, siendo este sector el de mejor rendimiento en el primer trimestre del año (Gestión, 2021). Según estadísticas del Ministerio de Vivienda la escasez habitacional está sobre los 1.1 millones de viviendas, esto conduciría a un mayor crecimiento del sector (El Peruano, 2021).

Si bien la industria de la construcción es trascendente por su contribución a la economía; el desarrollo presente y futuro de esta, supondría un gran impacto y riesgo para el medio ambiente (Tafesse et al., 2022, p.1). Esto debido al gran consumo de los recursos naturales y la emisión de gases de efecto invernadero que exige este sector (Carevic et al., 2019, p. 194). Además, los grandes volúmenes de desechos generados en esta actividad no son tratados con responsabilidad, siendo algunos de sus componentes incluso peligrosos (Carbajal, 2018, p. 1). La producción de concreto genera una gran cantidad de desechos en todas sus etapas desde la extracción, ejecución, hasta el final del proyecto (Ogunmakinde, 2022, p. 1). Según la Agencia de Protección Ambiental se estimó que en el 2018 se generaron 600 millones de toneladas de residuos de construcción en Estados Unidos, superior al doble de los desechos sólidos municipales. (EPA, 2020). Los residuos de construcción en el Perú se generan mediante actividades formales e

informales, ya que la mayoría de las viviendas son hechas sin respetar las normas, en gran medida influenciado por el crecimiento demográfico y estilo de vida de los ciudadanos. Debido a la falta de control de los residuos generados en la construcción, estos son depositados en terrenos abandonados, ríos, playas y calles; lo cual no solo altera el paisaje, sino también produce contaminación por el contenido que presenta (Carbajal, 2018, p. 1).

Debido a que los residuos de construcción en la actualidad son un problema de reto ambiental, debemos buscar una solución, siendo el reciclaje lo más factible. El reciclaje de los escombros de construcción sería de ayuda al ambiente, porque de esta manera disminuiría la explotación de los recursos naturales (Al Ajmani et al., 2019, p.1) y con ello las emisiones de CO₂ (Tosic et al., 2018, p. 344) además de una adecuada disposición final de los residuos (Saloni et al., 2021). Se estaría obteniendo así beneficios económicos y bienestar para el ser humano (Al Ajmani et al., 2019, p. 1). Ante la necesidad urgente de una apropiada gestión de los desechos de construcción se vienen desarrollando diversos mecanismos para su aprovechamiento. Entre los tratamientos, se sugiere la utilización de los agregados reciclados (AR) para reemplazar a los materiales naturales en la preparación del concreto (Tosic et al., 2018, p. 344), ya que es el principal componente del hormigón con un aproximado de 75% del volumen total (Al Ajmani et al., 2019, p. 1); sin embargo, investigaciones muestran que el uso de compuestos reciclados en la preparación del hormigón provoca la degradación de las propiedades mecánicas, debido a las propiedades debilitadas de los agregados por el mortero adherido de la anterior mezcla (Yu et al., 2020, p. 2).

Se han desarrollado investigaciones para mejorar el rendimiento de los agregados reciclados de construcción (Zheng et al., 2021, p. 6368); entre ellos se están estudiando varios subproductos industriales que pueden emplearse como materiales cementosos suplementarios; entre ellas el uso de cenizas volantes, escoria, humo de sílice, metakaolin, cenizas de cáscara de arroz, entre otros (Thomas et al., 2021, p. 2), estas tienen propiedades puzolánicas y se producen en grandes cantidades a nivel mundial (Tosic et al., 2018, p. 345). Se tiene también el uso de nanomateriales como nanotubos de carbono, grafeno y óxido de grafeno (Devi et al., 2020, 2).

A partir de la problemática descrita se plantea como problema general: ¿Cuáles son los aditivos utilizados para la mejora de las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto elaborado con agregados reciclados?, también se plantearon como problemas específicos: ¿Cuáles son los tipos de aditivos más utilizados para mejorar las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto elaborado con agregados reciclados?, ¿cuáles son las metodologías utilizadas en la adición de aditivos para la mejora de las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto elaborado con agregado reciclado?, ¿cuál es la eficiencia de los aditivos en las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto elaborado con agregados reciclados? y ¿cuáles son los aditivos sostenibles más utilizados para mejorar las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto con agregados reciclados?.

La presente investigación se justifica teóricamente ya que proporcionará conocimientos para futuras investigaciones sobre el uso de aditivos en la mejora del concreto fabricado con agregados reciclados; siendo que es necesario determinar un método eficaz que mejore la calidad del concreto elaborado con AR. Además de determinar sus propiedades, porque nos indica su comportamiento estructural bajo diversas condiciones de carga y desempeño durante su vida útil.

En base a ello la presente investigación plantea como objetivo general: identificar los aditivos utilizados para la mejora de las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto elaborado con agregados reciclados; y se plantea como objetivos específicos: identificar los tipos de aditivos más utilizados para mejorar las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto elaborado con agregado reciclado, describir las metodologías utilizadas en la adición de aditivos para la mejora de las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto elaborado con agregado reciclado, identificar la eficiencia de los aditivos en las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto elaborado con agregados reciclados, identificar los aditivos sostenibles más utilizados para mejorar las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto con agregados reciclados.

II. MARCO TEÓRICO

El concreto es un componente en la construcción, se encuentra formado principalmente por agregados gruesos, agregados finos, aglomerantes que generalmente es el cemento, más agua y aditivos específicos, estos sufren procesos de fraguado y endurecimiento que lo convierten en un material con características pétreas (Curbelo, 2015, p. 19). Esto luego de un tiempo de curado, la cual se produce mediante la reacción del concreto que se endurece con hidratación constante en el tiempo, así el aporte de humedad es necesario para un correcto curado del concreto y alcanzar de forma su potencial resistente. (ACI 308R, 2016, p.1)

El concreto presenta propiedades que son sus características básicas y estas pueden ser en estado fresco y endurecido, siendo las más importantes en la mezcla fresca, la trabajabilidad y cohesividad; y en la mezcla endurecida la resistencia y durabilidad (IMCYC, 2004). La resistencia en estado endurecido se mide generalmente por la resistencia a la compresión, la cual se obtiene por medio de ensayos cilíndricos de 150*300 mm o 100*200 mm en la cual se aplica una carga y se mide entre los valores de la carga de ruptura y la sección que resiste la carga, los cilindros se elaboran y someten a pruebas de calidad siguiendo procedimientos estándar según la norma internacional ASTM C31 y ASTM C39 (IMCYC, 2006) y a nivel nacional NTP 339.033 (NTP 339.033, 2009) y NTP 339.034 (NTP 039.034, 2008). Se tiene también la resistencia a la tensión, esta indica la capacidad de disminuir las grietas que se puedan producir por variaciones volumétricas u otros fenómenos, se puede medir según norma ASTM C496 (Gómez, 2000, p. 111). La resistencia a la flexión se evalúa a través de ensayo de vigas, en esta prueba se somete a fuerza de compresión y tensión y se representa por el módulo de rotura, se evalúa por la norma ASTM C78 (Gómez, 2000, p. 112) El módulo de elasticidad indica la capacidad del concreto de deformarse elásticamente, se representa como la pendiente de la curva tensión-deformación en la zona de deformación elástica, se mide de acuerdo con norma ASTM C469 (Gómez, 2000, p. 121). Las propiedades de durabilidad indican la capacidad del concreto de soportar en el tiempo acciones de meteorización, corrosión química o alguna otra acción de deterioro (ACI 201.2R, 2000, p. 1).

Con el fin de lograr una construcción sostenible se viene aprovechando los agregados reciclados de construcción, ya que es el mayor componente del concreto, representando un 75% del volumen total. (Al Ajmani et al., 2019, p. 1). Los residuos de construcción y demolición son generados en los procesos de construcción, demolición, ampliación, remodelación, acondicionamiento, entre otros; los cuales incluyen los residuos reciclables, entre ellos están residuos de acabados de interiores y de estructura (Decreto Supremo N° 019-2016-VIVIENDA). El agregado reciclado puede proceder de la trituración del hormigón y de residuos cerámicos o mixtos cuya composición es heterogénea debido a las distintas características de los materiales procedentes, resultando una mezcla de árido grueso o grava (>4 mm) y árido fino o arena (<4 mm); por la presencia del mortero adherido, presentan una textura rugosa y porosa (CEDEX, 2014).



Figura 1. Proceso de elaboración del concreto para análisis de resistencia

Fuente: Elaboración propia

El rendimiento del concreto, obtenido a partir de los agregados de construcción reciclado, son inferiores al hormigón normal; esto debido a la presencia de alto contenido de sulfato, cloruro, impurezas (Kou et al., 2011, p. 788), y mortero adherido residual en su composición, presentando una menor densidad, mayor porosidad y mayor absorción de agua en comparación con los agregados naturales, lo cual provoca una débil unión entre las matrices del hormigón nuevo y reciclado, influyendo en sus propiedades con una menor calidad para uso en un nuevo concreto, especialmente estructural (Tosic et al., 2018, p. 345). Diversas investigaciones evidencian que el módulo de elasticidad decrece en relación con la tasa de sustitución del agregado (Laserna, 2015, p. 25). La humectación en mezclas con agregado reciclado es necesaria para prevenir, ya que el hormigón reciclado es más poroso que el convencional, es más importante aún el proceso de curado (Laserna, 2015, p. 26).

Por ello, diversas investigaciones han planteado el uso de aditivos para el mejoramiento de las propiedades del hormigón con agregados reciclados (Devi et al., 2020, p. 2). Los aditivos se utilizan en la mezcla en ocasiones para modificar alguna propiedad del cemento sea estado fresco y/o endurecido, los cuales pueden ser pulverizados, en suspensión o disueltos en agua. Generalmente se clasifican en reductores de agua, superplastificantes, aceleradores de fraguado, retardadores de fraguado, aceleradores de endurecimiento, hidrófugos entre otros; las cuales principalmente se basan en mejorar la trabajabilidad (Curbelo, 2015, p. 20).

Sin embargo, también se están desarrollando aditivos para mejorar las propiedades del concreto endurecido, entre los cuales están los nanomateriales a base de carbono como son los nanotubos de carbono, nano fibras de carbono, derivados del grafeno y óxido de grafeno (Devi et al., 2020, p. 2); y aditivos minerales como cenizas volantes, metakaolin, escoria granulada molida, humo de sílice (Thomas et al., 2021, p. 2). El óxido de grafeno es un material tentador debido a su rentabilidad en comparación a otros materiales basados en carbono que resultan más costosos (Devi et al., 2020, p. 2). Entre los materiales cementicios suplementarios se tienen las cenizas volantes, metakaolin, cenizas de cáscaras de arroz, humo de sílice, entre otros, que funcionan como material puzolánico, los cuales se han estudiado como material suplementario o complementario del cemento (Carevic et al., 2019,

p. 195); las características de las cenizas volantes influyen en la resistencia y durabilidad del concreto, entre las más importantes son el tamaño de partículas y la composición química (Tosic et al., 2018, p. 345); por lo general están compuestos en mayor proporción por Sílice (SiO_2), alúmina (Al_2O_3), Cal (CaO), óxidos de hierro (Fe_2O_3), carbón sin quemar y en menor proporción otros componentes (CEDEX, 2011); estas propiedades pueden variar de acuerdo al tipo de material que lo originó y al proceso tecnológico que se usó en la generación térmica (Tosic et al., 2018, p. 345).

Son diversas las investigaciones en las que se evalúa la resistencia de probetas elaboradas con agregados reciclados y aditivos, entre ellas se tienen investigaciones como siguen a continuación.

Feng et al. (2022) tuvieron como objetivo determinar la cantidad óptima de materiales cementicios suplementarios y evaluar la factibilidad en el uso de AR para la elaboración de concreto. Los materiales cementicios suplementarios fueron el nanosílice (0, 1, 2 y 3%) y las cenizas volantes (0,15 y 20%); agregados reciclados (0, 50 y 100%). El nanosílice reduce el asentamiento, pero las cenizas volantes lo mejoran. Las cenizas volantes como nanosílice muestran efectos puzolánicos apropiados, pudiendo desarrollar una reacción de hidratación secundaria con CH del mortero para aumentar la formación de C-S-H gelificada en la edad de curado temprano como tardía. Se recomienda un 10% de cenizas volantes y un 2 o 3% de nanosílice como materiales cementicios suplementarios para el concreto con agregados reciclados.

Katar et al. (2021) establecieron como objetivo desarrollar mezcla de hormigón autocompactante fresco utilizando agregados reciclados para producir hormigón de alta resistencia. Se usó agregados reciclados en proporciones de 0, 25, 50 y 75%, con adición de cenizas volantes tipo C, se utilizó superplastificante para propiedades de fluidez adecuadas. Se realizaron análisis de flujo de asentamiento, resistencia a la compresión, absorción del agua y tracción dividida. Se verificó que el flujo de asentamiento estuvo en el rango de 660 a 780 mm, en el rango aceptable. Los resultados muestran que con niveles de reemplazo de hasta 75% de agregado reciclado a 28 días se obtiene un valor de 41.8 MPa como resistencia a la compresión, lo cual podría ser usado para hormigón estructural. Se encontró que

la resistencia a la tracción dividida disminuyó para 25% AR a 1.9 MPa; sin embargo, para 50% AR se obtuvo una resistencia de 3.3 MPa.

Nawaz et al. (2020) Evalúan el impacto del reemplazo de AGN por AGR y el del cemento por cenizas volantes de clase F en diferentes proporciones. El nivel de reemplazo de los agregados reciclados fue de 50 y 100% y el de cenizas volantes de 0, 10, 20 y 30%. Se utilizó plastificante para una mejor trabajabilidad, relación agua/aglomerante 0.5. Los resultados muestran que los agregados reciclados reducen el asentamiento, sin embargo, la trabajabilidad mejora con la adición de cenizas volantes. Las mezclas que contienen 50% de agregados reciclados con 20 y 30% de cenizas volantes superan la resistencia del concreto convencional a la edad de curado de 90 días. Las cenizas volantes reducen la porosidad. El coeficiente de migración de cloruro en el concreto se reduce con el uso de las cenizas volantes debido a la mayor formación de gel CSH a la edad de 90 días.

Al Ajmani et al. (2019) evaluaron la posibilidad de utilizar AR y materiales de reemplazo del cemento como microsílíce y cenizas volantes para producir hormigón de alto desempeño. Se estudió diferentes porcentajes de agregado reciclado de 20, 50 y 80%, se utilizó materiales cementosos como microsílíce en un 10% del total de aglutinantes el cual se mantuvo constante y cenizas volantes en un 10%, 25% y 40%. Se obtuvo como resultado un aumento en el contenido de aire y la densidad en las mezclas con concreto reciclado excepto en el que contenía mayor porcentaje de cenizas volantes y mayor cantidad de agregados, para la resistencia a la compresión se obtuvo a los 28 días para 20% RA, 50% RA y 80% RA fue 71%, 76% y 73% respectivamente del concreto convencional y a los 56 días fue de 74, 84 y 85%. La resistencia a la tracción y módulo de elasticidad para 20% RA, 50% RA, 80% RA fue 74, 90, 73%, y 69, 50 y 56% respectivamente del concreto convencional. Con 80% AR se obtuvo una alta resistencia a la compresión del concreto de 60 MPa a los 28 días y 77 MPa a los 56 días.

