

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“LA INFLUENCIA DE RECICLAJE DE RESIDUOS
DE CONCRETO EN LA CONSTRUCCIÓN PARA LA
ELABORACIÓN DE AGREGADOS”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Civil

Forma: Artículo científico

Autores:

Omar Alexander Beltran Guzman
Leyther Santiago Ramirez Montenegro

Asesor:

Mg. Jose Luis Neyra Torres
<https://orcid.org/0000-0002-6470-2998>

Lima - Perú

2024

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(A)	Christian Marlon Araujo Choque
	Nombre Y Apellidos

Jurado 2	Neicer Campos Vasquez
	Nombre Y Apellidos

Jurado 3	Jose Luis Neyra Torres
	Nombre y Apellidos

INFORME DE SIMILITUD



Página 2 of 40 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trnoid::1:2984674637




20% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado

Fuentes principales

- 20%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Esta investigación se lo dedico a Dios por las bendiciones
que nos otorga cada día. A mis familiares por su
apoyo moral permanente. A mis maestros
por guiarnos por el sendero del bien en todo momento.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Privada del Norte por abrirme
sus puertas para formarme profesionalmente.

Así mismo a mi asesor que se encargó de
resolver todas mis dudas y motivarme a culminar
con mi investigación.

TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
INDICE DE TABLAS	7
INDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	15
CAPÍTULO III: RESULTADOS	17
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	26
REFERENCIAS	31

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de los ensayos de compresión por grupo	18
Tabla 2. Dosificación de volumen de material para la elaboración del concreto	19
Tabla 3. Mediciones promedio de la resistencia a la compresión en probetas	20
Tabla 4. Composición química y características físicas del cemento	21
Tabla 5. Especificación química y físicas del cemento.....	22
Tabla 6. Especificaciones físicas de los agregados gruesos y finos	23
Tabla 7. Especificaciones físicas de los agregados gruesos y finos	23
Tabla 8. Resultados de costos del concreto convencional vs concreto de reciclaje de residuos	25
Tabla 9. Comparación de resistencias con edades respectivas.....	26
Tabla 10. Comparación de curados en MPA de los concretos reutilizados	27
Tabla 11. Comparación de resistencias de los concretos reutilizables	29

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Perfil granulométrico de la mezcla de materiales Fuente: Elaboración propia	17
Figura 2 Análisis comparativo de los resultados Fuente: Elaboración propia	19
Figura 3. Promedio de la resistencia a la compresión del concreto convencional frente al concreto con agregados reciclados Fuente: Elaboración propia	20
Figura 4. Resistencia a la compresión de concretos Fuente: Elaboración propia.....	24
Figura 5. Evolución de permeabilidad a cloruros respecto al tiempo de curado Fuente: Elaboración propia	25
Figura 6. Comparación de utilización de concretos Fuente: Elaboración propia	29

RESUMEN

Este estudio se enfoca en el análisis y la evaluación de distintos métodos para la utilización de residuos de concreto reciclado en la industria de la construcción, con el objetivo de comparar su desempeño frente a los materiales convencionales. La investigación abarca una revisión exhaustiva de las técnicas de reciclaje y sus aplicaciones en la producción de agregados reciclados, incluyendo procesos como la trituración, clasificación y el tratamiento de los residuos para mejorar sus propiedades. Se utilizan cuadros comparativos para analizar cómo los agregados reciclados, obtenidos a partir de residuos de concreto, se comportan en comparación con los agregados tradicionales en términos de resistencia y durabilidad. Los resultados revelan que, con un diseño adecuado de mezclas y un proceso de curado apropiado, los agregados reciclados pueden alcanzar niveles de resistencia comparables a los de los agregados convencionales. Este hallazgo respalda la viabilidad del reciclaje de concreto como una alternativa efectiva y sostenible en la construcción. La investigación también destaca los beneficios ambientales del reciclaje, como la reducción de la generación de residuos y la conservación de recursos naturales.

