



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

**Utilización de concreto reciclado como agregado
grueso para la elaboración de nuevos diseños
PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER
EN INGENIERIA CIVIL**

Autor (es)

Fuentes Cruz Yoana Estefany

<https://orcid.org/0000-0002-6972-8679>

Diaz Caro Luigi

<https://orcid.org/0000-0002-8906-0442>

Asesora

Ph.D. Heredia Llatas Flor Delicia

<https://orcid.org/0000-0001-6260-9960>

Línea de Investigación

**Tecnología e Innovación en el Desarrollo de la Construcción y la
Industria en un Contexto de Sostenibilidad**

Sublínea de Investigación

**Innovación y Tecnificación en Ciencia de los Materiales, Diseño e
Infraestructura**

Pimentel - Perú

2024

ANEXO 01: DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quienes suscriben la DECLARACIÓN JURADA, somos **Diaz Caro Luigi Raphael, Fuentes Cruz Yoana Estefany, alumnos** del Programa de Estudios de **Ingeniería Civil** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaramos bajo juramento que somos autores del trabajo titulado:

UTILIZACIÓN DE CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO PARA LA ELABORACIÓN DE NUEVOS DISEÑOS

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán, conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación con las citas y referencias bibliográficas, respetando el derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Diaz Caro Luigi Raphael	DNI: 71994409	
Fuentes Cruz Yoana Estefany	DNI: 76603235	

Pimentel, 25 de agosto del 2024.

PAPER NAME AUTHOR

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN_DIAZ CAR -
O_FUENTES CRUZ**

WORD COUNT

4029 Words

CHARACTER COUNT

21753 Characters

PAGE COUNT

24 Pages

FILE SIZE

25.7KB

SUBMISSION DATE

Sep 24, 2024 9:28 AM GMT-5

REPORT DATE

Sep 24, 2024 9:29 AM GMT-5

● **15% Overall Similarity**

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

- 8% Internet database
- 12% Submitted Works database
- 0% Publications database

Dedicatoria

Agradecemos a nuestros padres por su amor y apoyo constante en la realización de esta investigación, así como por los valores y principios que nos enseñan a diario para convertirnos en mejores profesionales y seres humanos.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Señor de Sipán por orientarnos en nuestra carrera profesional y a nuestros asesores por su acompañamiento durante el proceso de investigación.

Índice

Dedicatoria	6
Agradecimientos	7
Resumen	10
Abstract.....	11
I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 Realidad Problemática	12
1.2 Formulación del problema	15
1.3 Hipótesis	15
1.4 Objetivos.....	16
1.5 Teorías Relacionadas al tema.....	16
II. METODO DE INVESTIGACIÓN.....	17
III. RESULTADOS	18
IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	21
V. REFERENCIAS.....	24

Índice de tablas

Tabla 1. Artículos distribuidos según la base de datos y periodo de publicación.	17
Tabla 2. Producción de AAC	18
Tabla 3. Materiales reemplazantes y porcentaje agregado	18
Tabla 4. Resultado de materiales agregados	19

Resumen

El concreto reciclado, actualmente está teniendo más relevancia considerándose como una alternativa para su utilización como agregado grueso para mezclas en el concreto, en vista de que presenta fortalecimientos favorables en las estructuras, por lo tanto, mejora sus propiedades mecánicas del concreto, el procedimiento de fabricación tiene ventajas indiscutibles en términos de eficiencia de reciclado, rentabilidad y máximo aprovechamiento con el reciclado de concreto como agregado. El propósito de dicho trabajo ha sido en la investigación eminente de revistas registradas desde el año 2019 al 2024, las cuales son 39 Science Direct y 11 Google Académico referente al uso del concreto reciclado en las mezclas de concreto, lo cual beneficia a las estructuras en su tiempo de vida, las propiedades mecánicas que mejora, el impacto ambiental que produce, el costo de fabricación de la mezcla del concreto y su manejo de elaboración in situ.

Palabras clave: Concreto reciclado; impacto ambiental; propiedades mecánicas; rentabilidad.

Abstract

Recycled concrete currently has become a viable option in the use as coarse aggregate for concrete mixes, in view of the fact that it presents favorable strengthening in structures, therefore, it improves its mechanical properties of concrete, the manufacturing procedure has indisputable advantages in terms of recycling efficiency, cost effectiveness and maximum utilization with recycled concrete as aggregate. The purpose of such work has been in eminent research of journals registered from the year 2019 to 2023, of which are 39 articles in Science Direct and 11 in Google Academic referring to the use of recycled concrete in concrete mixes, which benefits the structures in its life time, the mechanical properties it improves, the environmental impact it produces, the cost of manufacturing the concrete mix and its on-site processing management.

Keywords: Recycled concrete; environmental impact; mechanical properties, cost effectiveness.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

El concreto es esencial en la construcción de edificios, siendo el material más utilizado a nivel mundial por su notable resistencia y durabilidad. Cada año se producen alrededor de 10.000 millones de metros cúbicos de concreto. No obstante, su impacto ambiental negativo ha generado una creciente preocupación, especialmente en las últimas décadas, debido a los efectos adversos que ha causado [1].