Wydra (2018) establece como objetivo el estudio de la resistencia a las heladas de concreto con agregados reciclados y aditivos como microsílíce, metakaolin, cenizas volantes fluidizadas. Para ello se realizaron pruebas de sorción, capacidad de absorción y parámetros de vacío de aire. Se usó cemento IIIA, cenizas volantes de clase F que cumple con requisitos PN-EN 450-1:2012, arena natural de río de 0-2

mm y 2-4 mm, agregado reciclado de 4-8 mm y 8-16 mm, el agregado reciclado se saturó en agua, se usó un reductor de agua de alto rango, se prepararon 4 mezclas con ceniza volante y a 3 se le adicionaron diferentes aditivos, las probetas se curaron a 28 y 90 días según norma en PN-EN 12390-3:2011, las probetas se sometieron a congelamiento y descongelamiento cíclico durante 4 horas, después del último ciclo de congelación se somete las probetas a pruebas de resistencia a la compresión. Se observa que hubo un aumento en la resistencia después de 90 días llegando a un valor de hasta 61.43 MPa.

Saloni et al. (2021) tuvieron como objetivo estudiar las propiedades mecánicas de hormigón geopolímero elaborado a partir de agregados reciclados, ligantes y escoria ultrafina (EUF). Se trabajó con 24 muestras en dos series en la que se reemplazó agregados naturales por agregados reciclados hasta en 0, 25, 50 y 100% se adicionó escoria ultrafina (EUF) la cual varió en 0, 15 y 30%. En la serie I se usó la escoria ultrafina como reemplazo de cenizas volante y en la serie II como una adición. Se obtuvo como resultado que la trabajabilidad disminuye con mayor porcentaje de RCD, pero mejoró cuando se incorporó EUS con un rango de revenimiento de 70-165 mm, hubo una mayor absorción del agua para serie I con 100% de agregados reciclados, para la mezcla con 100% agregado reciclado y 30% de adición de escoria ultrafina se mostró una fuerza compresiva de 46.24 MPa superior a las demás mezclas.

Zhu et al. (2022) exploraron los efectos de la mezcla con humo de sílice en el rendimiento del concreto con agregados gruesos reciclados. Los agregados reciclados se utilizaron en un porcentaje de reemplazo de 100% y fueron tratados mediante fortalecimiento químico, el cual se basa en remojar, lavar y secar con una pasta formada por cemento, agua y humo de sílice (HSC), siendo el humo de sílice un 10% del cemento. Se dio como resultado que con el tratamiento de los agregados con pasta SFC mejoró el asentamiento significativamente y el comportamiento mecánico del concreto con agregado grueso reciclado tratado también mejoró con la incorporación de humo de sílice, llegando a resistencias de hasta 35 MPa.

Yu et al. (2020) establecieron como objetivo utilizar agregado reciclado fino para producir hormigón de ultra alto rendimiento y adicionar óxido de grafeno para

mejorar sus propiedades. Para ello se diseñó una mezcla inicial de hormigón con agregado fino reciclado mediante el método modificado de empaquetamiento de partículas Andreasen & Andersen. En ello se adicionan cuatro contenidos diferentes de óxido de grafeno para mejorar la mezcla inicial. Se obtuvo que a partir de la adición de óxido de grafeno con una cantidad óptima de 0.06% las propiedades mecánicas, estabilidad de volumen y durabilidad fueron incluso mejores que la mezcla con arena de río natural. Debido al uso OG, la resistencia a la compresión, la tracción, flexión y el módulo elástico de la mezcla aumentaron en un 2.04%–16.04%, 7.36%–30.50%, 5.83%–23.40% y 3.62%–12.95% respectivamente.

Kumar et al. (2021) manifestaron como objetivo evaluar las propiedades mecánicas del concreto. Para ello se estudió las propiedades de resistencia del óxido de grafeno en diferentes porcentajes de 0%, 0.05%, 0.1%, 0.15% y 0.2% del cemento, sustituyendo parcialmente agregados naturales por reciclados en 0%, 10%, 20% y 30%. Mostrando como resultado que con 0.05% de óxido de grafeno a la mezcla, mejora las propiedades mecánicas del hormigón como son resistencia a la compresión, flexión y a la tracción dividida en un 72.10%, 79.97% y 70.15% respectivamente.

Kurda et al. (2018) investigaron el desempeño mecánico y económico del concreto de alta y baja resistencia fabricados con alto volumen de cenizas volantes y agregado reciclado. Utilizaron cenizas volantes de tipo F, agregado naturales finos (0/4 mm) y grueso (4/20 mm), agregados reciclados finos (ARF) y gruesos (ARG). El porcentaje de reemplazo de cenizas volantes fue de 0, 30 y 60%, ARF fue 0, 50 y 100%, ARG fue 0 y 100%. Las propiedades del concreto disminuyeron con mayor reemplazo de cenizas volantes y agregados reciclados, pero las diferencias disminuyeron con el tiempo, lo que se atribuiría a la reacción puzolánica entre SiO_2 (óxido de silicio) de la ceniza volante y el hidróxido de calcio Ca(OH)_2 del RCD que acelera la tasa de resistencia del hormigón con el tiempo a diferencia del concreto convencional y aumenta aún más con el uso de superplastificante.

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

La investigación aplicada, es un tipo de investigación que aprovecha los conocimientos obtenidos por la investigación básica o pura para lograr la solución a problemas inmediatos generalmente aplicado en medicina o ingenierías (Arias, 2020, p. 43) se tiene también como tipo de investigación, el enfoque cualitativo, que se basa en comprender los fenómenos o hechos desde la posición de los participantes en su contexto desarrollado. (Hernández et. al., 2014, p. 358)

La siguiente investigación es de tipo aplicada debido a que busca evaluar la eficiencia de los aditivos en el rendimiento físico-mecánico del concreto elaborado con áridos reciclados a través de una revisión exhaustiva de artículos científicos de investigación experimental. Con enfoque cualitativo ya que busca comprender los fenómenos en la investigación desde la perspectiva de los artículos revisados (participantes).

Diseño de investigación

En la investigación cualitativa el diseño indica a cómo se desarrollará el proceso de investigación, denominado también estrategia de indagación, siendo una de sus tipologías los diseños narrativos que buscan comprender una sucesión de eventos en uno o más individuos (Hernández et. al., 2014, p. 470), entre sus tipos se tiene al narrativo de tópico basado en el estudio de una temática o fenómeno (Salgado, 2007, p. 73)

De esta manera la presente investigación es diseño narrativo de tópico, debido a que busca comprender los efectos del uso de los aditivos en el concreto elaborado con agregados reciclados, recopilando y analizando información de los diferentes artículos estudiados.

3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización

Tabla 1. Matriz de categorización

Problemas	Objetivos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2
¿Cuáles son los tipos de aditivos más utilizados para mejorar las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto elaborado con agregados reciclados?	Identificar los tipos de aditivos más utilizados para mejorar las propiedades del concreto elaborado con agregado reciclado	Aditivos más utilizados (Thomas et al., 2021, p. 1)	Humo de sílice (Zhu et al., 2022, p. 2) Cenizas volantes (Kurda et al., 2018, p. 2) Metakaolin (Bui et al., 2019, p. 404) Escoria de alto horno granulada (Majhi et al., 2020, p. 2) Ceniza de cáscara de arroz (Alnahhal et al., 2017, p. 2) Ceniza de fondo de carbón (Singh et al., 2019, p. 241) Óxido de grafeno (Yu y Wu., 2020, p. 2)	Por su aporte que ofrecen (Zheng et al., 2021, p. 6368)	Los de mayor uso (Carevic et al., 2019, p.195)
¿Cuáles son las metodologías utilizadas en la adición de aditivos para la mejora de las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto elaborado con agregado reciclado?	Describir las metodologías utilizadas en la adición de aditivos para la mejora de las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto elaborado con agregados reciclados	Metodologías utilizadas (Faysal et al., 2020, p. 1587)	Combinación de aditivos (Dimitriou et al., 2018, p. 229) Tratamiento de agregados reciclados (Faysal et al., 2020, 1587) Métodos de reemplazo Método de adición (Bui et al., 2019)	Por las características del aditivo (Alnahhal et al., 2017, p. 2)	Por características de los agregados (Sasanipour et al., 2019, p. 2)
¿Cuál es la eficiencia de los aditivos en las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto elaborado con agregados reciclados?	Identificar la eficiencia de los aditivos en las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto elaborados con agregados reciclados.	Eficiencia de aditivos (Mardani et al., 2019, p.296)	Propiedades mecánicas (Shaikh, 2017, p. 537) Propiedades de durabilidad (Arora et al., 2019, p.2)	Por el aditivo utilizado (Ju et al., 2020, p. 2)	Por la metodología utilizada (Faysal et al., 2020, p. 1588)
¿Cuál es el aditivo sostenible más utilizado para mejorar las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto con agregados reciclados?	Identificar el tipo de aditivo sostenible más utilizado para mejorar las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto con agregados reciclados	Aditivos sostenibles (Kalinowska et al., 2022, p. 2)	Cenizas volantes (Guo et al., 2019, p. 2) Humo de sílice (Sasanipour et al., 2019, p. 2) Escoria de alto horno (Huang et al., 2021, p. 89) Ceniza cáscara de arroz (Nuaklong et al., 2020, p. 2) Ceniza de hoja de palma (Amin et al., 2021, p.2) Cenizas de fondo de carbón (Singh et al., 2019, p. 241)	Por su origen (Alnahhal et al., 2017, p.2)	Por su eficiencia (Majhi et al., 2018, p. 418)

3.3 Escenario de estudio

Es el medio en el cual se desarrolla la investigación, indica el lugar, tiempo, acceso, eventos en la cual se recolectarán los datos, deben ser descritas de forma completa y situar al lector en el escenario de desarrollo (Hernández et. al., 2014, p. 367) se busca identificar claramente las situaciones en las que interactúan o se desarrollan los participantes (Sandoval, 2002, p. 119). La presente revisión sistemática toma en cuenta como escenario de estudio el contexto en el cual se desarrollan las investigaciones revisadas; como son los materiales, el ambiente y el tiempo en el que se aplicó los diferentes tipos de aditivos para la mejora del concreto elaborado con agregados reciclados.

3.4 Participantes

Los participantes son aquellos que intervienen como elementos de muestra, la cual es parte de un conjunto de elementos que comparten determinadas características y criterios de interés para ser estudiados y que es la fuente de datos para la investigación (Sánchez, 2018, p.101). La fuente de datos para la revisión sistemática fueron los artículos obtenidos de revistas indexadas a bases de datos como ScienceDirect, Scopus, ProQuest y Ebsco.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Entre las técnicas de recolección de datos se tiene la técnica documental en la que se seleccionan fuentes de información en base al problema planteado, al objeto de estudio y a las características de la investigación; estableciendo criterios para abordar el análisis documental, capturar, resumir y registrar la información mediante técnicas de registro (Niño, 2011, p. 93) para la recolección de datos es importante indicar que instrumento se va a utilizar, los cuales sirven de apoyo para lograr el objetivo de la investigación, estos se aplican a la población o muestra de estudio entre estas se tienen análisis de documento mediante ficha de contenido (Arias, 2020, p. 54). En el desarrollo de esta investigación se utilizó como técnica de recolección de datos el análisis documental, ya que se seleccionaron artículos de revistas

de alto impacto, como fuentes de información. Para el análisis documental se registra la información de los artículos revisados mediante instrumentos de recolección como son fichas de contenido. (Ver anexo 1)

3.6 Procedimiento

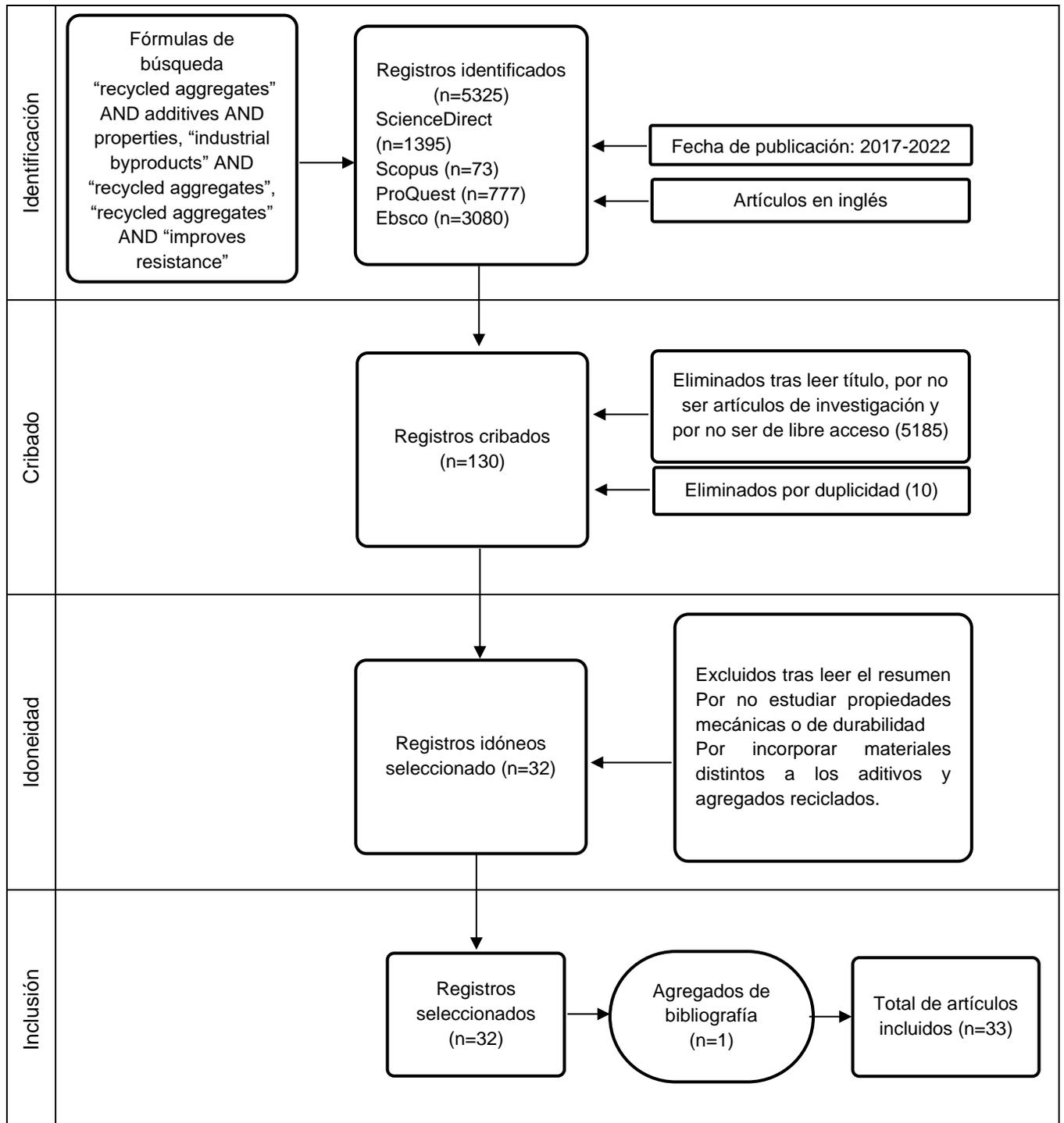


Figura 2. Diagrama de flujo del procedimiento desarrollado

Se ha desarrollado una revisión sistemática de literatura científica publicada en revistas indexadas a base de datos de alto impacto como ScienceDirect, ProQuest, Scopus y Ebsco. Se buscó publicaciones con respecto al tipo de aditivos utilizados para la mejora del concreto elaborado con agregados reciclados. Para su desarrollo se tomó como guía las directrices del diagrama de flujo PRISMA en sus cuatro niveles que son: identificación, cribado, idoneidad e inclusión. A fin de una correcta selección de artículos en cada uno de los niveles se definen los criterios de inclusión y exclusión. Como criterios de inclusión se tienen los siguientes: que se hayan publicado entre el 2017 y el 2022, que se trate de artículos de investigación y no de revisión o libros, que sean de libre acceso, que utilicen aditivos minerales o nanomateriales para la mejora del concreto fabricado con agregados reciclados, que se estudien las propiedades mecánicas y de durabilidad; como criterios de exclusión se tienen que estudien los aditivos en agregados naturales, que estudien otro tipo de adiciones como fibras, que estudien otro tipo de propiedades. Se formuló una combinación de términos con el operador booleano “AND” la cual fue: “recycled aggregates” AND additives AND properties, “industrial byproducts” AND “recycled aggregates” y “recycled aggregates” AND “improves resistance”. En el primer nivel se identificaron en total de las cuatro bases de datos utilizadas, 5325 artículos de investigación en el periodo de tiempo del 2017 a 2022. Para el segundo nivel se seleccionaron los artículos, de acuerdo a los criterios establecidos, se consideraron apropiados únicamente con la lectura de títulos 140 artículos, siendo eliminados 5185 y por duplicado 10, quedando 130; luego se procedió con la revisión en el siguiente nivel con la lectura del resumen y a partir de ello se descartaron 98 artículos por no cumplir con los criterios establecidos, resultando idóneos 32 artículos; se agregó 1 artículos más, extraído de las referencias bibliográficas de las publicaciones revisadas, siendo en total 33 artículos finales.