PALABRAS CLAVES: Residuos de construcción, agregados reciclados, reciclaje de concreto, resistencia, curado.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La presencia de residuos de demolición tiene un efecto notable en la industria de la construcción, ya que contribuye significativamente al desarrollo global. Estos residuos pueden consistir en materiales inorgánicos que tienen una descomposición lenta, por lo que resulta beneficioso aprovecharlos para reducir de manera considerable la contaminación ambiental. En el ámbito de la construcción, los agregados representan una proporción considerable del volumen total del concreto. En algunos países, se está adoptando la práctica de reutilizar este producto con el propósito de satisfacer una demanda importante en la industria de la construcción, emergiendo como una de las principales alternativas para reducir la contaminación en este sector a nivel mundial.

En la actualidad el medio ambiente desempeña un papel crucial en la sociedad y tiene un impacto directo en la industria de la construcción. Por esta razón, en los últimos años se han llevado a cabo diversos estudios con el objetivo de obtener agregados no convencionales. Estos estudios buscan contribuir a la reducción de la sobreexplotación de los recursos naturales y disminuir el impacto ambiental, especialmente dado que estos recursos no son renovables. Además, se ha trabajado en el desarrollo de iniciativas que evalúan la viabilidad del reciclaje de residuos de construcción, centrándose en la reutilización de residuos provenientes del reciclado del concreto [1].

También es conocido que el concreto es uno de los materiales más ampliamente producidos y empleados a nivel mundial, tanto en la construcción de proyectos civiles como militares. Sin embargo, también es responsable de generar considerables cantidades de residuos sólidos vinculados a los procesos de demolición y desecho [2].

En los últimos años, se ha estado evaluando y mejorando la utilización de agregados de concreto reciclado como una de las materias primas más cruciales para reducir la contaminación en el sector de la construcción, y estos esfuerzos han arrojado resultados positivos. Investigaciones, incluyendo el primer estudio realizado en los Estados Unidos después del de Gluzhge, han demostrado la viabilidad del empleo de concreto reciclado, proveniente principalmente de infraestructuras viales o pavimentos, y en segundo lugar de edificaciones o viviendas. Este material reciclado puede ser utilizado en mezclas o como agregados. Después de la posguerra del siglo XX en Europa, donde se produjeron grandes cantidades de escombros debido a los bombardeos, se facilitó el uso de estos escombros, especialmente en países como el Reino Unido, Alemania y Rusia [12].

En América Latina, específicamente en Colombia, se generan alrededor de 22 millones de toneladas de residuos en la industria de la construcción [9]. Además, la Unión Europea señala una elevada necesidad de residuos de concreto, alcanzando cerca de 333 millones de toneladas de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), a la par de la carencia de agregados naturales [10]. En la tabla siguiente, se puede apreciar el porcentaje de material reciclado en los procesos de demolición y construcción.

En Latinoamérica, específicamente en Bogotá, la cantidad de desechos generados por demolición alcanza los 15 millones de metros cúbicos anuales. En respuesta a esta situación, se llevaron a cabo evaluaciones de diversas propiedades físicas y residuos con el objetivo de reutilizarlos como sustitutos del cemento, en proporciones que variaron entre el 10% y el 50%. Estos estudios evaluaron la viabilidad de alcanzar resistencias del 30% al 50%, confirmando la posibilidad de producir concretos autocompactantes. Esta práctica no solo reduce costos, sino que también beneficia al medio ambiente [13].

La administración de los materiales de concreto generados por demoliciones en proyectos de construcción se vuelve una prioridad directa para las empresas, dado que promueve el desarrollo sostenible a niveles nacionales e internacionales. Este enfoque busca aumentar la conciencia sobre la reducción de residuos en el sector de la construcción en América Latina, donde habitualmente no se adoptan sistemas que beneficien tanto a las empresas como al medio ambiente [15].

La creciente demanda de materiales de concreto plantea un desafío debido a la escasez de fuentes disponibles. Por lo tanto, se considera que la gestión de residuos, tanto de construcción como de demolición, es complicada de alguna manera. Al estudiar la posibilidad de reutilizar todos los tipos de residuos como agregado, es necesario asegurar que cumplan con los mismos componentes y resistencia requeridos según las normativas específicas de cada país [16]. La eficacia también se logra mediante el uso de aditivos impermeabilizantes, los cuales buscan mejorar la durabilidad y potenciar las propiedades físicas y mecánicas del concreto que utiliza agregados naturales, específicamente en el caso de los concretos reciclables [17].