Cada año se incrementa la cantidad de residuos generados, y el 30% de los residuos a nivel mundial proviene de la construcción, demolición y pavimentación, incluyendo principalmente hormigón, asfalto y mampostería. Esto ha llevado a un rápido aumento del interés por el reciclaje, con el objetivo de reducir el impacto ambiental de estos desechos y mitigar su contribución al calentamiento global [2].

El calentamiento global viene siendo una fuente importante de preocupación, ya que las temperaturas siguen aumentando esto debido a la manifestación de gases de efecto invernadero. Uno de los principales gases viene siendo el dióxido de carbono, este ha aumentado su concentración en alrededor de un 50 % en los últimos dos siglos [3]. La construcción ha sido identificada como uno de los principales contribuyentes a las emisiones de CO₂ ya que este requiere cemento, agregados y su transporte para satisfacer una necesidad cada vez mayor de infraestructura. Esto libera una gran cantidad de CO₂ al medio ambiente a través del proceso de fabricación de cemento y tiene la mayor parte en la generación de huella de carbono. Aproximadamente el 7% del CO₂ antropogénico las emisiones se atribuyen al proceso de fabricación del cemento [4].

La utilización de áridos reciclados aporta al desarrollo sostenible de la industria del concreto y al mismo tiempo la administración de los desechos de construcción. El agregado reciclado es una alternativa viable al agregado natural, que ayuda en la preservación del medio ambiente. La calidad del agregado reciclado está influenciada por la calidad de los materiales que se recolectan y entregan a las plantas de reciclaje [5].

De acuerdo con la Guía de recursos ambientales del Instituto Americano de Arquitectos, el concreto demolido representa el 67 % del peso (53 % del volumen) de los desechos de

construcción y desarrollo, y solo el 5 % de estos desechos se recicla. [6]. Los desechos de construcción y demolición (RCD) representan alrededor del 25-30% de todos los residuos en Europa. En los Estados Unidos, esa cifra tiene un límite de 500 millones de toneladas por año, entre las que destacan infraestructura de vía y puentes representa alrededor del 46 por ciento [7]. De manera similar, Brasil y Colombia emiten 450.000 toneladas y 22 millón de toneladas de RCD cada año, respectivamente [8]. Se estima que para el año 2023 lo que viene a ser su producción aumentará a un total de 48.3 mil millones de toneladas, lo que nos puede decir que esto nos conducirá a una sobreexplotación de los agregados en las canteras según nos dice [9].

Sólo en China se producen cada año más de 1.800 millones de toneladas de desperdicios en el campo de la construcción procedentes de la demolición de edificios antiguos, de los cuales más del 70% son residuos de la construcción triturados. El reciclaje es muy importante para la protección del impacto ambiental, viendo como alternativa reemplazar el agregado grueso por concreto reciclado [10].

En Irán las industrias de piedras ornamentales generan muchas cantidades de desechos que ocasionan impactos negativos en el ambiente. Entre estos desechos podemos tener el granito y el mármol. El uso de estos polvos se encuentra entre 10 y 30 %, ya sea solo en uso de mármol o de granito y para la sustitución compuesta, este oscila entre 7,5 y 22,5 %. Concluyendo que a partir del uso de polvo de mármol en la mezcla se genera una disminución de la resistencia mecánica, pero esta se ve aumentada con el agregado de contenido de granito [11].

Uno de los grandes problemas presentes en la industria de la construcción es en el ámbito económico, pues el costo de agregados finos y gruesos va cada vez en aumento. Recientemente en Nigeria, se presenta un gran aumento en el precio tanto de agregado gruesos y finos que se encuentra por los 300% entre los años 2020 y 2022. A causa de estos problemas se busca reducir el uso de materiales tradicionales, dando uso a materiales alternativos y reciclados [12].

La industria constructiva en la India, a causa de la sobre población, genera muchos desperdicios en la construcción de algunas edificaciones. Una de las amenazas que la industria de la construcción causa es la emisión de dióxido de carbono hacia el ambiente, haciendo de este un alarmante problema ambiental en la actualidad [13].

Los impactos ambientales negativos asociados a la construcción indujeron una intensa investigación para encontrar mezclas de concreto alternativas y sostenibles para obtener "concreto verde". Dado que el objetivo principal del desarrollo de estas mezclas es reducir el impacto medioambiental [14].

La creciente demanda de tipos de concretos reciclados sofisticados con mejores propiedades ha sido una ventaja para el desempeño de la ciencia de la ingeniería estructural [15].

Un método típico para utilizar el concreto de demolición es reciclarlo en agregados de concreto, que luego se utilizan en la fabricación de un nuevo concreto denominado concretos reciclados (CR). El agregado grueso natural se sustituye parcial o totalmente por agregado grueso reciclado [16].