3.7 Rigor científico

Se refiere al desarrollo disciplinado y a una conducta ética a lo largo del proceso de investigación (Sánchez et al., 2018, p. 115) para ello se sigue

una serie de criterios que validan la calidad de la investigación similar a la confiabilidad y validez en el enfoque cuantitativo (Hernández et. al., 2014, p. 453).

Dependencia indica la consistencia lógica que debe seguir la investigación de tal manera que garantice que distintos investigadores lleguen a interpretaciones equivalentes mediante el mismo tipo de análisis (Salgado, 2007, p. 74). Para alcanzar la dependencia se debe evitar los sesgos por parte del investigador, para ello se deben establecer algunas medidas como establecer procedimientos para un registro sistemático, demostrar que coincidan los datos mediante revisión de distintas fuentes, entre otros (Hernández et. al., 2014, p. 455). La presente investigación demuestra su dependencia porque explica de manera clara los criterios de selección que se utilizó para la obtención de los artículos; proporcionando detalles específicos del diseño utilizado, la recolección y el análisis realizado, así garantizar la misma interpretación de los resultados al ser revisados por otros investigadores.

Credibilidad indica si en la investigación se ha captado de manera completa y profunda las experiencias de los participantes, respondiendo si se ha abordado a profundidad los significados, conceptos y experiencias. (Hernández et. al., 2014, p. 456). En la investigación se cumple con el rigor de credibilidad ya que se reunirá participantes o artículos de base de datos indexadas las cuales se presentarán de manera amplia tanto los datos que se ajustan a la investigación como los contradictorios. Para ello se realizan fichas de contenido que recopilen la información como su objetivo planteado, metodología utilizada y resultados obtenidos de cada una de las investigaciones revisadas.

Confirmabilidad vinculado con la credibilidad de la investigación donde se evita los sesgos del investigador para ello se extrae los datos de su fuente y se explica el criterio utilizado para poder interpretarlo. Para demostrar la confirmabilidad se puede hacer uso de auditorías, triangulación, reflexión sobre los sesgos (Hernández et. al., 2014, p. 459). Se cumple con el rigor de confirmabilidad ya que este trabajo revisa exhaustivamente los artículos de

investigación, extrae los datos sin modificarlos evitando juicios propios y los organiza según criterios que se explican detalladamente en la matriz de categorización.

Transferibilidad se refiere a la aplicabilidad que se le puede dar a los resultados en otros contextos, siendo el usuario el que realiza la transferencia y cuestiona si se puede aplicar en su contexto; contribuyendo con mayor conocimiento de la problemática estudiada y la probabilidad de aplicar ciertas pautas y soluciones a investigaciones futuras (Salgado, 2007, p. 74). Esta investigación garantiza la posibilidad de transferencia ya que se describió de manera detallada cada una de las investigaciones, los tipos de aditivos utilizados, los materiales adicionales, el procedimiento utilizado y los resultados conseguidos para la mejora del concreto con agregados reciclados.

3.8 Método de análisis de datos

El análisis de datos consiste en proporcionar una estructura a los datos que se van recopilando, identificando los que comparten las mismas características y naturaleza, organizarlos con precisión; y mediante los criterios más convenientes asignarles categorías y códigos, esto se puede dar mediante matrices (Hernández et. al., 2014, p. 418).

Para el análisis de datos en el desarrollo de la investigación, se realizó una matriz de categorización apriorística la cual comprende 4 categorías vinculadas a los problemas y objetivos específicos, entre ellas se tiene: tipos de aditivos más utilizados, metodologías utilizadas, eficiencia de los aditivos y aditivos sostenibles.

La categoría tipos de aditivos más utilizados incluyó a 8 subcategorías: humo de sílice (HS), nanosílice (NS), cenizas volantes (CV), escoria de alto horno granulada (EAHG), metakaolín (MK), ceniza de cáscara de arroz (CCA), ceniza de hoja de palma (CHP) y óxido de grafeno (OG). Para identificar dichas subcategorías y seleccionar artículos que respondan a los objetivos, se consideró dos criterios: por su aporte que ofrecen y los de mayor uso.

La categoría metodologías utilizadas incluyó a 4 subcategorías: combinación de aditivos, métodos de reemplazo, métodos de adición y tratamiento de agregados reciclados. Para identificar dichas subcategorías y seleccionar artículos que respondan a los objetivos, se consideró dos criterios: por las características de los aditivos y por las características de los agregados.

La categoría eficiencia de los aditivos incluyó a 2 subcategorías: propiedades mecánicas y propiedades de durabilidad. Para identificar dichas subcategorías y seleccionar artículos que respondan a los objetivos, se consideró dos criterios: por los aditivos utilizados y por la metodología utilizada.

La categoría aditivos sostenibles incluyó a 6 subcategorías: HS, EAHG, CV, CCA, CHP y CFC. Para identificar dichas subcategorías y seleccionar artículos que respondan a los objetivos, se consideró dos criterios: por su origen y por su eficiencia.

3.9 Aspectos éticos

Se cumple con los aspectos éticos en la investigación, respetando los derechos de autoría y citando adecuadamente a los autores de acuerdo con la norma ISO 690 y cumpliendo con el porcentaje de similitud aceptado en el programa antiplagio Turnitin. Además, sigue los lineamientos del código de Ética en Investigación de la Universidad César Vallejo aprobado mediante R.C.U N° 083-2016 /UCV.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta investigación presenta 33 publicaciones obtenidas a partir de una búsqueda exhaustiva de artículos en bases de datos de alto impacto. Para comprender la factibilidad del uso de los aditivos se exploró el efecto de diferentes niveles de reemplazo de los aditivos y las metodologías utilizadas para la mejora de las propiedades de resistencia del concreto elaborado a partir de agregado reciclado. Se identificó 9 tipos de aditivos más utilizados entre los años 2017 al 2022 (Figura 3), se detalló las propiedades físicas y químicas de cada uno de los aditivos utilizados y del cemento para poder comparar su composición (tabla 2).

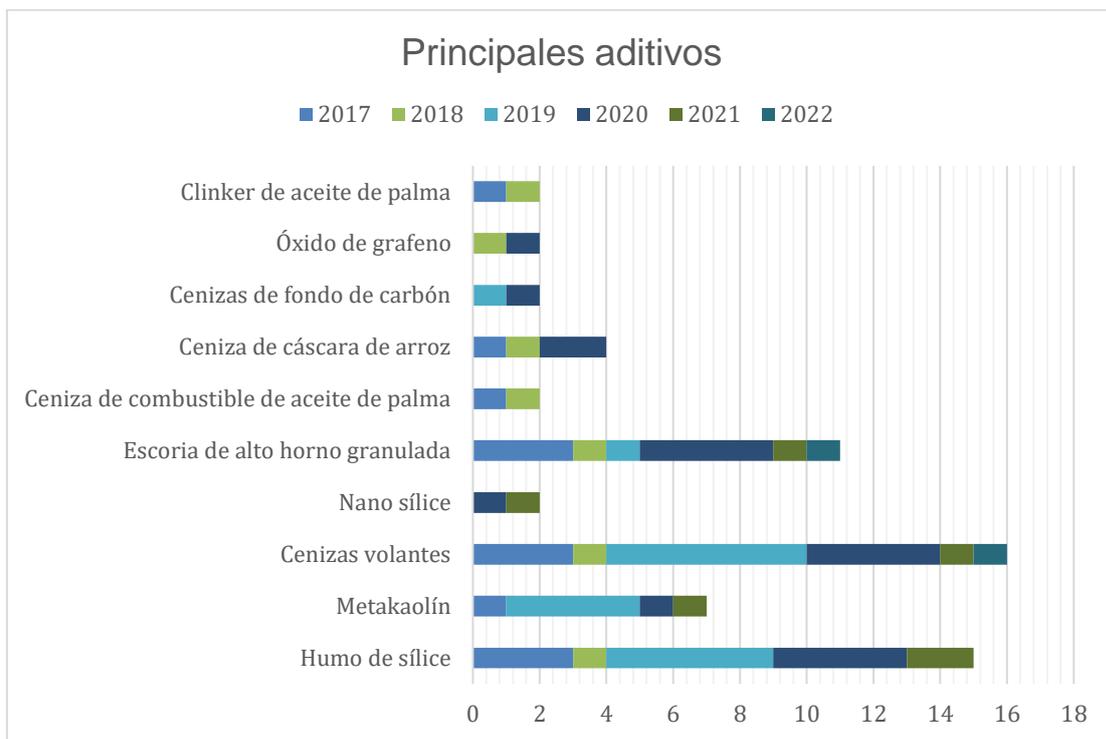


Figura 3. Principales aditivos utilizados en la elaboración de concreto con agregado reciclado.

Tabla 2. Tipos de aditivos utilizados para la mejora de las propiedades del concreto con agregados reciclados

Aditivos más utilizados	Propiedades Químicas												Propiedades Físicas				Referencia
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	F ₂ O ₃	MgO	CaO	MnO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅	LOI	Tamaño de partícula (µm)	Gravedad específica (g/cm ³)	Densidad aparente (g/cm ³)	Área superficial (m ² /Kg)	
Ceniza de cáscara de arroz (CCA)	91.0	0.35	0.41	0.81	0.49	-	-	2.16	-	1.21	-	4.81	19.41	2.03	-	655	(Alnahhal et al., 2017)
Ceniza de combustible aceite de palma (CCAP)	64.17	3.73	6.33	3.46	5.8	-	0.06	5.56	-	0.74	3.30	11.56	17.62	2.14	-	506	
Clinker de aceite de palma (CAP)	60.29	5.83	4.71	4.20	3.28	-	0.10	7.24	-	0.31	3.78	5.23	37.97	2.53	-	383	
Cemento(C)	21.0	5.9	3.4	2.50	64.7	-	0.00 2	1.00	-	2.4	0.07	0.9	22.47	3.14	-	351	
Humo de sílice (HS)	89.6	-	-	-	-	-	-	0.22 5	0.11	-	-	3.8	<1	0.625	-	15000	(Shaikh, 2017)
Escoria de alto horno granulado (EAHG)	32.45	13.56	0.82	5.1	41.22	-	-	0.35	0.27	3.2	-	1.11	-	-	-	-	
Cemento(C)	21.1	5.24	3.1	1.1	64.39	-	-	0.57	0.23	2.52	-	1.22	-	3.17	-	-	
Escoria de alto horno granulado (EAHG)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.150 kg/m ³	500	(Al-Gahtani et al.,2017)
Metakaolín (MK)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Humo o de sílice (HS)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20000	
Cenizas volantes (CV)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	650 kg/m ³	270	
Cenizas volantes (CV)	40	17	6	-	24	-	-	-	-	-	-	-	-	2.38	-	420	(Dimitriou et al., 2017)
Humo de sílice (HS)	85	-	-	-	<1	-	-	-	-	-	-	-	-	2.22	-	15000	
Cemento(C)	21	5	3	-	62	-	-	-	-	-	-	-	-	3.15	-	370	
CV (Cenizas volante)	40	23	6.1	5	27	-	-	-	-	2.8	-	-	-	-	-	-	(Khodair & Bommareddy, 2017)
Escoria de alto horno granulado (EAHG)	40	14	1.8	4	38	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	
Escoria de alto horno granulado (EAHG)	34	14	4	7	33	-	-	-	-	-	-	0.8	-	2.82	-	500	(Majhi et al., 2018)
Cemento(C)	19.11	8.61	1.79	1.62	64.39	-	-	-	-	2.1	-	1.6	-	3.11	-	320	

Clinker de aceite de palma (CAP)	60.29	5.83	4.71	-	3.28	-	-	-	-	0.31	-	5.23	37.97	2.53	-	-	(Alnahhal et al., 2018)
Ceniza combustible de aceite de palma (CCAP)	64.17	3.73	6.33	-	5.80	-	-	-	-	0.74	-	11.56	17.62	2.14	-	-	
Ceniza de cáscara de arroz (CCA)	91	0.35	0.41	-	0.49	-	-	-	-	1.21	-	4.81	19.41	2.03	-	-	
Cemento(C)	21.0	5.9	3.4	-	64.70	-	-	-	-	2.40	-	0.90	22.47	3.14	-	-	
Ceniza de cáscara de arroz (CCA)	87.14	0.89	0.34	0.49	1.12	-	-	2.51	1.1	0.28	0.98	5.15	-	-	-	-	Padhi et al., 2018)
Cemento(C)	20.63	7.24	1.33	2.27	63.96	-	-	1.21	0.43	1.34	-	1.56	-	-	-	-	
Óxido de grafeno (OG)																	(Long et al., 2018)
Cenizas volantes (CV)	52.79	49.47	8.58	0.90	5.61	-	-	1.37	0.66	0.62	-	3.51	-	2.43	-	3000	(Guo et al., 2019)
Escoria de alto horno granulado (EAHG)	31.76	14.82	1.58	5.63	44.01	-	-	0.39	0.34	1.47	-	2.27	-	2.25	-	520	
Humo de sílice (HS)	95.48	0.40	0.03	0.40	0.44	-	-	0.25	0.32	0.42	-	0.90	-	2.08	-	20000	
Cemento(C)	20.43	4.78	3.87	2.05	64.73	-	-	0.50	0.10	2.47	-	1.10	-	3.12	-	410	
Metakaolin (MK)	49.71	54.77	0.34	0.03	0.06	0	1.48	0.01	0.81	-	-	-	-	2.57	-	-	(Bui et al., 2019)
Cenizas volantes (CV)	58.8	24.9	5.35	1.44	5.51	0.05	1.18	1.34	1.16	-	-	-	-	2.31	-	-	
Humo de sílice (HS)	94.05	3.04	1.61	1.11	0.31	0.11	0.01	0.92	1.13	-	-	-	-	2.20	-	-	
Cenizas lodos de papel (CLP)	27.80	13.79	4.94	3.92	44.55	0.03	0.73	0.28	0.33	-	-	-	-	2.73	-	-	
C (Cemento)	22.63	3.47	3.29	0.78	62.57	0.1	0.23	0.42	1.07	-	-	-	-	3.15	-	-	
Cenizas Volantes (CV)	56.50	17.70	11	5.40	3.20	-	-	-	-	-	-	1.20	-	2.38	-	-	(Singh et al., 2019)
Metakaolin (MK)	52.10	41	4.32		0.39	-	-	-	-	-	-	<1	-	2.6	-	-	
Ceniza de fondo de carbón (CFC)	66.9	17.7	6.5	0.51	1.56	-	-	-	-	-	-	2.65	-	2.25	-	-	
Cemento(C)	20.1	6.80	4.30	2.6	61.3	-	-	-	-	-	-	4	-	3.15	-	-	
Cenizas volantes (CV)	32.80	13.77	4.78	2.08	39.69	-	-	1.18	0.40	4.22	-	1.34	-	2.29	-	404	(Mardani et al., 2019)
Humo de sílice (HS)	87.29	0.47	0.63	4.47	0.81	-	-	1.28	1.25	0.22	-	2.70	-	2.10	-	1800	
Metakaolín (MK)	63.53	32.36	0.54	0.18	0.29	-	-	1.08	0.33	0.01	-	1	-	2.20	-	1176.8	
Cemento(C)	23.84	4.02	3.4	1.8	61.0	-	-	0.46	0.20	2.93	-	1.74	-	3.11	-	-	