La principal preocupación se relaciona con la acumulación masiva de residuos de concreto generados en las construcciones en el territorio peruano. Llegamos a la conclusión de que podríamos reutilizar estos residuos de manera significativa en otros proyectos, generando así beneficios. Sin embargo, en nuestro país, estos residuos de construcción a menudo no se emplean; en su lugar, se descartan en áreas desoladas o se utilizan como relleno en pisos o aceras. Esta situación nos lleva a cuestionarnos: ¿Por qué no se utilizan los residuos de concreto como agregados en la industria de la construcción en Lima? En otros países, este enfoque se está adoptando de manera significativa, beneficiando a numerosas familias e industrias de la construcción.

Para analizar el impacto del reciclaje de residuos de concreto en la construcción, es esencial tener en cuenta que el 40% de todos los recursos disponibles se emplea en el sector de la construcción [3]. A nivel nacional, se observa un incremento del 13.63% en diversas obras de construcción en el Perú, impulsado por el aumento del consumo interno de cemento en un 11.90% y un crecimiento del 20.34% en la realización de proyectos constructivos [4]. En el Perú, existe la normativa conocida como la Ley N° 27314, que establece las disposiciones generales sobre residuos sólidos, detallando las diversas responsabilidades de los ciudadanos para promover la preservación del medio ambiente. Asimismo, el "Decreto Supremo N° 003-2013-Vivienda" proporciona directrices sobre la gestión de residuos sólidos de concreto generados en proyectos de construcción. Por su parte, se sostiene que cada habitante produce anualmente alrededor de 450 kg de desechos provenientes de la construcción. [5]

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), la producción en el sector de la construcción experimentó un aumento del 23.07% en el año 2020. En Lima, una zona con acceso al litoral marino, los desechos relacionados con la construcción constituyeron el 53.7% de todas las denuncias ambientales registradas en ese periodo [7]. En Europa, la gestión de los residuos de la industria de la construcción representa un importante desafío. En comparación, Estados Unidos acumula alrededor de 534 millones de toneladas, aproximadamente un 67%, mientras que China alcanza aproximadamente 6360 millones de toneladas, equivalente a casi el 40% de los residuos generados [8].

Entre los problemas analizados, se destaca que los cambios climáticos están impulsando una mayor conciencia sobre la reutilización de materiales de construcción. En la actualidad, el concreto se ha convertido en el producto más empleado en diversas empresas del sector de la construcción, llegando a alcanzar unos 25 millones de toneladas anuales a nivel mundial. Esto

resalta que los desechos provenientes de las construcciones seguirán siendo una considerable proporción, contribuyendo aproximadamente al 40% de los residuos generados en procesos de demolición a nivel global [18].

Asimismo, en Perú, la población se dedica a la autoconstrucción empleando los materiales más económicos. Sin embargo, el porcentaje de desperdicios en las construcciones se eleva considerablemente debido a factores como el corte ineficiente de unidades, negligencias y el uso de medidas provisionales. Esta situación resulta en un aumento significativo de los costos en diversas obras en el país, llegando a incrementar el costo total del proyecto en un 30% [20].

Entonces, al tener en cuenta que hay un aumento evidente en los presupuestos de las obras, especialmente en la capital Lima, donde se concentran en gran medida las capacidades y producciones nacionales, siendo un pilar crucial en términos económicos, políticos y sociales para el país, es fundamental buscar un mejor desarrollo y adoptar nuevas tecnologías. Con el fin de optimizar gastos y gestionar de manera más efectiva los recursos, sería más beneficioso considerar la reutilización del concreto. Esto no solo permitiría mejorar y satisfacer necesidades fundamentales para las empresas, sino que también ofrecería ventajas significativas para el medio ambiente. Por lo que, se plantea la siguiente pregunta: ¿Cómo influye el análisis de los residuos en el proceso de sustitución de agregados en la fabricación de hormigón utilizando residuos de concreto? Y para responder a nuestra pregunta planteada nos proponemos el siguiente objetivo: Analizar los residuos orientado a la sustitución de agregados en la fabricación de hormigón por los residuos de concreto.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

La metodología de este estudio está diseñada para evaluar de manera integral la influencia del reciclaje de residuos de concreto en la elaboración de agregados para la construcción.