El reciclaje de los desperdicios en la construcción se ha centrado principalmente en lo que es el aprovechamiento del concreto reciclado (CR) obtenido de los residuos de concreto. Se observó que el concreto fabricado con RC hecho de concreto de alta resistencia tiene una mayor resistencia mecánica que el concreto fabricado con RC hecho de concreto de baja resistencia [17].

Una razón importante para utilizar concreto reciclado extraído de residuos es que reduce el consumo de recursos naturales. Los intentos de utilizar residuos en proyectos de construcción han llevado al desarrollo de hormigón ecológico conocido como "concreto reciclado". En países de América y Europa, se ha comprobado que el uso de hormigón reciclado cumple con la producción de hormigón para diversos fines [18].

Los residuos de construcción, demolición y la reutilización de materiales reciclados es uno de los principales problemas de la contaminación ambiental, es por ello que se ha estudiado el uso de árido grueso reciclado para poder utilizarlo en la Producción de concreto y buscar que el material pueda ser reutilizado para que a su vez obtengamos concreto de calidad [19].

No obstante, cuando los agregados naturales son sustituidos parcial o totalmente por agregados reciclados, algunas propiedades del material se modifican debido a la presencia de restos de pasta de cemento antigua en los agregados reciclados [20].

Los proyectos de construcción contribuyen de manera importante a la contaminación ambiental. Habitualmente, los empleadores y gerentes de estos proyectos se enfocan en completar las obras en el menor tiempo posible y con el menor costo, prestando menos atención al impacto ambiental que genera la ejecución del proyecto [21].

El respeto por el medio ambiente y la rentabilidad del concreto reciclado lo convierten en un material de construcción alternativo aceptable y también sostenible ya que esto indica un enorme potencial para que el concreto reciclado como el reemplazo del agregado grueso [22].

En las últimas décadas la construcción en Perú ha tenido un significativo crecimiento, lo cual genera una mayor necesidad de materiales para la construcción. Los materiales de construcción tradicionales, como el cemento Portland (PC) y los ladrillos de arcilla, requieren de mucha materia prima para ser fabricados [23].

En la industria de la construcción al paso del tiempo las edificaciones van perdiendo resistencia por su antigüedad o por no considerarse seguras, las cuales mayormente suelen ser demolidas generando así gran cantidad de desperdicios los cuales son desechados, sin dar importancia al impacto que este tiene en el ambiente.

1.2. Formulación del problema

¿Es viable el uso de concreto reciclado como agregado grueso en la elaboración de nuevos diseños de mezcla?

1.3. Hipótesis

Buscando una solución al problema de los desperdicios generados en la construcción y el impacto negativo hacia el medio ambiente, esta investigación presenta una alternativa para poder utilizar los residuos de ladrillo reciclado como un material que sea sostenible, económico y óptimo para su uso, sin descuidar las propiedades físico-mecánicas del concreto tradicional para su utilización dando como resultado estructuras que sean duraderas y resistentes.

1.4. Objetivos

Objetivo general

Evaluar el comportamiento del concreto utilizando concreto reciclado como agregado grueso en la elaboración de nuevos diseños de mezcla.

Objetivos específicos

- Comparar las propiedades físicas de las mezclas de concreto convencional con las mezclas de concreto con concreto reciclado como agregado grueso.
- Evaluar la resistencia a la compresión de las mezclas de concreto utilizando concreto reciclado como agregado grueso
- Determinar la viabilidad del uso de concreto reciclado como agregado grueso en los diseños de mezcla.
- Determinar un análisis económico del diseño de mezcla convencional en comparación con diseño utilizando concreto reciclado como agregado grueso.

1.5. Teorías Relacionadas al tema

Concreto

El concreto es un material de construcción compuesto por una mezcla de cemento, agua, agregados (arena y grava) y, a veces, aditivos. Es conocido por su alta resistencia y durabilidad, utilizado ampliamente en la construcción de estructuras como edificios, puentes y pavimentos. El proceso de endurecimiento del concreto, conocido como fraguado, lo convierte en un material sólido y resistente [24].

Concreto reciclado

El concreto reciclado es un material producido a partir de la reutilización de residuos de concreto provenientes de demoliciones y construcciones. Estos desechos se trituran para obtener agregados que pueden ser usados nuevamente en la producción de nuevo concreto. Su uso contribuye a la sostenibilidad en la construcción al reducir la demanda de recursos naturales y disminuir el volumen de residuos en vertederos [25].

Agregado grueso

El agua en la construcción es un recurso esencial utilizado en diversas etapas, como en la mezcla de hormigón, morteros y para la curación de materiales. Su calidad y cantidad

afectan directamente la resistencia, durabilidad y acabado de las estructuras. Además, se emplea en tareas de limpieza, enfriamiento y control de polvo en obras [26].

Cemento Portland

Se fabrica a partir de una mezcla de caliza y arcilla que se calcinan en un horno, produciendo un material llamado clinker, que luego se muele finamente y se mezcla con yeso. Este cemento, al combinarse con agua, forma una pasta que se endurece y adquiere gran resistencia, siendo fundamental en la fabricación de concreto y morteros [27].