Cenizas volantes (CV)	56.5	17.7	11.0	5.4	3.2	-	-	-	-	-	-	1.2	-	2.38	-	328	(Arora et al., 2019)
Humo de sílice (HS)	85	-	-	-	<1	-	-	-	-	-	-	4	-	2.2	-	-	
Metakaolín (MK)	52.1	41.0	4.32	-	0.39	-	-	-	-	-	-	<1	-	2.60	0.35	-	
Cenizas volantes (CV)	39.4	20.8	11.5	2.2	14.5	-	0.5	2.4	1.4	4.2	0.2	1.5	-	2.17	-	-	(Wongsa et al., 2019)
Humo de sílice (HS)	85-95	0.5-1.7	0.4-2	0.1-0.9	-	-	-	0.15-1.02	0.15-0.2	-	-	3.5	-	2.21	-	1400	(Sasanipour et al., 2019)
Cemento(C)	21.27	4.95	4.3	1.55	62.25	-	-	0.65	0.49	2.26	-	2.11	-	3-3.31	-	2910	
Escoria de alto horno granulado (EAHG)	38	17	3	5	29	-	-	-	-	-	-	0.8	-	2.82	-	500	(Majhi et al., 2020)
CAL	-	-	-	-	73.52	-	-	-	-	-	-	25.43	-	2.20	-	520	
Cemento(C)	19.12	8.60	1.78	1.61	64.40	-	-	-	-	2.21	-	1.5	-	3.15	-	320	
Ceniza de cáscara de arroz (CCA)	81.6	-	6.5	0.9	1.7	-	-	8.9	-	0.2	-	2.3	-	2.06	-	16300	(Nuaklong et al., 2020)
Cenizas volantes alto contenido de calcio (CV-AC)	42.4	21.3	13.2	2.3	15.7	0.1	0.5	2.0	0.9	1.0	-	0.4	-	2.54	-	3200	
Nano sílice (nS)	99.8	0.05	-	-	-	-	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	200000	
Humo de sílice (HS)	97.20	0.25	0.54	0.43	0.21	-	-	0.45	0.15	0.11	-	0.74	-	2.14	-	21000	(Amim et al., 2020)
Metakaolin (MK)	60.50	30.20	2.80	0.14	1.0	-	1.94	0.57	0.47	0.05	-	1.68	-	2.38	-	10900	
Cemento(C)	20	6.25	3.55	2.12	62.34	-	-	0.75	0.81	2.42	-	1.67	-	3.15	-	3300	
Escoria de alto horno granulado (EAHG)	33	14	1	-	43	-	-	-	-	-	-	-	-	2.90	-	600	(Faysal et al., 2020)
Humo de sílice (HS)	91	1	0.25	-	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	2.08	-	20200	
Cenizas volantes (CV)	53	34	4	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	2.25	-	300	
Cemento(C)	20	6	4	-	65	-	-	-	-	-	-	-	-	3.15	-	365	
Cenizas volantes (CV)	52.09	21.22	6.57	1.64	11.49	-	-	0.71	-	1.44	-	4.84	-	-	2.21	352	(Ju et al., 2020)
Escoria de alto horno granulado (EAHG)	34.25	15.14	0.91	5.96	39.48	-	-	0	-	3.51	-	0.75	-	-	2.92	408	
Humo de sílice (HS)	96.65	1.87	0.03	0.19	0	-	-	0.56	-	0.32	-	0.38	-	-	2.21	16000	
Cemento(C)	21.62	5.77	3.36	2.38	61.43	-	-	1.02	-	2.1	-	2.32	-	-	3.15	361	
Escoria de alto horno granulado (EAHG)	38	17	3	5	29	-	-	-	-	-	-	0.8	-	-	-	-	(Majhi y Nayak, 2020)
CAL	-	-	-	-	73.52	-	-	-	-	-	-	25.43	-	-	-	-	

Humo de sílice (HS)	96.5	1.14	1.1	0.76	0.11	-	-	0.25	0.29	0.1	0.16	0.08	-	2.22	550-650	21000	(Bahrami et al., 2020)
Polvo de piedra caliza	1.24	0.22	0.29	0.3	54.88	-	-	0.08	0.05	0.06	-	42.23	-	-	-	-	
Cemento(C)	21.9	5.3	3.91	1.68	64.2	0.53	0.34	0.66	0.22	1.35	-	0.52	-	-	-	372.5	
Óxido de grafeno (OG)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Yu y Wu, 2020
Ceniza de cáscara de arroz molida (CCAM)	93.5	0.2	0.4	0.4	0.9	-	-	3.3	-	0.2	-	8.7	-	2.24	-	-	Rattanachu et al., 2020
Cemento(C)	20.9	4.8	3.4	1.3	65.4	-	-	0.4	0.3	2.7	-	1.0	-	3.15	-	-	
Ceniza fondo carbón (CFC)	66.9	17.7	6.5	0.51	1.56	-	-	-	-	-	-	-	-	2.08	-	-	(Kumar y Singh, 2020)
Cenizas volantes (CV)	56.50	17.70	11	5.40	3.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cemento (C)	20.1	6.80	4.30	2.6	61.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Humo de sílice (HS)	98.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1-0.3	-	-	21000	(Yunchao et al., 2021)
Nano sílice (nS)	99.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7-40nm	-	-	230000	
Humo de sílice (HS)	91.4	0.7	1.7	0.9	0.5	-	-	-	-	0.4	-	1.7	-	2.4	0.64	2129	(Cakir et al., 2021)
Cemento(C)	21.9	6.0	3.5	0.9	64.0	-	-	-	-	2.6	-	1.1	-	-	3.14	352	
Cenizas de tallo de nano algodón (CTNA)	-	-	-	16.11	66.75	-	-	10.68	-	-	6.46	-	-	-	-	-	(Amin et al., 2021)
Ceniza hoja de palma (CHP)	53.11	3.26	3.11	6.67	16.11	-	-	9.71	1.35	-	6.68	-	-	-	-	-	
Cemento (C)	20	6.25	3.55	2.12	62.34	-	-	0.75	0.81	2.42	-	1.67	-	-	-	-	
Metakaolín (MK)	57.6	30.1	6.6	0.98	1.0	-	-	0.58	-	-	-	-	-	2.5	-	1.28	(Younis et al., 2021)
Cemento (C)	20.88	4.98	2.96	0.76	65.7	-	-	0.44	0.50	2.82	-	-	-	3.15	-	0.24	
Cenizas volantes (CV)	60.1	22.37	6.07	1.69	4.18	-	-	1.00	1.43	-	-	1.8	-	-	-	357	(Dosho, 2021)
Escoria de alto horno granulado (EAHG)	-	-	-	5.70	-	-	-	0.26	0.29	2.09	-	0.08	-	-	-	426	
Cemento(C)	-	-	-	1.49	-	-	-	0.56	0.35	2.13	-	2.29	-	-	-	330	
Escoria de alto horno granulado (EAHG)	27.60	13.51	0.54	9.31	42.96	-	1.38	-	0.46	3.09	-	0.60	-	2.94	-	410	(Huang, 2021)
CV y escoria (CV-E)	42.57	13.32	2.69	1.22	5.05	0.04	0.60	2.12	7.10	0.20	0.24	-	-	-	1.22 g/cm3	245	Kalinowska et al., 2022
Cemento (C)	13.93	3.34	2.86	0.55	54.29	0.07	0.40	0.58	0.26	4.02	0.21	-	-	-	1.40	421	

La tabla 2 muestra 33 artículos de investigación, en ella se detalla las propiedades químicas y las propiedades físicas de los tipos de aditivos utilizados por diferentes autores para la mejora de las propiedades del concreto elaborado con agregados reciclados y en efecto la sustentabilidad. Las propiedades de los aditivos pueden variar de acuerdo con su proceso de producción y a su composición.

Entre los aditivos minerales más utilizados para este fin se tiene el uso de cenizas volantes (CV), humo de sílice (HS), metakaolin (MK), escoria de alto horno granulada (EAHG), entre ellos la mayoría se caracteriza por presentar un alto contenido de SiO_2 . (Yunchao et al., 2021) utiliza HS el cual presenta 98.1% de SiO_2 y un área superficial de $21000 \text{ m}^2/\text{kg}$ que es mucho mayor al cemento, es decir se caracteriza por su gran finura; igual que HS utilizado por (Bahrami et al., 2020) con alto contenido de SiO_2 (96.05%) esto mejora la microestructura de las mezclas del concreto funcionando como efecto de micro relleno y permite la producción de gel de hidrato de silicato de calcio (CSH) adicional al reaccionar con el hidróxido de calcio (CaOH_2).

Por otro lado (Wongs et al., 2019) utiliza CV con un bajo contenido de SiO_2 y un alto contenido de calcio clasificándose por su composición como CV de tipo C. (Majhi et al., 2018) utiliza EAHG con un área de superficie ($500 \text{ m}^2/\text{kg}$) mayor que la del cemento ($320 \text{ m}^2/\text{kg}$), esto implica que es más fino que el cemento e influye en la reactividad de EAHG y por lo tanto en el desarrollo del concreto. La EAHG presenta un bajo contenido de cal (33%) en comparación con el cemento (64.39%), lo que le atribuye una baja actividad hidráulica; sin embargo, el SiO_2 y Al_2O_3 son superiores al del cemento lo que permite el desarrollo puzolánico. Para mejorar dicha actividad hidráulica (Majhi y Nayac 2020) utilizaron cal hidratada como activador alcalino en EAHG, ya que permite la creación de gel CSH. En una posterior investigación (Majhi et al., 2020) utiliza los mismos materiales cementicos para la mejora del CAR (concreto con agregado reciclado), el CaO presente en la cal, activa la auto hidratación de EAHG además de la puzolánica. De manera similar (Huang et al., 2021) utiliza EAHG con activador alcalino con agregado fino los cuales presentan pastas de cemento adheridas que son bastante alcalinas y como solución activadora alcalina utilizaron vidrio soluble líquido e hidróxido de sodio. Por otro lado (Younis et al., 2021) incorpora el metakaolín, el cual se caracteriza

también por su comportamiento puzolánico cuando se mezcla con agua, el cual produce más CSH influyendo en la resistencia del concreto.

Otros autores han utilizado la combinación de más de un aditivo mineral como (Shaikh, 2017) que incorpora HS en concreto con agregado reciclado que contiene EAHG ya que puede compensar la lenta reacción puzolánica de EAHG. Por otro lado (Dimitriou et al., 2018) utiliza CV y HS ya que su efecto sinérgico es importante en la propiedad de durabilidad debido a que el HS por su pequeño tamaño y gran superficie mejora la microestructura del hormigón con el desarrollo de una matriz más densa. (Amim et al., 2020) estudió la efectividad de reemplazar cemento por HS y MK en hormigón de ultra alto rendimiento ya que son altamente silíceos. (Yunchao et al., 2021) incorpora HS y NS ya que HS solo mejora las propiedades del CAR en una etapa posterior, NS puede mejorar la resistencia en una etapa inicial debido su alta actividad puzolánica con alto contenido de SiO_2 . La actividad puzolánica de HS es mayor que CV y EAHG, pero no de manera efectiva a edades tempranas, sin embargo, NS promueve la hidratación del cemento a una edad temprana y forma una estructura densa mediante la reducción de porosidad. (Doshu, 2021) y (Kalinowska et al., 2022) investigaron el efecto de aditivos minerales CV con gran contenido de SiO_2 y EAHG en el desempeño del concreto con AR ya que se consideran efectivos al suprimir la reacción álcali sílice del agregado reciclado, además debido a su gran disponibilidad como residuos de la industria energética.

También se utilizaron más de dos combinaciones (Mardani et al., 2019) prepararon sistemas binarios y ternarios que incorporaron HS, MK y CV para la mejora del CAR, de la misma manera (Arora et al., 2019) utilizó los mismos materiales cementicios suplementarios incorporando diferentes porcentajes de MK y HS en concreto de agregado reciclado con CV. (Faysal et al., 2020) usa aditivos minerales CV, EAHG y HS con aplicación en dos etapas (EMDE) para mejorar las propiedades microestructurales del concreto con agregado reciclado (CAR) mediante su composición química y propiedades físicas. (Jae et al., 2020) utiliza los mismos tipos de aditivos minerales CV, EAHG y HS los cuales imponen el efecto puzolánico por el gran porcentaje sílice en su composición química. (Guo et al., 2019) utiliza los mismos materiales suplementarios en mezclas binarias, ternarias y cuaternarias para obtener una amplia gama de óxido de calcio ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$) y conducir a una

microestructura más densa. (Al-Gathani et al., 2017) utilizó EAHG, MK, HS y CV en diferentes proporciones como reemplazo del cemento.

Entre otros materiales cementicios suplementarios (MCS) se tiene a los no tradicionales, las cuales provienen la biomasa agrícola, las cuales también influyen en las propiedades de resistencia del concreto elaborado con AR entre ellas se tienen a la ceniza de cáscara de arroz (CCA), ceniza de combustible de aceite de palma (CCAP), clinker de aceite de palma (CAP), ceniza de tallo de nano algodón (CTNA) y ceniza de hoja de palma (CHP), además cenizas de lodo de papel (CLP). (Alnahhal et al., 2017) utilizó CCA, CCAP, CAP que se caracterizan por contener 90%, 64% y 60% respectivamente de sílice, siendo buenos materiales puzolánicos y que cumplen con los requisitos ASTM C618 como material puzolánico; similar a la composición de CCA utilizado por (Rattanachu et al., 2020). (Nuaklong et al., 2020) también utilizó CCA con 81.6% de SiO_2 como reemplazo de NS en la preparación del hormigón geopolimérico que tiene a la CV con alto contenido de calcio como aglutinante principal. (Amin et al., 2021) reemplazaron el cemento parcialmente con CTNA y CHP en concreto de ultra alto rendimiento elaborado con agregados reciclados presentando CTNA un gran porcentaje de CaO en su composición a diferencia de los otros aditivos. Por otro lado (Bui et al., 2019) utiliza MCS tradicionales como CV, HS, MK e incluyen el CLP (cenizas de lodo de papel usado) en diferentes proporciones como métodos de reemplazo y adición, se observa que la composición química del CLP es bastante similar a la del cemento con una gran cantidad de CaO , además de Al_2O_3 y SiO_2 siendo un aditivo mineral adecuado para reemplazar el cemento. Por otro lado (Shing et al., 2019) evalúa la combinación en concreto autocompactante con CV y MK en el que adiciona CFC en reemplazo de agregado fino se observa que la composición química del CFC es similar a la CV siendo rico en sílice, alúmina y hierro lo que ayuda formar efectos puzolánicos a la matriz cementosa.

Adicional a ello se tienen a los nanomateriales derivados del carbono como el óxido de grafeno (OG) utilizado por (Long et al., 2018) y (Yu y Wu, 2020) que puede formar enlaces con el CSH. Estos materiales presentan otros tipos de propiedades como un alto contenido de carbono, en 47% (Long et al., 2018) y <46% (Yu y Wu, 2020).