En primer lugar, se lleva a cabo una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre el reciclaje de residuos de concreto y su aplicación en la industria de la construcción. Esta revisión tiene como objetivo identificar las técnicas de reciclaje más utilizadas, las propiedades de los agregados reciclados y los beneficios ambientales y económicos asociados con su uso. Se investigan estudios previos y normativas relevantes para establecer un marco de referencia sólido.

Posteriormente, se procede con el diseño experimental, que comienza con la recolección de residuos de concreto de diversas fuentes, como demoliciones y renovaciones. Estas muestras de residuos se someten a un proceso de trituración y clasificación para convertirlas en agregados reciclados. Simultáneamente, se obtienen muestras de agregados convencionales para servir como referencia en las comparaciones posteriores.

Se diseñan mezclas de concreto que incluyen diferentes proporciones de agregados reciclados y convencionales. Estas mezclas se preparan siguiendo las normativas estándar y se curan durante períodos establecidos, como 7, 14 y 28 días. Durante el proceso de curado, se realizan pruebas regulares para medir y registrar las propiedades físicas y mecánicas del concreto, como la resistencia a la compresión, tracción y flexión, así como la densidad y absorción de agua de los agregados reciclados.

Una vez completadas las pruebas, se procede al análisis de los datos. Se comparan los resultados obtenidos para los agregados reciclados con los de los agregados convencionales utilizando cuadros comparativos y gráficos. Este análisis permite evaluar la equivalencia en términos de resistencia y durabilidad, así como identificar posibles diferencias significativas.

Además de las pruebas técnicas, se evalúan los beneficios ambientales y económicos del uso de agregados reciclados. Se estima la reducción en la generación de residuos y la conservación de recursos naturales, así como los costos asociados con la producción de agregados reciclados en comparación con los convencionales. Por esta razón, nuestra investigación se enfoca en examinar los residuos de concreto con el propósito de utilizarlos como agregados en proyectos de construcción. Este análisis investiga el comportamiento de los materiales, centrándose en la sustitución de agregados en función de la compresión y resistencia a la flexión del concreto. Para lograrlo, se evaluaron los tamaños retenidos en tamices de 1/2” y 3/8”, se sometieron a días de curado y se realizaron pruebas de densidad, contenido de vacíos y resistencia a la compresión. Los resultados indicaron que la resistencia de los materiales era adecuada para su aplicación.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Se llevó a cabo un análisis granulométrico, siguiendo las normativas NTP 400.037 y ASTM C 136, que permitieron examinar las propiedades físicas. Asimismo, el laboratorio donde se desarrolló las distintas pruebas contaba con la certificación de ISO 9001:2015 para garantizar la credibilidad de los datos. Para ello, se realizó un diseño de mezclas con probetas que contenían un 30% de agregado, actuando como sustituto del agregado grueso. Se generaron utilizando una bolsa de aditivo de 250 ml de superplastificante (Sika 290 N) para algunas probetas, mientras que otras 12 utilizaron 500 ml. Los 12 restantes se prepararon de acuerdo con la muestra del patrón. Este proceso se llevó a cabo mediante los ensayos del cono de Abrams y de compresión, con tres repeticiones para cada elaboración y considerando sus respectivas edades de una, cuatro, doce y veinte semanas.