Agua

El agua cumple como principales funciones: hidratar el suelo ya que el agua debe estar limpia libre de impurezas ya sea materia orgánica, sulfatos o cloruros. Se debe considerar que el agua es importante porque activa la función cohesiva del suelo, y se puede considerar como un elemento con gran relevancia en la mejora de la compresión [28].

Resistencia a la compresión

El nivel de absorción depende en gran medida del porcentaje de porosidad del ladrillo, la porosidad se ve atenuada por el grado y el contenido de humedad del ladrillo, los ladrillos son beneficiosos para áreas expuestas a diferentes temperaturas ya que ganan y pierden humedad fácilmente [29].

II. METODO DE INVESTIGACIÓN

El concreto tiene una influencia significativa en el impacto medioambiental (EI) porque es considerado uno de los componentes más usados en lo que es el sector de la construcción. Por ello, los investigadores han propuesto muchas alternativas para disminuir el concreto y también de los morteros, se estudió optimizar las mezclas de concreto que contienen diversas cantidades de RCA y/o FA para ser utilizadas en diferentes aplicaciones (por ejemplo, edificación en altura, vivienda residencial sostenible, vivienda residencial económica y vivienda residencial cerca o lejos del mar) [30].

En lo que es el sector de la construcción nos representa el 40% de energía en el mundo, el 30% del uso de materia prima, el 25% del uso de agua, el 12% de su uso en la energía y 25% de la generación de residuos sólidos [31].

En el concreto geopolimérico se emplearon agregado gruesos reciclados como sustituto de los agregados gruesos, así como la dolomita en un 50%. Los resultados obtenidos, en comparación a un concreto geopolimérico tradicional, nos muestran que el concreto con agregado grueso reciclado tiende a tener una resistencia a la compresión menor, resistencia a la tracción dividida y también resistencia a la flexión en un 14, 13 y 16, respectivamente [32].

El cemento y los agregados gruesos constituyen una proporción significativa en cualquier tipo de concreto, y ambas entidades no obedecen al principio de sostenibilidad si se consideran en términos de su producción y utilización. Se ha estimado que la demanda mundial de agregados para la construcción superó los 26 mil millones de toneladas a finales del año 2012 y se encontró que el principal consumidor de estos es China con un 25%, seguido de Europa y EE. UU. con una demanda del 12% y 10%. Respectivamente, según nos indica [33].

La reutilización de materiales procedentes de estructuras destruidas como concreto reciclado para nuevas mezclas de concreto este se ha convertido en algo muy importante, específicamente en la ciudad iraquí de Mosul tras la guerra de 2017, porque estos materiales no son biodegradables y permanecerán durante los próximos años; esto representa un verdadero problema de contaminación [34].

En la construcción tiene más impacto adverso en el medio ambiente, ya que consume una gran cantidad de materias primas naturales y energía, también genera una mayor cantidad de desechos de la construcción y demolición. Las actividades económicas deberían adoptarse para mantener la armonía en el ecosistema terrestre optando por reciclar los diferentes tipos de concreto que se presenta en las demoliciones de estructuras [35].

III. RESULTADOS

En la presente revisión consta en una minuciosa investigación de las bases de datos Scopus, Scielo y Science direct, encontrando un total de 50 artículos indexados: los cuales 14 son de 2023, 21 de 2021, 3 de 2020 y 12 de 2019. Las palabras claves que se han destinado en su búsqueda de los artículos son: recycled concrete, recycled concrete, concrete mixes recycled aggregates y recycled concrete in buildings, propiedades mecánicas, rentabilidad y proceso

constructivo. Para una mejor comprensión sobre la metodología de búsqueda, en la tabla 1 se evidencia los artículos elegidos, acorde a su base de datos y el año de publicación.

Tabla 1. *Artículos distribuidos según la base de datos y periodo de publicación.*

BASE DE DATOS	AÑO DE PUBLICACIÓN				TOTAL
	2019	2020	2021	2023	
Scopus	2	1	4	3	10
Science Direct	6	2	12	9	29
Google Académico	4	0	5	2	11
Total	12	3	21	14	50

El concreto celular esterilizado (AAC) está hecho de arena de cuarzo , cemento, cal viva, anhidrita o yeso, polvo/pasta de aluminio (como agente aireante) y agua.

Tabla 2. *Producción de AAC*

Clase de densidad AAC	0.35	0.50	0.55
Arena	38%	45%	53%
Cal viva compartida	15%	18%	15%
Cemento	31%	19%	17%
Anhidrita	6%	3%	4%
Polvo de AAC primario	9%	14%	9%

En las ventajas del agregado grueso procedentes de residuos de construcción y demolición (RCD) es fundamental para minimizar el consumo de recursos limitados y cumplir con la sostenibilidad en la rama de la construcción.