Tabla 3. Metodologías y materiales utilizados en la elaboración del concreto con aditivos y agregados reciclados

Metodología	Materiales utilizados									Referencias
	Materiales	Tipo de agregado	Propiedades del agregado							
			Tamaño máximo nominal (mm)	Gravedad Específica	Módulo de finura	Densidad aparente compactada	Densidad aparente suelta	Absorción (%)	Humedad superficial	
Método de reemplazo parcial de CCA, CCAP, PCAP. CCAP y PCAP se procesaron	Cemento CCA (10,20,30%) CCAP (10,20,30%) PCAP (10,20,30%)	AGN AFN AGR	20mm 4.75 20mm	2.60 2.76 2.31	-	-	1481 1370	0.77 1.10 4.76	0.15 0.87 2.36	(Alnahhal et al., 2017)
Método de reemplazo y combinación de aditivos Series con AR, AR+ EAHG, EAHG+ HS. AN y AR en condiciones SSS	Cemento EGAH (50%) HS (5,10,15%) AGR (50%) SP en SF	AGN AGR	10-20mm -	-	-	1600 1410	1460 1310	0.4 5.7	-	(Shaikh, 2017)
Método de reemplazo parcial con EAHG, MK, CV, HS. Comparación entre AGR y AFR	Cemento EAHG CV HS	AFN AGN AGR AFR	4.75mm 19 mm 19 mm 4.75mm	2.85 3.1 - -	2.6 5.6 - -	-	-	-	-	(Al-Gathani et al., 2017)
Método de reemplazo parcial, combinación de aditivos y tratamiento de AR. RCA-T (tratado), RCA-C (campo), RCA-L (laboratorio)	Cemento HS (5%) CV (25%) AR (50, 100%) SP	AFN AGN AR-T AR-C AR-L	4/10-8/20mm 4mm 4mm	-	-	-	- 2.69 2.74 2.72 2.60	- 2.5 3.7 7.2 7.0	- 0.5-0.6% 2.6-2.8 2.7-2.9 2.1-2.2	(Dimitriou et al., 2018)
Método de reemplazo parcial de EAHG AR en condiciones SSS Se añadió agua extra	Cemento EAHG (0, 20, 40, 60) AGR (0, 25, 50, 100%)	AFN RCA NCA	- - 20mm	2.63 2.53 2.77	-	1455 1311 1440	1578 1450 1575	0.8 4 0.5	0 1.95 0.4	(Majhi et al., 2018)
Método de reemplazo parcial de CCA, CCAP, PCAP. CCAP y PCAP se procesaron	Cemento CCA (10,20,30%) CCAP (10,20,30%) PCAP (10,20,30%) AR (100%)	AGN AFN AGR	20mm 4.75 20mm	2.60 2.76 2.31	-	-	1481 1370	0.7 1.10 4.76	0.15 0.87 2.36	(Alnahhal et al., 2018)
Método de adición de OG AFR se humedecieron antes de la mezcla	Cemento (42.5R) OG (0.05, 0.10, 0.20%) AFR (100%) SP	AFR	-	-	2.39	-	-	8.96	-	(Long et al., 2018)

Método de reemplazo y combinación de aditivos, mezclas binarias, ternarias y cuaternarias entre (CV, EAHG, HS)	Cemento CV-EAHG-SF (50, 75%) RCA (50, 100%) SP	AGN AFN AGR	20mm - 20-5mm	-	-	-	2610 - -	0.5 1.1 4.9	-	(Guo et al., 2020)
Método de reemplazo (MR) y método de adición (MA) de CV, HS, MK, CLP Procedimiento de mezclado modificado (PMM)	Cemento C-CV-HS-MK-CLP (5, 10, 15) AGR (100%)	AFN AGN AGR	- 12.5 -	-	2.7 - -	-	2.78 2.91 2.64	2.44 1.29 6.50	-	(Bui et al., 2019)
Método de reemplazo y combinación de aditivos (CV, MK). CLP como reemplazo de AFN Los AR se tamizaron y lavaron antes de la mezcla	Cemento C+CV (70%C+30%CV) MK (10%) CLP (10%) AGR (0,25,50,75,100%) SP	AFN AGN AGR	-	2.75 2.64 2.44	3.97 6.92 6.88	-	-	1.25 0.68 5.65	-	(Singh et al., 2019)
Método de reemplazo y combinaciones binarias y ternarios de aditivos de CV, MK, HS. Los AR condición SSS	Cemento HS (9%) MK (9%) CV (18%) AFR (90%) SP	AFN AFR	-	2.72 2.44	-	-	-	0.70 6.81	-	(Mardani et., 2019)
Métodos de reemplazo de aditivos HS, MK, CV. Reemplazo de CV en todas las mezclas	Cemento CV (30%) HS-MK (5,10,15%) AGR (0, 25, 75, 100%) SP	AGN AFN AGR	- - 12.5mm	2.64 2.67 2.46	6.93 2.74 6.7	1600 1675 1519	-	0.68 1.0 5.35	-	(Arora et al., 2019)
Método de reemplazo total de CV y adición de silicato de sodio con NaOH para preparación de GP (Geopolímero prensado) AR Y ABCR se comparó con concreto de polvo de piedra caliza (PPC)	CV (13,17,20%) PPC, AR, ABCR NaOH Silicato de sodio	PPC AR ACR	-	2.62 2.41 2.47	3.08 3.47 3.41	-	-	1.68 7.27 5.33	-	(Wongsa et al., 2019)
Método de reemplazo con HS. Primero se reemplazó AGR y posteriormente AFR Remojo previo de AFR y AGR para separar impureza. Cálculo adecuado de cantidad de agua absorbida de AR	Cemento HS (8%) AGR (25, 50, 75, 100%) AFR (25%) SP	AGN AGR AFN AFR	-	2.63 2.36 2.58 2.23	- - 3.70 3.67	-	-	1.7 5.4 2.1 14.8	-	(Sasanipaur et al., 2019)

Método de reemplazo con EAHG-AV + activador alcalino (CAL)	Cemento EGAH (60%) Cal (0,5,7 y 10%) RCA (0,50,100)	AFN AGR AGN	-	2.63 2.53 2.77	-	1455 1344 1440	1578 1450 1575	0.8 4 0.5	-	(Majhi y Nayac, 2020)
Método de reemplazo con EAHG-AV + activador alcalino (CAL)	Cemento GGBFS (60%) Cal 7% RCA (0,50,100%)	AFN AGR AGN	-	2.64 2.40 2.85	3.21 6.94 7.00	1546 1346 1579	1662 1501 1790	0.80 4.50 0.36	0.20 1.56 0.26	(Majhi et al., 2020)
Método de reemplazo de CCA en sustitución de nS de concreto geopolimérico hecho con CV con alto contenido de Calcio Activadores alcalinos al NaOH y silicato de sodio	CCA (1.2, 2.4, 3.6%) CV (100%) NaOH NA ₂ SiO ₃	AGN AFN AGR	-	2.65 2.63 2.26	-	-	-	0.61 1.07 5.90	-	(Nuaklong et al., 2020)
Método de reemplazo de HS, MK en concreto de ultra alto rendimiento (CUAR). En algunas mezclas se combinó aditivos y se añadió fibras de acero. Se utilizó agregados reciclados cerámicos (ARC)	Cemento SF (10,20,30%) MK (10,20,30%) ARC (100)	ARC AFN	-	2.4 -	- 2.32	1.4 -	-	2 -	-	(Amim et al., 2020)
Método de reemplazo de aditivos CV, EAHG y HS Enfoque de mezclas en dos etapas (EMDE)	Cemento CV (20%) EAHG (20%) SF (5%) SP	AGN AGR AFN	-	2.60 2.62 2.50	-	-	-	1.1 6.1 0.6	-	(Faysal et al., 2020)
Método de reemplazo de aditivos CV, EAHG, HS Mezclas con 3. Tipos de aditivos y AFR	Cemento CV (15, 30%) EAHG (20, 40%) HS (2.5, 5%) AFR (50,100%)	AGN AFN AFR	-	-	-	-	-	- 1.1 5.86	-	(Ju et al., 2020)
Método de reemplazo de HS. Mezcla en etapas, en la mezcla óptima se agrega HS. Se utilizó polvo de piedra caliza (PPC)	Cemento MS (5,7.5,10%) AR (25,50,75,100%) PPC SP	AFN AGN AGR AFR	0-4.75 4.75-19 0-19 0-4.75	2.75 - - -	2.88 - - -	2570 2655 2330 2650	-	4.6 2.65 7.1 11.1	-	(Bahrami et al., 2020)
Método de adición OG en concreto de ultra alto rendimiento elaborado con CV y HS y fibra de acero	Cemento (Tipo II 52.5) CV-HS OG (0.02, 0.04, 0.06, 0.08%) AFR (100%) SP	AFN AFR	-	-	2.53 2.31	-	2615 2484	1.26 6.30	-	(Yu y Wu, 2020)

Método de reemplazo de aditivos HS, HS. Combinación de aditivos en algunas mezclas	Cemento HS (0,3,6,9%) NS (0,1,2,3%) AR (0,50, 100%) SP	AGR AGN AFN	5-31.5 5-31.5 5	-	- - 2.62	2.484 2.765 -	-	2.5 0.8 -	-	(Yunchao et al., 2021)
Método de reemplazo de CTNA y CHP. En algunas mezclas se combinaron aditivos. CTNA y CHP se procesaron térmicamente, se enfriaron y tamizaron. Los AR trituraron en máquina de abrasión de los Ángeles	Cemento (CEM I-52.5N) CTNA (0, 2.5, 5,7.5,10%) CHP (10, 20, 30%) AR (100%) SP	AFN AGR	4.75 19	-	2.65 2.67	-	-	0.76 3.42	-	(Amin et al., 2021)
Método de reemplazo de aditivo MK	Cemento (CEM I) MK (4,8,12,16 y 20%) AR (100%)	AGN AGR AFN	19.5 19.5 4.75	2.63 2.44 -	-	-	-	1.0 4.1 -	-	(Younis et al., 2021)
Método de reemplazo total con EAHG para concreto de escoria activada alcalinamente (CEAA) Solución activadora alcalina (vidrio soluble líquido e hidróxido de sodio). AR condición SSS	EAHG AA (vidrio soluble y NaOH) RFA (0,50,100)	AFR AGN AFN	<4.75 20 4.75	2.38 2.88 2.86	2.87 - 2.87	-	-	10.83 1.38 2.11	-	(Huang et al., 2021)
Método de reemplazo en combinación de CV+EAHG en etapas con MCR y AR Se procesó MCR y CV-E en molino de bolas, MCR además térmicamente	Cemento (CEM I-42.5R) CV+EAHG AR (30%) MCR (mortero de cemento reciclado)	AN AGR MCR	4-8/8-16 4-8/8-16 -	-	-	-	-	1.5/1.5 2.0/1.7 -	-	(Kalinowska et al., 2022)

La tabla 3 muestra las metodologías y las propiedades de los agregados reciclados utilizados en 27 artículos. Son diversas las metodologías que se utiliza para mejorar la eficiencia de los aditivos en las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto elaborado con áridos reciclados. (Wongsa et al., 2019) utiliza CV en la preparación de geopolímero prensado (GP) con agregado reciclado (AR) más la adición de NaOH donde no se utilizó ningún porcentaje de cemento. Por otro lado, para mejorar la eficacia de la mezcla (Sasanipaur et al., 2019) consideran remojar los AR finos y gruesos antes de mezclarlos para quitar las impurezas y obtener mayor calidad de los AR, y preparó tres series con diferentes porcentajes de HS igual que (Shaikh, 2017) con el uso EGAH y HS en la preparación de mezclas por series. Con el mismo fin (Majhi et al., 2018) agregó agua adicional en cada mezcla ya que los AR presentan una alta absorción de agua y humedad, de acuerdo con propiedades de los agregados ya que AR tiene una absorción de 4%. Sin embargo, para mejorar la calidad del agregado (Dimitriou et al., 2018) usa tres tipos de AR, siendo uno de ellos agregados tratados, en la que se removió el mortero adherido, mejorando considerablemente sus propiedades, también utilizaron superplastificante para mejorar la trabajabilidad, siendo el HS que demandó mayor cantidad, por su mayor área superficial. Por otro lado (Majhi y Nayac, 2020) con el fin de mejorar la actividad de la EGAH incorporó cal hidratada al concreto con agregado reciclado. Con el uso del mismo aditivo (Huang, 2021) le incorpora una solución activador-alkalina (vidrio soluble y NaOH) además de someter a los agregados a humectación en condición de saturación superficial. Mientras que para la aplicación del MK (Younis et al., 2021) únicamente realiza el procedimiento de mezcla. Igual que (Yunchao et al., 2021) que hace combinaciones de mezclas entre HS y NS; (Mardani et al., 2019) hace combinaciones binarias y ternarias entre los aditivos utilizados, igual a (Guo et al., 2019) que además hace mezclas cuaternarias entre CV, EAHG y HS. (Bahrami et al., 2020) determinó el mejor desempeño del diseño de mezcla en cada etapa para obtener una mezcla con áridos reciclados óptimos y agregar el aditivo HS. Similar a (Faysal et al., 2020) que utiliza como estrategia el enfoque de mezclas en dos etapas (EMDE). Por otro lado (Bui et al., 2019) realizan un procedimiento de mezclas modificado, además de comparar métodos de adición con métodos de reemplazo de los aditivos.