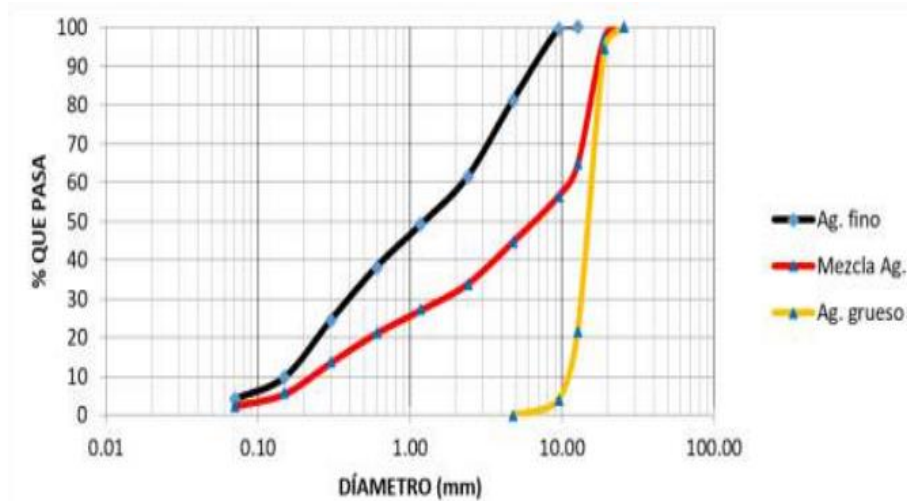


Figura 1. Perfil granulométrico de la mezcla de materiales Fuente: Elaboración propia

Los resultados, según el método Faury, indican que se ha realizado un diseño de mezclas adecuado para las condiciones requeridas, considerando 300 kg de cemento por metro cúbico de concreto y un asentamiento de 8, 4 y 2 pulgadas durante la fabricación de las probetas.

Tabla 1. Resultados de los ensayos de compresión por grupo

GRUPO SIN ADITIVO NI AGREGADO RECICLADO									
N°	ÁREA	PRIMERA SEMANA		CUARTA SEMANA		SEMANA DOCE		SEMANA VEINTE	
		CARGA A 1	RESIST.	CARGA 2	RESIST.	CARGA 3	RESIS T.	CAR GA 4	RESI ST.
	CM ²	KG	KG/CM ²	KG	KG/CM ²	KG	KG/C M ²	KG	KG/C M ²
1	181.45	27500	151.56	41500	228.71	53000	292.09	54000	297.6
2	181.45	24500	135.02	40500	223.2	52000	286.58	53500	294.85
3	181.45	25000	137.78	47500	261.78	51000	281.07	52500	289.34
PROMEDIO			141.45		237.90		286.58		293.93
GRUPO ADITIVO 500 ML/BOLSA CEMENTO, 30% DE AGREGADO RECICLADO REEMPLAZO DE AGREGADO GRUESO									
1	181.45	20000	110.22	40000	220.45	53000	292.09	54000	311.38
2	181.45	18000	99.2	41000	225.96	52000	286.58	53500	297.6
3	181.45	19000	104.71	43000	236.98	51500	283.82	52500	303.11
PROMEDIO			104.71		227.80		287.50		304.03
GRUPO ADITIVO 250 ML/BOLSA CEMENTO, 30% DE AGREGADO RECICLADO REEMPLAZO DE AGREGADO GRUESO									
1	181.45	22000	121.25	45000	248.00	54000	297.6	57500	316.89
2	181.45	21000	115.73	45000	248.00	51000	281.07	58500	322.4
3	181.45	21500	118.49	46500	256.27	53000	292.09	60500	333.43
PROMEDIO			118.49		250.76		290.25		324.24