Tabla 3. Materiales reemplazantes y porcentaje agregado

MATERIAL	MATERIAL REEMPLAZANTE	PORCENTAJE
Cemento	Escoria de geopolímero	40%
	Cenizas volantes	50%
	Nanosílice	6%
Agregado Fino	Caucho triturado	5%
	Fibra de polipropileno	1%
	Polvo de mármol	7.5%
	Polvo de granito	22.5%
Agregado Grueso	Dolomita	25%
	Concreto reciclado	30%
	Granito	30%

Tabla 4. Resultado de materiales agregados

MATERIAL REEMPLAZANTE	PORCENTAJE	RESULTADO
Escoria de geopolímero	40%	Mayor resistencia a la tracción en un 6%
Cenizas volantes	50%	Ligera disminución en la resistencia a la compresión
Nanosílice	1.5%	Resistencia a la compresión del 8.44%
Caucho triturado	7.5%	Mejora la consistencia del concreto con el 11%
Fibra de polipropileno	1%	Se aumento la resistencia a la compresión un 23%
Polvo de mármol	5%	Mayor resistencia a la compresión
Polvo de granito	22.5%	Mejor resistencia a la compresión en un 13%
Dolomita	25%	Resistencia a la compresión en un 14%
Concreto reciclado	30%	Se reduce la resistencia a la compresión hasta un 10%
Granito	30%	Aumento de la resistencia a la compresión.

Los materiales para agregar deben de cumplir con las especificaciones establecidas, para así obtener un material que sea resistente y duradero al momento de construir que pueda aportar mejoras a las propiedades físico-mecánicas del concreto convencional.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Para poder evaluar las propiedades que presenta el concreto con agregados reciclados que se plantea como una alternativa sostenible en la industria de la construcción, debemos conocer los materiales a usar, tales como el polvo de mármol, polvo de granito, los desechos de construcción y demolición, entre otras más. Para asegurar la viabilidad del producto debemos conocer las propiedades que estos aporten a la mezcla ya sean beneficiosas o no, lo cual dependerá en gran medida a la cantidad usada de los materiales reciclados en la adición de la mezcla, implementando un porcentaje de cada material de manera ascendente [36].

Arabi et al. [37], menciona que, la mezcla de SHSC que presenta un 3 % de NS y 50 % de mezclas cuaternarias consiguió un rendimiento más elevado de 80.7, 6.46 y 10.09 MPa respecto a la resistencia a la compresión, a la tracción y a flexión respectivamente.

Se observo que el concreto permeable con un porcentaje de reemplazo de Ras entre un 60% a 100% nos da un resultado a la resistencia a la compresión reducida en un 20% a 40% en comparación con el concreto permeable con 100% de agregados naturales. Este estudio demuestra que, aunque es viable preparar concreto permeable con Ra, las propiedades del concreto permeable pueden no ser las más satisfactorias por ello es necesario tener medidas para su buen desempeño [38].

De esto podemos analizar que el comportamiento y las propiedades mecánicas del concreto reciclado dependerá mucho de la cantidad a agregar de los materiales reemplazantes en la mezcla, de los cuales muchos cumplen con los estándares solicitados [39].

Las propiedades que tiene el concreto convencional serán diferentes en comparación con el concreto reciclado, pues se agregarán nuevos materiales a este último. Sin embargo, buscamos que el concreto reciclado satisfaga de manera óptima las propiedades que el concreto convencional ofrece de manera que este no afecte a la edificación. Teniendo así presenta la resistencia a la compresión, tracción, flexión [40].

Realizando la investigación experimental obtenemos el resultado que muestra el desempeño óptimo del concreto geopolimérico sobre el concreto tradicional. La resistencia a la compresión y la resistencia a la división del concreto geopolimérico siguen siendo menos que las del concreto tradicional, sin embargo, se encuentran dentro del rango permisible. En

base a todas las pruebas realizadas en este estudio, el concreto geopolimérico puede ser una gran alternativa ante el concreto tradicional [41].

Según Huang et al. [42], menciona que, el concreto de escoria de geopolímero (GPC) con árido reciclado alcanzó casi 0,6 N/mm² más resistencia a la tracción y un 5% más de resistencia a la flexión que el concreto de escoria a base de cemento portland ordinario.

El concreto convencional en comparación con el concreto reciclado dependerá de los materiales que se agregarán, demostrando la viabilidad del concreto con agregados reciclados, pues si bien no alcanza con exactitud las propiedades mecánicas del concreto convencional, este se encuentra dentro de los parámetros establecidos sin mencionar que también es un material económico y sostenible [43].

El agregado de concreto reciclado procede de residuos de concreto de baja resistencia, y se sustituye por un 50% de agregado grueso natural para la mezcla de concreto, muestran un comportamiento sísmico favorable también nos dice que en este estudio se presenta una comparación con columnas construidas con agregado natural. Y como resultados de las pruebas mostraron que las columnas de hormigón armado, ya sea hechas de hormigón con áridos naturales o de hormigón con áridos reciclados [44].