Tabla 4. Eficiencia de los aditivos en las propiedades del concreto elaborado con agregados reciclados

Aditivos	Tiempo de curado	Propiedades mecánicas				Aditivos	Propiedades de durabilidad			Referencias
		Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la tracción dividida (MPa)	Fuerza flexible (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)		Absorción de agua	Penetración de cloruro	Resistencia al ataque de sulfatos	
CCA (10%) AGR (100%)	28 días (c)	38.9 MPa	3.47 MPa	4.06 MPa	23.6 GPa*	-	-	-	-	(Alnahhal et al., 2017)
EAHG (40%) HS (10%) AR (50%)	28 días (c) 56 días (t) 30 días (Me)	50 MPa	5.4 MPa	-	30 GPa	-	-	-	-	(Shaikh, 2017)
EAHG-enfriado AR	28 días (c)	25 MPa	-	-	-	-	-	-	-	(Al-Gahtani et al., 2017)
CV (25%) HS (5%) AR (100%)	28 días (c)(f)(a)	50.9 MPa	2.3 MPa	6.9	23.0 GPa	CV HS	0.07 mm/min	Bajo	-	(Dimitriou et al., 2018)
EAHG (40%) AR (50%)	28 días (c)(t)(f)	31.85 MPa	>2.5 MPa	>3.5		EAHG 60% AR 50%	6.33%			(Majhi et al., 2018)
CCA (10%) AR (100%)	28 días (c)	38 MPa				CCA (20%) AR (100%)	30%<	Bajo	Mejora	(Alnahhal et al., 2018)
OG (0.20%) ARF	28 días	31 MPa	9 MPa							(Long et al., 2018)
CV (20%) HS (10%) EAHG (20%) AR (100%)	28 días (c)	37.89 MPa	3.66 MPa	-	-	-	-	-	-	(Guo et al., 2019)
HS (10%) MA PMM	28 días	50 MPa	4.4 MPa	-	30 GPa	HS (10%) MA PMM	7%	Bajo	Mejora	(Bui et al., 2019)
CFC MK* AR (50%)	56 días (c)(t)	31 MPa	3.5 MPa*			MK CFC (10%) AR (75%)		Bajo		(Shing et al., 2019)
HS	28 días (c)	60 MPa					Disminución 2.85	Bajo	Mejora	(Mardani et al., 2019)
MK (10%) RCA (50%)	28 días	44.4 MPa	5.70 MPa							(Arora et al., 2019)

CV (17%) NaOH PPC	7 días (c)	23 MPa				CV (20%)	10.4%			(Wongsa et al., 2019)
HS AFR (25%)	28 (c)(t)(f)	42.1 MPa				HS AR (75%)	<2.5%	Bajo		(Sasanipaur et al., 2019)
EAHG (60%) AR (50%) CAL (7%)	28 días (c)(t)	31.71 MPa	3.3 MPa	4.02 MPa						(Majhi y Nayac, 2020)
EAHG (60%) AR (50%) CAL (7%)	28 días (c)(t)	32 MPa					1.41%	Bajo	Mejora	(Majhi et al., 2020)
CCA (1.2%) AGR (100%)	28 días (c)	38.1 MPa	2.7 MPa	3.8 MPa		CCA (1.2%) AGR (100%)	4.1%			(Nauklong et al., 2020)
UHPC HS (20%)	28 días (c)	155 MPa	10.3 MPa	13 MPa		HS (20%)	49% menos			(Amin et al., 2020)
HS (7%) TSMa AR (40%)	28 días (c)	56.3 MPa	3.1 MPa			EAHG (20%) EMDE HS (7%)	4.4%	Bajo*		(Faysal et al., 2020)
EAHG (40%) AFR (25%)	28 días (c)(t)	36.9 MPa	3.94 MPa		24.8 GPa					(Ju et al., 2020)
HS (10%) AFR (25%)	28 días (c)(t)(f)	42.1 MPa	3.89 MPa	4.16 MPa						(Bahrami et al., 2020)
HS (6%) ns (2%) AR (50%)	28 días (c)(t)(Me)	54.54 MPa	4.15 MPa							(Yunchao et al., 2021)
UHPC CHP (20%) CPNA (7.5%) AR (100%)	28 días (c)(t)(f)(Me)	142.8 MPa	10 MPa	13 MPa	47.56 GPa					(Amin et al., 2021)
MK (20%) AGR (100%)	28 días (c)	40.5 MPa			38.1 GPa		8.2%			(Younis et al., 2021)
HEAA AFR (100%)	28 días (c)	45.9 MPa	4.0 MPa	4.0 MPa					Mejora	(Huang, 2021)
CV-E (30%) MCR (50%)	28 días (c)	68 MPa					3.7%			(Kalinowska et al., 2022)

La tabla 4 muestra la eficiencia de los aditivos en las propiedades del concreto con AR. Se verifica en los artículos revisados que el uso de agregados reciclados disminuye las propiedades de resistencia y de durabilidad del concreto; sin embargo, incorporando aditivos se mejora dichas propiedades. (Alnahhal et al., 2017) con el uso de 10% CCA a los 28 días logró una resistencia a la compresión, tracción, fuerza flexible y módulo de elasticidad con 38.9 MPa, 3.47 MPa, 4.06 MPa y 23.6 GPa respectivamente, que es superior a la mezcla con AR sin aditivo, las resistencias aumentan con el tiempo de curado a 90 días llegando hasta a 46 MPa en la resistencia a la compresión. Similar resultado obtuvo (Nuaklong et al., 2020) con el mismo tipo de aditivo y 100% AR, resistencia a la compresión (38.1 MPa), tracción (2.7) y flexión (3.8 MPa) y (Alnahhal et al., 2018) en resistencia a la compresión (38 MPa). Este aumento se debió a la mejora y densificación del concreto que contiene aditivo y la mejora a los 90 días se debería a la sílice activa de CCA. Con el aditivo EAHG (Al-Gahtani et al., 2017) obtuvo una resistencia de 25 MPa con EAHG enfriada a los 28 días; sin embargo, con el mismo tipo de aditivo (Majhi et al., 2018) con 40% EAHG y 50% AR, aunque disminuyó en comparación con mezcla AR sin aditivo, obtuvo un valor de 31.85 MPa en resistencia a la compresión, que es mayor a la resistencia objetivo del hormigón de grado M 25 de 31.6 MPa; la resistencia a la tracción y flexión disminuyó siendo una resistencia de 2.5 MPa y 3.5MPa respectivamente. (Majhi y Nayac, 2020) utilizó 60% EAHG por lo cual obtuvo una disminución en las resistencias, sin embargo, con la adición de 7% cal mostró una recuperación en las mezclas obteniendo con 50% AR una resistencia de 31.7 MPa, esto se debería ya que al agregar la cal aumenta el contenido de Ca(OH)_2 y con el SiO_2 de EAHG lo que hace posible una reacción puzolánica y creación de CHS adicionales. De la misma manera la resistencia a la tracción y flexión aumentaron con 7% cal. El gel CSH llena los microespacios y hace que ITZ sea más densa, por lo que hay una mejor resistencia a la flexión; similar resultado obtuvo (Majhi et al., 2020). Por otro lado (Ju et al., 2020) con el contenido de 40% EAHG y 50% AFR obtuvo a los 28 días una resistencia 36.9 MPa, superior a (Majhi et al., 2018) probablemente por el uso de agregado fino. Además obtuvo una resistencia a la tracción y módulo de elasticidad de 3.94 y 24.8 respectivamente, aunque su mayor efectividad en dichas resistencias fue con 5% HS. (Huang, 2021) con 100% AFR y EAHG activada alcalinamente (con vidrio

soluble y NaOH) obtuvo a los 28 días una resistencia a la compresión de 45.9 MPa, aumento de resistencia con mayor AFR por la gran cantidad de CaO que presentan el cemento adherido al AFR y el uso de activadores alcalinos; también aumenta la resistencia a la tracción a 4.6 MPa. Sería una mejor opción utilizar AFR en hormigón de EAHG activada alcalinamente. En resistencia a la tracción y flexión se tiene 4.0 con 100% AR, aunque disminuye en comparación con 0% AR, se considera propiedades mecánicas aceptables para hormigón estructural. Con el HS también se mostró buenos resultados (Bui et al., 2019) con el método de adición de aditivos, obtuvo que con la adición de 10% HS y 100% AR mejoró más las propiedades mecánicas en comparación con los otros aditivos, aunque con similares resultados adicionando MK.

Autores que utilizaron diferentes tipos de mezclas obtienen resultados en algunos casos mejores. (Shaikh, 2017) con la adición de 10% HS a mezclas con 40% EAHG y 50% AR obtiene mezclas óptimas cuya resistencia a la compresión a los 28 días es mayor a los 50 MPa, aunque no es tan alto como edades tempranas, dicha mejora se debería a que se contribuyó con la formación de geles CHS adicionales debido a reacción puzolánica de SiO₂ de las partículas HS extremadamente pequeñas; lo mismo con la resistencia a la tracción de 5.4 MPa que con EAHG aumenta a los 56 días y con HS va disminuyendo; y módulo de elasticidad de 30 GPa, destacando aún más en posteriores tiempos de curado. Por otro lado (Guo et al., 2019) con combinaciones 20% EAHG, 20% CV y 10% HS a los 28 días y 100% AGR obtiene una resistencia a la compresión axial de 37.89 MPa; incluso aumenta con el mayor contenido de AR y un aumento considerable en la resistencia a la tracción de 3.6 MPa en comparación con la mezcla sin aditivo, lo cual se debería a una mayor microestructura más densa, pero con un porcentaje mayor a 50% de aditivos disminuye la resistencia. (Dimitriou et al., 2018) con 100% AGR-T, 25% CV, 5% HS obtuvieron una resistencia de 50.9 MPa inferior a la mezcla sin aditivos, sin embargo fue mayor en comparación con mezcla con AR-C, lo cual se debería a la diferencia de calidad entre los dos tipos de agregados, ya AGR-T fue tratado previamente; a los 56 días solo presentó una ligera disminución con el uso de aditivos alcanzando una resistencia de 60.3 MPa, agregados pre remojados aumentó la resistencia a la compresión en un 7.4% Mezcla con AGR-C tuvo mayor resistencia a la tracción que AGR-T, el reemplazo de aditivos disminuyó las

propiedades de elasticidad, pero la resistencia a la flexión aumentó ligeramente con incorporación de CV y HS, influyó más el tratamiento a los agregados que la incorporación de aditivos. (Faysal et al., 2020) también utilizó EAHG junto con HS lo cual produjo una ganancia temprana en la resistencia a la compresión, sin embargo se tuvo mayor efectividad con 7% HS obteniendo resistencia de 56.3 MPa a 28 días de curado con método EMDE y 40% AR, la mejora se debió a la capacidad de HS de llenado de poros por su tamaño de partícula muy fino, se obtuvo con el mismo porcentaje una mejora en la resistencia a la tracción con 3.1 MPa.

En las propiedades de durabilidad se vieron mejoras significativas, (Alnahhal et al., 2018) obtuvo una mejora en la absorción de agua con los aditivos utilizados con la edad de curado de 90 días; sin embargo, con 20% CCA tuvo una mejora incluso a los 28 días, lo cual se produjo por el CSH adicional que se produce por el alto contenido de SiO_2 , el cual llena los vacíos existentes. Ante la solución de HCl también presenta un menor deterioro con los aditivos utilizados sobre todo 30% CCA, debido a que en hormigón con aditivo el CaOH es bajo por su consumo en la actividad puzolánica lo cual evita la penetración de iones cloruro, mostrando también una menor pérdida de resistencia luego de exposición a HCl y también ante exposición a sulfatos. De la misma manera (Nuaklong et al., 2020) con CCA utilizado disminuyó la absorción de agua llegando a un porcentaje de 4.1 % esto influenciado también probablemente por alto contenido de CV del hormigón geopolímero. Por otro lado (Faysal et al., 2020) con todos los aditivos utilizados se vio una menor absorción, con 20% EAHG y mezcla EMDE llegó a una absorción de 4.4%, siendo el más efectivo. En permeabilidad de cloruro presenta una disminución significativa con los aditivos, siendo el más efectivo 7% HS con una permeabilidad de cloruro de categoría baja, debido a su menor tamaño de partícula que rellena los poros. (Amim et al., 2020) en HUAR (Hormigón de ultra alto rendimiento) con 20%HS obtiene una efectividad mayor que los otros aditivos, disminuyendo en 49% la porosidad con respecto a la mezcla control con RA debido al gel CSH que se forma por la reacción puzolánica de HS y CaOH. Por otro lado (Majhi et al., 2018) con 60% de EAHG y 50% AR obtuvo una disminución en la absorción con un porcentaje de 6.33%. Con respecto a las cenizas volantes y humo de sílice (Dimitriou et al., 2018) observó una mejora sustancial en la absorción y permeabilidad con el humo de sílice utilizado, ya que su alto valor de finura llena

las interfases. De la misma manera (Bui et al., 2019) con 10% de HS se obtuvo una absorción del 7% menor a la mezcla sin aditivo, una baja penetración de iones cloruro y aumento de resistencia ante ataque de sulfatos. Por otro lado, (Long et al., 2018) con óxido de grafeno (OG) como aditivo con 0.2% de OG obtuvo una resistencia a los 28 días de 31 MPa y fuerza flexible de 9.0 MPa similar a la mezcla con agregado natural. (Yu & Wu, 2020) obtuvo una mejora en las propiedades con una cantidad óptima de 0.06% de OG aumentando la resistencia a la compresión, tracción, flexión y modulo elástico.

En la figura 3 se detalla la resistencia a la compresión de mezclas más efectivas con diferentes tipos de aditivos y combinaciones, además de la comparación entre los tiempos de curado. Como informaron la mayoría de las investigaciones hay un mejor rendimiento a mayor tiempo de curado. Entre los aditivos más eficientes se tiene el humo de sílice, las cenizas volantes únicamente en combinaciones con otros aditivos muestran una gran efectividad. El metakaolin y la ceniza de cáscara de arroz también muestra una gran efectividad seguido por escoria de alto horno granulada y ceniza de fondo de carbón.

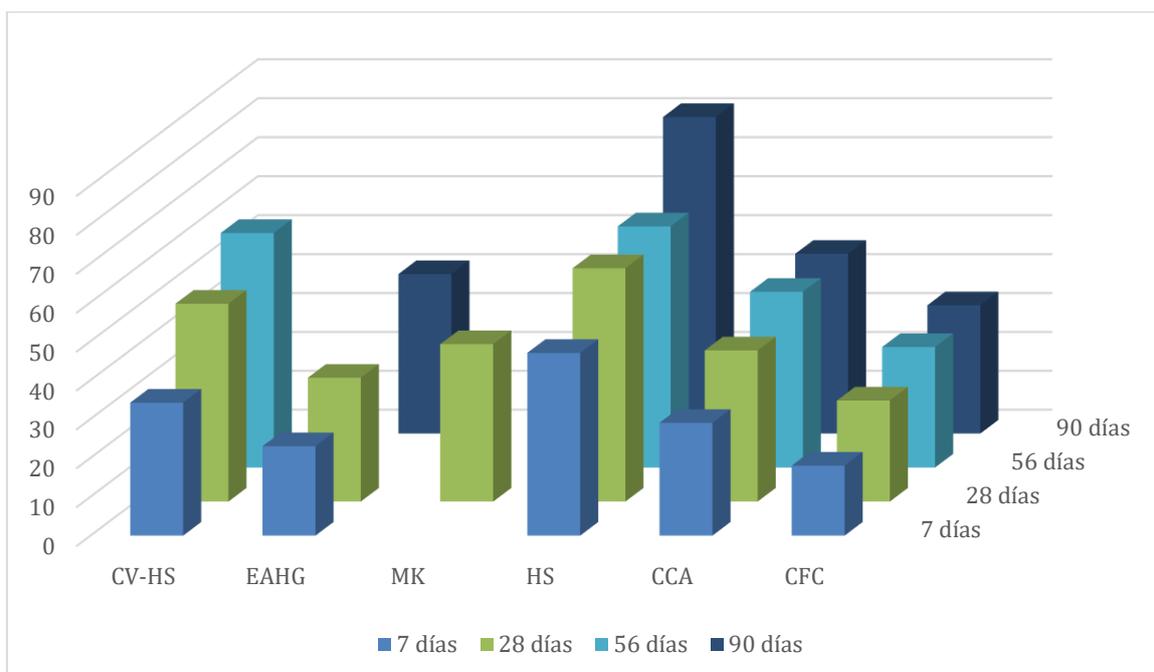


Figura 4. Resistencia a la compresión de mezclas con diferentes tipos de aditivos y tiempo de curado.