Fuente: Elaboración propia

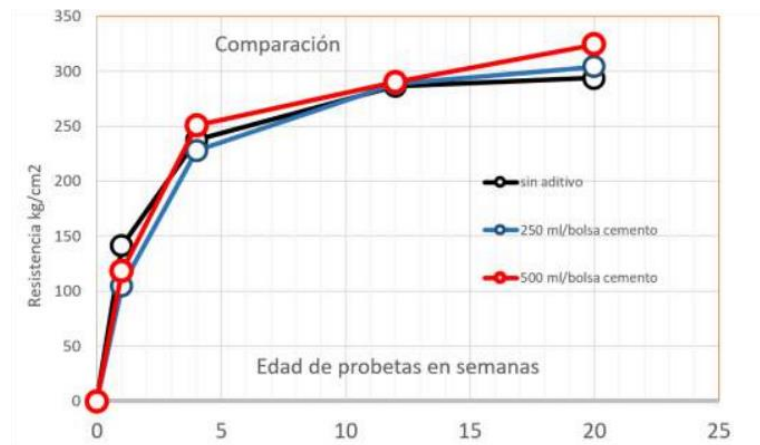


Figura 2 Análisis comparativo de los resultados Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, se logró identificar el impacto de la utilización de agregados en las construcciones de viviendas en Huamachuco. En esta situación, se utilizaron materiales tales como cemento Portland tipo I, gravilla de ½” y ¾”, arena gruesa, y agregados reciclados de concreto, sustituyendo adecuadamente porcentajes de volúmenes. Todo este proceso se llevó a cabo siguiendo las pautas establecidas por la Norma Técnica Peruana 339.033, con ensayos de compresión de probetas realizados después de un periodo de curado de 7, 14 y 28 días, conforme al ASTM C39. Para obtener los resultados se utilizaron el 50-75 y 100% de agregados reciclados de concretos con un porcentaje de cemento Portland Tipo I.

Tabla 2. Dosificación de volumen de material para la elaboración del concreto

MEZCLA	CANTIDAD DE MATERIALES EN VOLUMEN (M3)		
	PIEDRA CHANCADA	ARENA GRUESA	AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO
0 – R	2	2	0
50 – R	1	1	2
75 – R	0	1	3
100 – R	0	0	4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Mediciones promedio de la resistencia a la compresión en probetas

MEZCLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO F`C (KG/CM2)		
	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
0 – R	158,65	196,64	217,11
50 – R	152,89	189,13	200,18
75 – R	146,90	180,59	194,28
100 – R	141,51	176,55	185,77

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se puede afirmar que la resistencia experimentará un aumento directamente proporcional con el tiempo en los casos analizados, alcanzando un poco más de 200 kg/cm². Se determinó que el período de 28 días es crítico, ya que es durante este lapso cuando se supera la resistencia. Por otro lado, en el concreto ACR 100%, se observa una tendencia lineal directa a los 14 días.

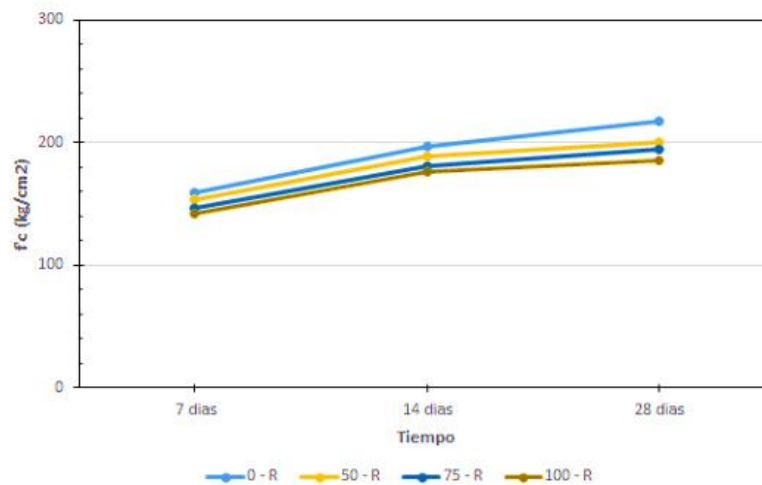


Figura 3. Promedio de la resistencia a la compresión del concreto convencional frente al concreto con agregados reciclados Fuente: Elaboración propia

En otra instancia, se emplearon agregados reciclados obtenidos a partir de residuos de construcción y demolición. Se aplicaron dos métodos de tratamiento a estos agregados reciclados (AGR): el primer método consistió en utilizar un molino de bolas, mientras que el segundo implicó la inmersión en una solución ácida. En estado fresco, se evaluó la capacidad de flujo, el paso y el llenado mediante el cono de Abrams para determinar el asentamiento. Además, se utilizó embudo en V y caja en L. Luego, se procedió a endurecer todo el proceso para realizar las respectivas pruebas de resistencia, tracción y flexión. En este análisis, se empleó un OPC tipo I (ASTM C150) con un tamaño de partícula de 22.7 μm y una densidad de 3100 kg/m^3 . La referencia se hizo en base a una composición química obtenida mediante fluorescencia de rayos X. Además, se incorporó mineral con el objetivo de reducir el contenido de OPC en el CAC.