Los tipos y materiales reciclados se utilizan de diferentes productos de las actividades en la construcción para formular concreto verde y sostenible. Los áridos de hormigón reciclado se producen mediante el uso de tecnologías ADR y HAS si bien tanto los agregados gruesos como los finos se utilizan para reemplazar por completo los agregados naturales gruesos y finos. Los agregados reciclados provienen de un puente demolido en los Países Bajos; por otro lado, se utilizan gravas y arenas de río como áridos naturales. Otros componentes de CDW, como los ultrafinos de vidrio reciclado y las fibras minerales recicladas, se obtienen de actividades de construcción y demolición [45].

La incorporación del concreto reciclado a nuevas mezclas de concreto, tienen una resistencia mecánica significativamente traerá resultados favorables al concreto convencional, ya que este es el sistema que incorpora áridos gruesos reciclados como sustitución de los áridos gruesos naturales y cenizas volantes como sustitución parcial del cemento Portland [46]. El problema principal con el hormigón es la menor resistencia inicial esto debido al bajo

rendimiento mecánico y de durabilidad general. Los investigadores han propuesto utilizar activadores químicos para mejorar la eficiencia en edades tempranas de los aglutinantes híbridos especialmente a una edad temprana. al 50% de su volumen activado [47].

Según Rodríguez et al. [48], nos dice que, un análisis económico comparativo en lo que es el uso del CR en comparación con el concreto convencional este nos dice que la proporción máxima relativamente baja de árido reciclado es problemática, ya que el árido convencional y el reciclado deben almacenarse por separado, lo que puede implicar gastos adicionales, especialmente en el caso de clases de baja exposición. Otro motivo normativo que inhibe el uso y la difusión del hormigón con áridos reciclados es el hecho de que los materiales reciclados apenas se licitan en concursos públicos.

El uso de concreto reciclado, así como también los tipos y materiales que se utilizan son obtenidos de la rehabilitación y demolición de antiguas infraestructuras (edificios, pavimentos y puentes), se ha vuelto una práctica viable en el rubro de la construcción [49].

Se puede concluir que determinando un análisis económico del CR en comparación con el concreto convencional teniendo una adecuada incorporación deen el concreto convencional, traerá resultados favorables en el mejoramiento de sus propiedades físico-mecánicas [50].

V. REFERENCIAS

- [1] A. T. Gebremariam, A. Vahidi, F. D. Maio, J. Moreno-Juez, I. Vegas-Ramiro, A. Łagosz, . R. Mróz and P. Rem, "Comprehensive study on the most sustainable concrete design made of recycled concrete, glass and mineral wool from C&D wastes," *Construction and Building Materials*, vol. 273, no. 121697, pp. 1-12, 2021.
- [2] E. Alrajfi, A. M. Ashteyat and Y. Z. Murad, "Shear behaviour of RC beams made with natural, recycled aggregate concrete and reclaimed asphalt aggregates under normal and elevated temperature," *Journal of Building Engineering*, vol. 40, no. 102681, pp. 1-9, 2021.
- [3] D. S. Gill y S. M. Abraham, «Feasibility of CO2 sequestration in concrete containing recycled aggregates,» *Materials Today: Proceedings*, 2023.
- [4] M. J. Ashraf, M. Idrees and A. Akbar, "Performance of silica fume slurry treated recycled aggregate concrete reinforced with carbon fibers," *Journal of Building Engineering*, vol. 66, p. 105892, 2023.
- [5] K. N. Rajesh, P. M. Raju, K. Mishra and P. K. Madiseti, "A review on sustainable concrete mix proportions," *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1025, no. 12019, pp. 1-11, 2021.
- [6] F. Chunhua, C. Buwen, J. Wang, H. Guo, W. Zhang y J. Zhu, «Changing the soaking method of microbially induced calcium carbonate precipitation technology to improve the reinforcement effect of recycled concrete aggregates,» *Journal of Building Engineering*, vol. 68, p. 106128, 2023.
- [7] E. O. Fanijo, J. Temitope Kolawole, A. J. Babafemi y J. Liu, «A comprehensive review on the use of recycled concrete aggregate for pavement construction: Properties, performance, and sustainability,» *Cleaner Materials*, vol. 9, p. 100199, 2023.
- [8] M. Sabau y D. Bompa, «Comparative carbon emission assessments of recycled and natural aggregate concrete: Environmental influence of cement content,» *Geoscience Frontiers*, vol. 12, nº 6, p. 101235, 2021.