Tabla 5. Aditivos sostenibles más utilizados

Aditivos sostenibles	Origen	Eficiencia	Referencia
EAHG (Escoria de alto horno granulada)	Subproducto industrial de la fabricación de hierro fundido	Concreto con EAHG presentan propiedades mecánicas y de durabilidad aceptables. En combinación con otros aditivos presenta aun mayor eficiencia.	Shaikh, 2017 Al-Gahtani et al., 2017 Majhi et al., 2018 Guo et al., 2019 Majhi y Nayac 2020 Ju et al., 2020 Huang 2021
HS (Humo de sílice)	Subproducto industrial de producción de aleaciones de silicio y ferrosilicio.	Mejora sustancialmente las propiedades mecánicas y de durabilidad.	Dimitriou et al., 2018 Shaikh, 2017 Guo et al., 2019 Mardani et al., 2019 Sasanipaur et al., 2019 Amim et al., 2020 Faysal et al., 2020 Bahrami et al., 2020 Yunchao et al., 2021
CV (Cenizas volantes)	Subproducto de combustión de carbón	En mezcla con escoria o activadores alcalinos tiene buen desempeño en propiedades mecánicas y de durabilidad.	Dimitriou et al., 2018 Guo et al., 2019 Wongsa et al., 2019 Kalinowska et al., 2022
CCA (Cenizas de cáscara de arroz)	Subproducto de la industria de arroz	Influye en la mejora de las propiedades mecánicas y de durabilidad desde edades tempranas.	Alnahhal et al., 2017 Alnahhal et al 2018 Nuaklong et al., 2020 Rattanachu et al., 2020
CCAP (Ceniza de combustible de aceite de palma)	Subproducto de combustión de residuos de aceite de palma en planta térmica	Influye en las propiedades mecánicas y de durabilidad en un largo periodo de curado.	Alnahhal., 2017 Amin et al., 2021
CAP (Clinker de aceite de palma)	Subproducto de residuos de aceite de palma.	En combinación binaria con (CHP) influye en la mejora de las propiedades mecánicas.	Alnahhal., 2017
CFC (Cenizas de fondo de carbón)	Subproducto de centrales térmicas de carbón.	En concreto autocompactantes con MK mejora las propiedades mecánicas y de durabilidad	Shing et al., 2019 Kumar y Singh, 2020

La tabla 5 muestra a los aditivos sostenibles más utilizados para la mejora de las propiedades del concreto con AR. Debido a que estos se obtienen como subproductos de diferentes tipos de industrias. Entre las más utilizadas se tienen a EAHG (Escoria de alto horno granulada) que es un subproducto industrial de la fabricación de hierro fundido, el cual puede producir en comparación al cemento hasta 80% menos de emisiones de gases de efecto invernadero, además proporciona un buen rendimiento al concreto (Huang, 2021), debido a sus propiedades hidráulicas y/o puzolánicas (Guo et al., 2019), es uno de los tres aditivos minerales más representativos (Ju et al., 2020); sin embargo, en alto volumen podría significar una pérdida de las propiedades en el concreto con agregados reciclados, en ese caso se podría utilizar activadores alcalinos como la cal hidratada (Majhi et al., 2018). Por otro lado, el HS (Humo de sílice) es un subproducto industrial que en reemplazo parcial del cemento aumenta la resistencia del concreto con AR y disminuye el consumo de cemento (Bahrami et al., 2020); por su pequeño tamaño y mayor superficie mejora la microestructura del concreto, produciendo una matriz más densa (Dimitriou et al., 2018); y actúa como relleno en el concreto mejorando su durabilidad (Sasanipaur et al., 2019). Otro subproducto industrial son las cenizas volantes, que son subproductos de la combustión de carbón, su producción se estima en 750 millones de toneladas por año por lo cual su aprovechamiento se hace una solución para un desarrollo sostenible en la producción del hormigón (Kalinowska et al., 2022). También se tiene como aditivo la CCA que es un producto generado por la quema de cáscara de arroz a un rango de temperatura de 800-900C en plantas que usan este material como combustible para la generación de energía, esta vendría a ser una fuente sostenible ya que la industria del arroz genera millones de toneladas de cascarillas de arroz; y esta se caracteriza por contener más del 90% de sílice amorfa, lo que hace posible su uso como material cementicio complementario (Alnahhal et al., 2017); su uso es adecuado no sólo porque mejora las propiedades del concreto y disminuye el uso del cemento, sino también porque reducirá el problema de eliminación de CCA en vertederos sobre todo en países productores de arroz (Nuaklong et al., 2020). Además, mediante el efecto sinérgico de la combinación de aditivos se presenta mejores propiedades de resistencia y durabilidad como es con la combinación de CV, HS y EAHG (Guo et al., 2019).

V. CONCLUSIONES

- Entre los aditivos más utilizados se encuentran EAHG, HS, CV, MK, CCAP y CCA; los cuales comparten características en común en sus propiedades químicas y físicas, siendo que presentan un alto contenido de SiO_2 en su composición química y una gran área superficial, lo que le atribuiría un comportamiento puzolánico, es decir formación de hidrato de silicato de calcio (CSH), el principal responsable del desarrollo de la fuerza del concreto.
- Las metodologías utilizadas se basan en métodos de tratamiento para quitar el mortero adherido, mediante el lavado previo de los agregados, mediante mezcladores para remover el AR. Por otro lado, en el procedimiento de mezclado se utilizan EMDE; se agregan superplastificantes para mejorar la trabajabilidad, siendo que algunos aditivos requieren una mayor cantidad de este sobre todo aditivos con mayor área superficial; se agrega una mayor cantidad de agua. Además, se utilizan diferentes tipos de combinaciones entre los aditivos, métodos de adición y de reemplazo.
- La eficiencia de los aditivos se logró con cantidades no mayores a 10% HS, 40% EAHG, 10% CCA, 25% CV obteniendo una mejora del concreto con el uso de 50 hasta 100% de AR, con mejores resultados a mayor tiempo de curado debido a que la reacción puzolánica es más lenta que la hidráulica. El humo de sílice y las cenizas de cáscara de arroz muestran mejores resultados incluso desde edades tempranas debido a su gran finura y alto contenido de SiO_2 .
- Entre los aditivos sostenibles más utilizados se encuentran el HS, CCA, CV, EAHG, CCAP, CAP y CFC; debido a que son subproductos de diferentes tipos de industrias, que son considerados materiales de desecho. Con estos aditivos se podría lograr la sostenibilidad en la industria del concreto, ya que se disminuiría el uso del cemento, además de los agregados naturales y con ello una menor carga ambiental.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda mayor investigación de aditivos poco estudiados como cenizas de cáscara de arroz, cenizas de hoja de palma, cenizas de lodo de papel y cenizas de fondo de carbón teniendo en cuenta su procesamiento mediante técnicas de molido para la obtención de partículas más finas; además caracterizar sus composición química y física ya que influye en el desempeño del concreto y una proporción de remplazo inadecuada de aditivo afectará el nivel de reactividad de la mezcla.
- Se recomienda tratar los AR mediante mezcladores que a determinada velocidad eliminen las partículas pequeñas adheridas; además una adecuada relación agua cemento, de acuerdo con las propiedades obtenidas de los agregados reciclados. A partir de la calidad del agregado reciclado utilizar el método de adición o de remplazo, método de adición si es de baja calidad y método de remplazo si el agregado reciclado es de mayor calidad.
- Se recomienda investigar la contribución de los aditivos en el aspecto económico y ambiental mediante análisis de costos-beneficios de incorporar estos aditivos en mezclas de concreto con agregado reciclado y comparar estadísticamente entre ellos la mezcla más eficiente y con menor impacto ambiental.
- Se recomienda agregar otros cultivos a la lista de desechos agrícolas como ceniza de bagazo, ceniza de cascarilla de café, ceniza de cáscara de trigo y de centrales térmicas de biomasa para usar como aditivo en remplazo o material complementario del cemento, de acuerdo con la disponibilidad de estos materiales que se tengan a nivel local evaluando los costos y beneficios de su incorporación.

REFERENCIAS

ACI Comité 308R-16, Guía para el curado externo del concreto Informado por el comité ACI 308, American Concrete Institute, Farmington Hills, 2016.
https://www.concrete.org/portals/0/files/pdf/previews/308r_16_preview.pdf

ISBN: 9781942727873

ACI Comité 201.2R-01, Guía para la durabilidad del hormigón Informado por el comité ACI 201, American Concrete Institute, 2000.
<https://www.udocz.com/apuntes/63937/aci-201-2r-01guia-para-la-durabilidad-del-hormigon>

AL AJMANI, Haitham [et al]. Evaluation of concrete strength made with recycled aggregate. *Buildings* [en línea]. Marzo 2019, vol. 9 (3), p.56. [Fecha de consulta: 28 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/buildings9030056>

ISSN: 2075-5309

AL-GAHTANI, Khalid [et al]. Production of green concrete using recycled waste aggregate and byproducts. *Built Environment Project and Asset Management* [en línea]. Setiembre 2017, vol.7 (4), p. 413-425. [Fecha de consulta: 20 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/BEPAM-09-2016-0047>

ISSN: 2044-124X

ALNAHHAL, Mohammed [et al]. Evaluation of industrial by- products as sustainable pozzolanic materials in recycled aggregate concrete. *Sustainability* [en línea]. Mayo 2017, vol. 9(5), p.767. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su9050767>

ISSN: 2071-1050

ALNAHHAL, Mohammed [et al]. Effect of aggressive chemicals on durability and microstructure properties of concrete containing crushed new concrete aggregate and non-traditional supplementary cementitious materials. *Construction and Building Materials* [en línea]. Febrero 2018, vol.163, p. 482-495. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.106>

ISSN: 0950-0618

AMIN, Mohamed, TAYEH, Bassam, AGWA, Ibrahim. Effect of using mineral admixtures and ceramic wastes as coarse aggregates on properties of ultrahigh-performance concrete. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. Noviembre 2020, vol. 273, p. 123073. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123073>

ISSN: 0959-6526

AMIN, Mohamed [et al]. Effects of nano cotton stalk and palm leaf ashes on ultrahigh-performance concrete properties incorporating recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials* [en línea]. Octubre 2021, vol. 302, p. 124196. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124196>

ISSN: 0950-0618

ARIAS, José. Proyecto de tesis guía para la elaboración. 1° ed. Arequipa: Jose Luis Arias Gonzales, 2020. [Fecha de consulta: 20 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/2236>

ISBN: 9786120054161

ARORA, Sumit, SINGH, Balraj, BHARDWAJ, Bavita. Strength performance of recycled aggregate concretes containing mineral admixtures and their performance prediction through various modeling techniques. *Journal of Building Engineering* [en línea]. Julio 2019, vol.24, p. 100741. [Fecha de consulta: 20 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100741>

ISSN: 2352-7102

ASTETE Ochoa, Paola. Propuesta de plan de gestión de los residuos sólidos de la construcción y demolición depositados en espacios públicos y obras menores generadas en el Distrito de Ate. 2019. Tesis (Magíster en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible). Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, 2019

Disponible en: <http://tesis.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/3745>

BAHRAMI, Nasrollah [et al]. Optimum recycled concrete aggregate and micro-silica content in self-compacting concrete: Rheological, mechanical and microstructural properties. *Journal of Building Engineering* [en línea]. Setiembre 2020, vol. 31, p. 101361. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101361>

ISSN: 2352-7102

BUI, Ngoc, SATOMI, Tomoaki, TAKAHASHI, Hiroshi. Influence of industrial by-products and waste paper sludge ash on properties of recycled aggregate concrete. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. Marzo 2019, vol. 214, p. 403-418. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.325>

ISSN: 0959-6526

CAKIR, Özgür, DILBAS, Hasan. Durability properties of treated recycled aggregate concrete: Effect of optimized ball mill method. *Construction and Building Materials* [en línea]. Enero 2021, vol.268, p. 121776. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121776>
ISSN: 0950-0618

CARBAJAL Silva, Marcia. Situación de la gestión y manejo de los residuos sólidos de las actividades de construcción civil del sector vivienda en la ciudad de Lima y Callao. Tesis (Ingeniero ambiental). Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2018. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3215>

CAREVIC, Vedran, IGNJATOVIC, Ivan, DRAGAS, Jelena. Model for practical carbonation depth prediction for high volume fly ash concrete and recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials* [en línea]. Julio 2019, vol. 213, p. 194-208. [Fecha de consulta: 28 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.267>
ISSN: 0950-0618

CENIZAS volantes de carbón y cenizas de hogar o escorias [en línea]. Madrid: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas CEDEX (Diciembre 2011). [Fecha de consulta: 24 de abril de 2022]. Disponible en: <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/24/diciembre-2011/valorizacion/propiedades-del-residuo/23/las-cenizas-volantes.html>

CONCEPTOS básicos del concreto [en línea]. Instituto Mexicano del cemento y del Concreto. Julio, 2004. [Fecha de consulta: 28 de agosto de 2021]. Disponible en: <http://www.imcyc.com/cyt/julio04/CONCEPTOS.pdf>

CURBELO, Basilio. Concreto estructural [en línea]. 1er tomo. Colombia, 2015. [Fecha de consulta: 26 de noviembre de 2021]. Disponible en: https://issuu.com/jd.montesrios/docs/libro_de_concreto_estructural_refor

DE LA VEGA, Miguel. Perú puede tener un boom en la construcción [en línea]. El Peruano.PE. 26 de abril de 2021. [Fecha de consulta: 18 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://elperuano.pe/noticia/119555-peru-puede-tener-un-boom-en-la-construccion>

DEVI, Sanglakpam, KHAN, Rizwan. Compressive strength and durability behavior of graphene oxide reinforced concrete composites containing recycled concrete aggregate. *Journal of Building Engineering* [en línea]. Noviembre 2020, vol.32, p. 101800. [Fecha de consulta: 22 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101800>
ISSN: 2352-7102

DIMITRIOU, George, SAVVA, Pericles, PETROU, Michael. Enhancing mechanical and durability properties of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials* [en línea]. Enero 2018, vol. 158, p. 228-235. [Fecha de consulta: 14 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.137>
ISSN: 0950-0618

DS. N°019-2016-VIVIENDA. Que modifica el Reglamento para la Gestión y Manejo de los Residuos de las Actividades de la Construcción y Demolición, aprobado por Decreto Supremo N°003-2013-VIVIENDA. Diario oficial El Peruano (2016). <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-modifica-el-reglamento-para-la-gestion-y-decreto-supremo-n-019-2016-vivienda-1444264-1/>

DOSHO, Yasuhiro. Effect of Mineral Admixtures on the Performance of Low-Quality Recycled Aggregate Concrete. *Crystals* [en línea]. Mayo 2021, vol. 11(6), p. 596. [Fecha de consulta: 20 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/cryst11060596>
ISSN: 2073-4352

FAYSAL, Rayhan [et al]. Effect of mineral additives and two-stage mixing on the performance of recycled aggregate concrete. *Journal of Material Cycles and Waste Management* [en línea]. Mayo 2020, vol. 22 (5), p. 1587-1601. [Fecha de consulta: 14 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10163-020-01048-9>
ISSN: 1611-8227

FENG, Wanhui [et al]. Partially fly ash and nano-silica incorporated recycled coarse aggregate based concrete: Constitutive model and enhancement mechanism. *Journal of Materials Research and Technology* [en línea]. Marzo-abril 2022, vol. 17, p. 192-210. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.12.135>
ISSN: 2838-7854

FUTURO de la construcción [en línea]. Londres: Oxford Economics (septiembre, 2021). [Fecha de consulta: 10 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://www.marsh.com/mx/industries/construction/insights/the-future-of-construction.html>

GESTIÓN sostenible de materiales de construcción y demolición. Environmental Protection Agency [en línea]. Diciembre 2020. [Fecha de consulta: 10 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.epa.gov/smm/sustainable-management-construction-and-demolition-materials>

GOMEZ, Jorge. Materiales de construcción [en línea]. Monterrey: Instituto Tecnológico y de Estudios superiores de Monterrey, 2000. [Fecha de consulta: 10

de octubre de 2021]. Disponible en:
https://www.academia.edu/19374240/39247781_libro_materiales_de_construccion_130127113325_phpapp01

GUO, Zhanggen [et al]. Mechanical and durability properties of sustainable self-compacting concrete with recycled concrete aggregate and fly ash, slag and silica fume. *Construction and Building Materials* [en línea]. Enero 2020, vol. 231, p.20. [Fecha de consulta: 20 de abril de 2022]. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117115>
ISSN: 0950-0618

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos, BAPTISTA, María. Metodología de la investigación [en línea]. 6.ºed. México D.F. McGraw Hill, 2014. [Fecha de consulta: 25 de setiembre de 2021]. Disponible en:
<http://www.digitalrepositorio.com/items/show/2>
ISBN: 9781456223960

HUANG, Jinguang [et al]. Effect of recycled fine aggregates on alkali-activated slag concrete properties. *Structures* [en línea]. Abril 2021, vol.30, p. 89-99. [Fecha de consulta: 21 de abril de 2022]. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.12.064>
ISSN: 2352-0124

IMPORTACIONES del sector construcción en franca recuperación. [en línea] Lima: Revista digital de la Cámara de Comercio de Lima, (19 de julio de 2021). [Fecha de consulta: 24 de abril de 2022]. Disponible en <https://lacamara.pe/importaciones-del-sector-construccion-en-franca-recuperacion/>

INDECOPI. Hormigón. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. NTP339.034, 2008. Lima, 2008. 18 pp.