Tabla 4. Composición química y características físicas del cemento

ELEMENTO/OXIDO	OPC(%)
SiO ₂	19,39
Al ₂ O ₃	4,13
CaO	55,66
Fe ₂ O ₃	4,7
MgO	1,71
Na ₂ O	0,32
K ₂ O	0,28
SO ₃	3,9
P.I.	9,21

Fuente: Elaboración propia

Las características mecánicas del CAC se ven impactadas por el tipo de árido reciclado empleado, especialmente en las mezclas de CAC y AGR. Esta disparidad se intensificó aún

más cuando el agregado grueso natural fue completamente sustituido por árido reciclado. No obstante, los CAC con 100% de AGR1 y AGRT2 demostraron resistencias a la compresión muy similares a las alcanzadas en los CAC de referencia. La resistencia inherente a la tracción y la flexión de diversos CACs exhibió un comportamiento similar al observado en la compresión, sugiriendo que AGR y AGT con baja reposición de CAC (20% y 40%) podrían cumplir con los requisitos mecánicos del hormigón utilizado en estructuras civiles.

Tabla 5. Especificación química y físicas del cemento

MEZCLA	DENSIDAD [KG/M3]		ABSORCIÓN [%]		POROSIDAD [%]	
	28	56	28 DÍAS	56 DÍAS	28 DÍAS	56 DÍAS
	DÍAS	DÍAS				
AGN-100%	2678	2719	7,14	7,08	16,05	15,58
AGN-20%	2616	2622	7,98	7,91	17,27	17,17
AGN-40%	2604	2622	8,55	8,53	18,21	18,20
AGN-100%	2336	2408	10,58	10,33	20,01	19,92
AGN-20%	2640	2672	8,02	7,62	17,67	16,69
AGN-40%	2610	2651	8,11	7,80	17,57	17,22
AGN-100%	2593	2627	9,54	9,15	19,48	18,92
AGN-20%	2607	2623	8,19	7,78	17,03	16,41
AGN-40%	2629	2643	8,19	8,00	17,80	17,16
AGN-100%	2550	2607	9,40	9,15	19,58	18,95

Fuente: Elaboración propia

Además, se examina la factibilidad técnica de emplear agregado fino proveniente de demoliciones en la construcción, con el propósito de mejorar la resistencia, mediante una comparación con concreto que utiliza agregado fino natural como referencia.

Tabla 6. Especificaciones físicas de los agregados gruesos y finos

ENSAYO	NORMA	AFN	ARF	AGN
DENSIDAD APARENTE (BULK) (G/CM ³)	NTC 237	2,64	2,59	2,76
ABSORCIÓN (%)	NTC 237	2,1	7,3	1,5
MASA UNITARIA SUELTA (G/CM ³)	NTC 92	1,58	1,40	1,27
MASA UNITARIA COMPACTA (G/CM ³)	NTC 92	1,70	1,74	1,47
MÓDULO DE FINURA	NTC 77	3,4	3,8	-
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	NTC 77	-	-	3/4"(19,05 MM)
TAMAÑO MÁXIMO	NTC 77	-	-	1"(25,4 MM)
IMPUREZAS ORGÁNICAS	NTC 127	#2	#2	-

Fuente: Elaboración propia

Con este fin, las curvas de distribución resultaron ser muy parecidas entre sí, e incluso podríamos afirmar que exhibieron una similitud considerable según la norma ASTM C-33. Se realizó la sustitución en los concretos utilizando un 20% y un 40% en masa de ARF, específicamente en los casos de CARF20 y CARF40. Se logró establecer un valor de asentamiento en un rango de 65-100 mm y un peso equivalente al 1,2% del cemento.