- [9] A. Ahmad, K. Chaiyasarn, F. Farooq, W. Ahmad, S. Suparp and F. Aslam, "Compressive Strength Prediction via Gene Expression Programming (GEP) and Artificial Neural Network (ANN) for Concrete Containing RCA," *Buildings*, vol. 11, no. 8, pp. 1-17, 2021.
- [10] P. Ge, W. Huang, J. Zhang, W. Quan and Y. Guo, "Mix proportion design method of recycled brick aggregate concrete based on aggregate skeleton theory," *Construction and Building Materials*, vol. 304, no. 124584, pp. 1-15, 2021.
- [11] A. B. A. Amani y A. & K. A. Sabohanian, «Mechanical properties of concrete pavements containing combinations of waste marble and granite powders,» *International Journal of Pavement Engineering*, 2021.
- [12] M. D. Obebe, Ikumapayi y & A. K. K. C. M., «Structural performance evaluation of concrete mixes containing recycled concrete aggregate and calcined termite mound for low-cost housing.,» *Alexandria Engineering Journal*, vol. 72, pp. 237-246, 2023.
- [13] R. Modi y A. Bhogayata, «Utilization of recycled concrete residues as secondary materials in the development of sustainable concrete composite,» *Materials Today: Proceedings*, 2023.
- [14] K. K. Ramagiri, R. Chintha, R. K. Bandlamudi, P. Kara De Maeijer and A. Kar, "Cradle-to-Gate Life Cycle and Economic Assessment of Sustainable Concrete Mixes—Alkali-Activated Concrete (AAC) and Bacterial Concrete (BC)," *Infrastructures*, vol. 6, no. 104, pp. 1-21, 2021.
- [15] M. Tayebi and M. Nematzadeh, "Post-fire flexural performance and microstructure of steel fiber-reinforced concrete with recycled nylon granules and zeolite substitution," *Structures*, vol. 33, pp. 2301-2316, 2021.
- [16] J. K. Zhou, G. Lin and J. G. Teng, "Compound concrete-filled FRP tubular columns under cyclic axial compression," *Composite Structures*, vol. 275, p. 114329, 2021.
- [17] J. Kim, "Properties of recycled aggregate concrete designed with equivalent mortar volume mix design," *Construction and Building Materials*, vol. 301, no. 124091, pp. 1-12, 2021.
- [18] P. Nuaklong, A. Wongs, K. Boonserm, C. Ngohpok, P. Jongvivatsakul, V. Sata, P. Sukontasukkul and P. Chindaprasirt, "Enhancement of mechanical properties of fly ash

geopolymer containing fine recycled concrete aggregate with micro carbon fiber," *Journal of Building Engineering*, vol. 41, p. 102403, 2021.

- [19] M. Salman Rais and R. Ahmad Khan, "Effect of biomineralization technique on the strength and durability characteristics of recycled aggregate concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 290, no. 123280, 2021.
- [20] B. Ali , M. A. Gulzar and A. Raza, "Effect of sulfate activation of fly ash on mechanical and durability properties of recycled aggregate concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 277, no. 122329, pp. 1-9, 2021.
- [21] R. Volk, F. Schultmann, O. Kreft y F. Schultmann, «Life cycle assessment of post-demolition autoclaved aerated concrete (AAC) recycling options,» *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 188, p. 106716, 2023.
- [22] V. Revilla-Cuesta, L. Evangelista, J. De-Brito, V. Ortega-López and J. M. Manso, "Effect of the maturity of recycled aggregates on the mechanical properties and autogenous and drying shrinkage of high-performance concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 299, no. 124001, 2021.
- [23] M. Ponce y D. SotoCruz, «Thermomechanical evaluation of new geopolymer binder from demolition waste and ignimbrite slits for application in the construction industry,» *MRS Advances* , vol. 4, p. 2951–2958, 2019.
- [24] F. Z. Hossain, A. Pal, K. Sakil Ahmed, A. Bediwy y M. S. Alam, «Shear behavior of polypropylene fiber-reinforced concrete beams containing recycled aggregate and crumb rubber,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 412, p. 137370, 2023.
- [25] G. Silva, D. Castañeda y A. Kim S. Castañeda, «Analysis of the production conditions of geopolymer matrices from natural pozzolana and fired clay brick wastes,» *Construction and Building Materials*, vol. 214, pp. 527-538, 2019.
- [26] H. Mahmoud, Ibrahim, Y. Elsakhawy y M. S. Rizk, «Effect of utilising ferrosilicon and recycled steel fibres on ultra-high-strength concrete containing recycled granite,» *Case Studies in Construction Materials*, vol. 18, p. e01903, 2023.

- [27] J. Periasamy, S. Sivalingam, A. Ponshanmugakumar, M. Jasmin y G. Sheeba, «Experimental study on recycled coarse aggregate of concrete,» *Materials Today: Proceedings*, 2023.
- [28] N. Shatarat, A. A. Alhaq, H. Katkhuda and M. A. Jaber, "Investigation of axial compressive behavior of reinforced concrete columns using Recycled Coarse Aggregate and Recycled Asphalt Pavement aggregate," *Construction and Building Materials*, vol. 217, pp. 384-393, 2019.
- [29] H. Taherkhani and F. Noorian, "Investigating Permanent Deformation of Recycled Asphalt Concrete Containing Waste Oils as Rejuvenator Using Response Surface Methodology (RSM)," *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, vol. 45, pp. 1989-2001, 2020.
- [30] G. Duarte, M. Bravo, J. De Brito and J. Nobre , "Mechanical performance of shotcrete produced with recycled coarse aggregates from concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 210, pp. 696-708, 2019.
- [31] M. Sabău and J. Remolina Duran, "Prediction of Compressive Strength of General-Use Concrete Mixes with Recycled Concrete Aggregate," *International Journal of Pavement Research and Technology*, pp. 1-13, 2021.
- [32] N. Manhanpally y P. Nagarajan, «Mechanical and durability characteristics of GGBS-Dolomite geopolymer concrete using recycled coarse aggregates,» *Materials Today: Proceedings*, 2023.
- [33] S. S. Sui Jiang , J. L. Hao and J. N. De Carli, "Hygrothermal and mechanical performance of sustainable concrete: A simulated comparison of mix designs," *Journal of Building Engineering*, vol. 34, p. 101859, 2021.
- [34] R. S. Zidan, T. W. Ahmed and A. A. Mohammed Ali, "The combined efect of using recycled coarse aggregate and well water on normal concrete," *SN Applied Sciences*, vol. 1, no. 8, pp. 1-8, 2019.