INDECOPI. Hormigón. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo. NTP 339.033, 2009. Lima, 2009. 17 pp.

JU, Minkwan [et al]. Mechanical Behavior of fine recycled concrete aggregate concrete with the mineral admixtures. *Materials* [en línea]. Mayo 2020, vol. 13(10), p. 2264. [Fecha de consulta: 24 de marzo de 2022]. Disponible en:
<https://doi.org/10.3390/ma13102264>

KALINOWSKA-WICHROWSKA, Katarzyna [et al]. The performance of Concrete Made with Secondary Products-Recycled Coarse Aggregates, Recycled Cement Mortar, and Fly Ash-Slag Mix. *Materials* [en línea]. Febrero 2022, vol.15(4), p. 1438.

[Fecha de consulta: 10 de mayo de 2022]. Disponible en:
<https://doi.org/10.3390/ma15041438>
ISSN: 1996-1944

KATAR, Ihab [et al]. Mechanical properties of concrete with recycled concrete aggregate and fly ash. *Recycling* [en línea]. Abril 2021, vol. 6(2), p. 23. [Fecha de consulta: 10 de abril de 2022]. Disponible en:
<https://doi.org/10.3390/recycling6020023>

KHODAIR, Yasser, BOMMAREDDY, Bhagiratha. Self-consolidating concrete using recycled concrete aggregate and high volume of fly ash, and slag. *Construction and Building Materials* [en línea]. Octubre 2017, vol. 153, p. 307-316. [Fecha de consulta: 18 de mayo de 2022]. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.063>
ISSN: 0950-0618

KOU, Shi-cong, POON, Chi-sun, AGRELA, Francisco. Comparisons of natural and recycled aggregate concretes prepared with the addition of different mineral admixtures. *Cement and Concrete Composites* [en línea]. Setiembre 2011, vol.33(8), p. 788-795. [Fecha de consulta: 29 de marzo de 2022]. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.05.009>
ISSN: 0958-9465

KUMAR, Pawan, SINGH, Navdeep. Influence of recycled concrete aggregate and Coal Bottom Ash on various properties of high volume fly ash-self compacting concrete. *Journal of Building Engineering* [en línea]. Noviembre 2020, vol. 32, p. 101491. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2022]. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101491>
ISSN:2352-7102

KUMAR, Sudhi, KUMAR, Abhilash. An Experimental Study On the Strength Properties of Graphene Oxide Concrete with Partial Replacement of Coarse Aggregate by Recycled Coarse Aggregate. *International Journal of Research in Engineering* [en línea]. Abril 2021, vol. 4(4), p. 20-23. [Fecha de consulta: 20 de octubre de 2021]. Disponible en:
<https://www.journals.resaim.com/ijresm/article/view/629>
ISSN: 2581-5792

KURDA, Rawaz, DE BRITO, Jorge, SILVESTRE, José. Combined Economic and Mechanical Performance Optimization of Recycled Aggregate Concrete with High Volume of Fly Ash. *Applied Sciences* [en línea]. Julio 2018, vol. 8 (7), p. 1189. [Fecha de consulta: 20 de octubre de 2021]. Disponible en:
<https://doi.org/10.3390/app8071189>

ISSN: 2076-3417

LASERNA Arcas, Santiago. Avances en el comportamiento del hormigón reciclado: fabricación, propiedades mecánicas y simulación numérica. Tesis (Doctor en ciencias e ingeniería agrarias). Albacete: Universidad Castilla La Mancha, 2015. 249 pp. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=104076>

LONG, Wu-Jian [et al]. Performance enhancement and environmental impact of cement composites containing graphene oxide with recycled fine aggregates. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. Setiembre 2018, vol. 194, p. 193-202. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.108>

ISSN: 0959-6526

MAJHI, Rajib, NAYAK, Amar, MUKHARJEE, Bibhuti. Characterization of lime activated recycled aggregate concrete with high-volume ground granulated blast furnace slag. *Construction and Building Materials* [en línea]. Octubre 2020, vol. 259, p. 119882. [Fecha de consulta: 12 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119882>

ISSN: 0950-0618

MAJHI, R.K., NAYAK, A.N., MUKHARJEE, B.B. Development of sustainable concrete using recycled coarse aggregate and ground granulated blast furnace slag. *Construction and Building Materials* [en línea]. Enero 2018, vol. 159, p. 417-430. [Fecha de consulta: 12 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.118>

ISSN: 0950-0618

MAJHI, Rajib, NAYAK, Amar. Production of sustainable concrete utilising high-volume blast furnace slag and recycled aggregate with lime activator. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. Mayo 2020, vol. 255, p. 120188. [Fecha de consulta: 12 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120188>

ISSN: 0959-6526

MARDANI-AGHABAGLOU, Ali [et al]. Improving the mechanical and durability performance of recycled concrete aggregate-bearing mortar mixtures by using binary and ternary cementitious systems. *Construction and Building Materials* [en línea]. Enero 2019, vol.196, p. 295-306. [Fecha de consulta: 20 de abril de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.124>

ISSN:0950-0618

NAWAZ, Muhammad [et al]. Mechanical, durability and economic performance of concrete incorporating fly ash and recycled aggregates. *SN Applied Sciences* [en

línea]. Enero 2020, vol. 2 (162). [Fecha de consulta: 28 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-1960-8>
ISSN: 2523-3971

NIÑO, Víctor. Metodología de la investigación, diseño y ejecución [en línea] 1° ed. Bogotá: Ediciones de la U, 2011. [Fecha de consulta: 8 de noviembre de 2021]. Disponible en: https://www.academia.edu/35258714/METODOLOGIA_DE_LA_INVESTIGACION_DISENO_Y_EJECUCION
ISBN: 9789588675947

NUAKLONG, Peem [et al]. Influence of rice husk ash on mechanical properties and fire resistance of recycled aggregate high-calcium fly ash geopolymer concrete. *Journal of Cleaner Production* [en línea] Abril 2020, vol. 252, p. 119797. [Fecha de consulta: 20 de abril de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119797>
ISSN: 0959-6526

OGUNMAKINDE, Olabode, EGBELAKIN, Temitope, SHER, William. Contributions of the circular economy to the UN sustainable development goals through sustainable construction. *Resources, Conservation and Recycling* [en línea]. Marzo 2022, vol. 178, 106023. [Fecha de consulta: 24 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106023>
ISSN: 0921-3449

OLULEYE, Benjamin [et al]. Circular economy research on building construction and demolition waste: A review of current trends and future research directions. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. Julio 2022, vol. 357, p. 131927. [Fecha de consulta: 3 de julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131927>
ISSN: 0959-6526

PADHI, Rupali [et al]. Influence of incorporation of rice husk ash and coarse recycled concrete aggregates on properties of concrete. *Construction and Building Materials* [en línea]. Junio 2018, vol.173, p. 289-297. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.270>
ISSN: 0950-0618

PRUEBAS de resistencia a la compresión del concreto [en línea]. Instituto Mexicano del cemento y del concreto. Junio, 2006. [Fecha de consulta: 25 de abril de 2022]. Disponible en: <http://www.imcyc.com/ct2006/junio06/PROBLEMAS.pdf>

RATTANACHU, Pokpong [et al]. Performance of recycled aggregate concrete with rice husk ash as cement binder. *Cement and Concrete Composites* [en línea]. Abril

2020, vol. 108, p. 103533. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103533>
ISSN: 0958-9465

RESIDUOS de construcción y demolición [en línea]. Madrid. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas CEDEX (Noviembre 2014). [Fecha de consulta: 21 de setiembre de 2021]. Disponible en: <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/35/residuos-de-construccion-y-demolicion/valorizacion/propiedades-del-material-procesado/202/arido-reciclado-procedente-de-hormigon.html>

SANDOVAL, Carlos. Investigación cualitativa [en línea].1°ed. Bogotá: Instituto Colombiano para el fomento de la educación superior, 2002. [Fecha de consulta: 12 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbXJdWFsaXRhdGI2YXVuaWNvcnR8Z3g6MWZlYTk4MWNjOGU4ODUwNw>
ISBN: 9589329187

SASANIPOUR, Hossein, ASLANI, Farhad, TAHERINEZHAD, Javad. Effect of silica fume on durability of self-compacting concrete made with waste recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials* [en línea]. Diciembre 2019, vol.227, p. 116598. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.324>
ISSN: 0950-0618

Sector construcción habría cerrado abril con más de 1000% en crecimiento [en línea]. Gestión.PE. 27 de mayo de 2021. [Fecha de consulta:15 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://gestion.pe/economia/sector-construccion-crecera-mas-de-1000-en-abril-proyecta-capeco-nndc-noticia/?ref=gesr>

SHAIKH, Faiz. Mechanical properties of recycled aggregate concrete containing ternary blended cementitious materials. *International Journal of Sustainable Built Environment* [en línea]. Diciembre 2017, vol. 6 (2), p. 536-543. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2017.10.005>
ISSN:2212-6090

SINGH, Navdeep, MITHULRAJ, M., ARYA, Shubham. Utilization of coal bottom ash in recycled concrete aggregates based self compacting concrete blended with metakaolin. *Resources, Conservation and Recycling* [en línea]. Mayo 2019, vol. 144, p. 240-251. [Fecha de consulta: 12 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.044>
ISSN: 0921-3449

TAFESSE, Shitaw, ESAYAS, Yidnekachew, DESSALEGN, Eliyas. Analysis of the socio-economic and environmental impacts of construction waste and management practices. *Heliyon* [en línea]. Marzo 2022, vol. 8, n°3. [Fecha de consulta: 23 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09169>
ISSN: 2405-8440

THOMAS, B. S [et al]. Sugarcane bagasse ash as supplementary cementitious material in concrete – a review. *Materials Today Sustainability* [en línea]. Noviembre 2021, vol. 15, p. 100086. [Fecha de consulta: 25 de enero de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2021.100086>
ISSN: 2589-2347

TOSIC, Nikola [et al]. Long-Term behaviour of reinforced beams made with natural or recycled aggregate concrete and high-volume fly ash concrete. *Construction and Building Materials* [en línea]. Mayo 2018, vol. 176, p. 344-358. [Fecha de consulta: 24 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.002>
ISSN: 0950-0618

SALGADO, Ana. Investigación cualitativa: diseños, evaluación del rigor metodológico y retos. *Liberabit. Revista Peruana de Psicología* [en línea]. 2007, 13, p. 71-78. [Fecha de consulta: 14 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=68601309>
ISSN: 1729-4827

SALONI [et al]. Effective utilisation of ultrafine slag to improve mechanical and durability properties of recycled aggregates geopolymer concrete. *Cleaner Engineering and Technology* [en línea]. Diciembre 2021, vol. 5, p. 100330. [Fecha de consulta: 24 de enero de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100330>
ISSN: 2666-7908

SANCHEZ, Hugo, REYES, Carlos, MEJÍA Katia. Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística [en línea]. 1°ed. Lima: Universidad Ricardo Palma, 2018. [Fecha de consulta: 24 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/1480>
ISBN: 9786124735141

WYDRA, Malgorzata. Influence of additives on properties of concrete with recycled aggregate and fly ash. *Web of conference* [en línea]. Setiembre 2018, vol. 196, 04085. [Fecha de consulta: 20 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819604085>

ISSN: 2261-236X

WONGSA, Ampol [et al]. Use of recycled aggregates in pressed fly ash geopolymer concrete. *Environmental Progress & Sustainable Energy* [en línea]. Julio 2019. Vol. 39 (2), p. 13327. [Fecha de consulta: 20 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/ep.13327>

ISSN: 1944-7450

YOUNIS, Khaleel [et al]. Performance of Recycled Coarse Aggregate Concrete Incorporating Metakaolin. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [en línea]. Junio 2021, vol. 856. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/856/1/012029/meta#references>

YU Lanzhen, WU, Rongxing. Using graphene oxide to improve the properties of ultra-high-performance concrete with fine recycled aggregate. *Construction and Building Materials* [en línea]. Octubre 2020, vol. 259, p. 120657. [Fecha de consulta: 24 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120657>

ISSN: 0950-0618

YUNCHAO, Tang [et al]. Combined effects of nano-silica and silica fume on the mechanical behavior of recycled aggregate concrete. *Nanotechnology Reviews* [en línea]. Agosto 2021, vol. 10, p. 819-838. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1515/ntrev-2021-0058>

ISSN: 2191-9097

ZHENG, Yuanxun, ZHANG, Yahui, ZHANG, Peng. Methods for improving the durability of recycled aggregate concrete: A review. *Journal of Materials Research and Technology* [en línea]. Diciembre 2021, vol. 15, p. 6367-6386. [Fecha de consulta: 24 de enero de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.11.085>

ISSN: 2238-7854

ZHU, Lihua [et al]. Compressive strength and microstructural analysis of recycled coarse aggregate concrete treated with silica fume. *Construction and Building Materials* [en línea]. Junio 2022, vol. 334, p. 127453. [Fecha de consulta: 14 de junio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127453>

ISSN: 0950-0618

ANEXOS

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL			
Ficha de análisis de contenido			
Título			
Base de datos		DOI	
Autor (es)		Año de publicación	
Palabras clave		N° de páginas	
Objetivo			
Aditivo utilizado			
Proceso de aplicación			
Resultados	Conclusiones		

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL			
Ficha de análisis de contenido			
Título	Evaluación de Subproductos Industriales como materiales puzolánicos sustentables en concreto agregado reciclado		
Base de datos	Proquest	DOI	10.3390/su9050767
Autor (es)	Alnahhal et al.	Año de publicación	2017
Palabras clave	Sostenibilidad, materiales cementicios complementarios, puzolanas, hormigón con áridos reciclados, propiedades de ingeniería.	N° de páginas	1-23
Objetivo	Evaluar las propiedades frescas y endurecidas del concreto que se desarrolló utilizando una gran cantidad de agregado reciclado (RA) incorporado con SCM sostenibles.		
Aditivo utilizado	Ceniza de cáscara de arroz (CCA), ceniza de combustible de aceite de palma (CCAP) y polvo de Clinker de aceite de palma (PCAP)		
Proceso de aplicación	CCA se utilizó directamente, CCAP y PCAP se procesaron para lograr la finura adecuada. Fueron utilizados en reemplazo del cemento en 10, 20, 30%. Se utilizó agregado reciclado en un 100% de reemplazo. a/c 0.55 constante. Se agregó agua adicional equivalente a la capacidad de absorción de los agregados. Se utilizó superplastificante para trabajabilidad.		
Resultados Las resistencias de los hormigones con CCA 10% y CCA 20% a la edad de 28 días fueron de aproximadamente 39 MPa y 37 MPa, respectivamente, que fueron superiores a la del hormigón AR (36 MPa), mientras que CCA 30% dio menor resistencia a la compresión de unos 33 MPa.		Conclusiones Los CCA, CCAP y PCAP pueden ser utilizados para lograr la resistencia a la compresión requerida de 30 MPa para el hormigón con AR después de 90 días de curado. La CCA mejoró la resistencia a la compresión del hormigón en todas las edades, mientras que el efecto beneficioso de CCAP y PCAP se ha notado a la edad de 90 días de curado con agua.	