- [35] R. K. Majhi and A. N. Nayak, "Bond, durability and microstructural characteristics of ground granulated blast furnace slag based recycled aggregate concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 212, pp. 578-595, 2019.
- [36] D.-H. Vo, M. D. Yehualaw, C.-L. Hwang, M.-C. Liao, K.-D. Tran Thi and Y.-F. Chao, "Mechanical and durability properties of recycled aggregate concrete produced from recycled and natural aggregate blended based on the Densified Mixture Design Algorithm method," *Journal of Building Engineering*, vol. 35, p. 102067, 2021.
- [37] N. Arabi , H. Meftah, H. Amara, O. Kebaili and L. Berredjem, "Valorization of recycled materials in development of self-compacting concrete: Mixing recycled concrete aggregates – Windshield waste glass aggregates," *Construction and Building Materials*, vol. 209, pp. 364-376, 2019.
- [38] B. Tang, M. Fana, Y. Sun y L. Yuan, «A comparison study of aggregate carbonation and concrete carbonation for the enhancement of recycled aggregate pervious concrete,» *Construction and Building Materials*, vol. 371, p. 130797, 2023.
- [39] S. Arora, B. Singh and B. Bhardwaj, "Strength performance of recycled aggregate concretes containing mineral admixtures and their performance prediction through various modeling techniques," *Journal of Building Engineering*, vol. 24, no. 100741, pp. 1-10, 2019.
- [40] I. Y. Hakeem, M. Alharthai, M. Amin, A. M. Zeyad, B. A. Tayeh y I. Saad Agwa, «Properties of sustainable high-strength concrete containing large quantities of industrial wastes, nanosilica and recycled aggregates,» *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 24, pp. 7444-7461, 2023.
- [41] A. Oja y L. Gupta, «Comparative study on mechanical properties of conventional and geopolymer concrete with recycled coarse aggregate,» *Materials Today: Proceedings*, vol. 28, nº 3, pp. 1403-1406, 2020.
- [42] D. Huang, Z. Liu, W. Ma, Y. Lu and S. Li, "Steel fiber-reinforced recycled aggregate concrete-filled GFRP tube columns: Axial compression performance," *Construction and Building Materials*, vol. 403, p. 133143, 2023.

- [43] A. Alawais and R. P. West, "Ultra-violet and chemical treatment of crumb rubber aggregate in a sustainable concrete mix," *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, vol. 4, no. 3, 2019.
- [44] S. Ghosn, N. Cherkawi and B. Hamad, "Studies on Hemp and Recycled Aggregate Concrete," *International Journal of Concrete Structures and Materials*, vol. 14, no. 1, pp. 1-17, 2020.
- [45] P. Rajhans, G. Chand, N. Kisku, S. K. Panda and S. Nayak, "Proposed mix design method for producing sustainable self compacting heat cured recycled aggregate concrete and its microstructural investigation," *Construction and Building Materials*, vol. 218, no. 10, pp. 568-581, 2019.
- [46] T. R. Praveenkumar, M. M. Vijayalakshmi and M. S. Meddah, "Strengths and durability performances of blended cement concrete with TiO₂ nanoparticles and rice husk ash," *Construction and Building Materials*, vol. 217, pp. 343-351, 2019.
- [47] R. Prajapati y R. Gettu, «Thermomechanical beneficiation of recycled concrete aggregates (RCA),» *Construction and Building Materials*, vol. 310, p. 125200, 2021.
- [48] R. Rodríguez Alvaro, S. Seara Paz, B. González Fonteboa, V. Ferrándiz Mas and K. Paine, "Waste-Based porous materials as water reservoirs for the internal curing of Concrete. A review," *Construction and Building Materials*, vol. 299, p. 124244, 2021.
- [49] J. Xu , X. Zhao, Y. Yu, T. Xie, G. Yang and J. Xue, "Parametric sensitivity analysis and modelling of mechanical properties Parametric sensitivity analysis and modelling of mechanical properties theory, multiple nonlinear regression and artificial neural networks," *Construction and Building Materials*, vol. 211, pp. 479-491, 2019.
- [50] I. Saribas, C. Goksu, E. Binbir and A. Ilki, "Shear-flexure interaction in RAC columns under simulated seismic actions," *Engineering Structures*, vol. 231, p. 111746, 2021.