Tabla 7. Especificaciones físicas de los agregados gruesos y finos

MATERIAL (KG/M ³)	CAR.F-0	CAR.F-20	CAR.F-40
CEMENT.	408	408	408
H ₂ O	212	212	212

A.G.N	565	648	644
A.F.N	1009	777	579
A.R.F	0.0	181	383
S.P	4,89	4,89	4,89

Fuente: Elaboración propia

Con este propósito, se llevaron a cabo pruebas de succión capilar que evidencian una resistencia a la penetración de agua, representada en el gráfico y el coeficiente de permeabilidad. Se observó que los concretos que incorporan agregados reciclados presentan una resistencia mayor en comparación con los concretos que utilizan agregado natural. Este comportamiento es óptimo para la demostración de las mezclas. Es importante destacar que, en ambas muestras, no hay diferencias significativas; por el contrario, muestran un comportamiento que indica un efecto de relleno, es decir, proporcionan durabilidad al concreto.

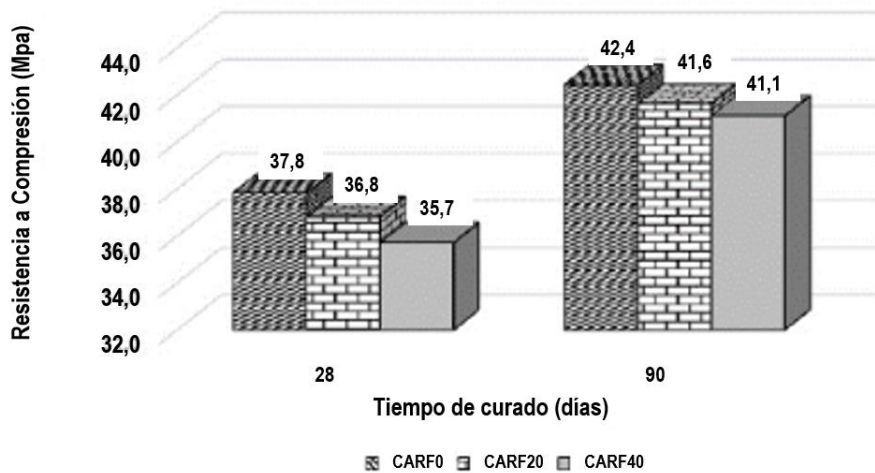


Figura 4. Resistencia a la compresión de concretos Fuente: Elaboración propia

Se logra obtener una resistencia a la compresión adecuada para las distintas edades evaluadas, específicamente a los 28 y 90 días. Se puede describir que estas resistencias fueron prácticamente similares a las obtenidas en los concretos de referencia. En este sentido, las

muestras alcanzaron un promedio de resistencia con un proceso de curado del 97% y 98%. Según estos resultados, la consistencia de los concretos examinados no impacta en la sustitución del 40% de ARF. Esto evidencia que, a pesar de presentar un aumento en la permeabilidad y una disminución en la resistencia a la penetración del ion cloruro, las reacciones resultan en un aumento de la resistencia.

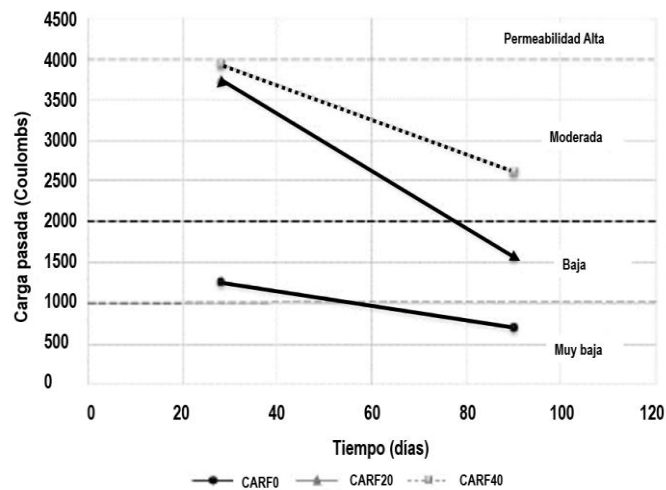


Figura 5. Evolución de permeabilidad a cloruros respecto al tiempo de curado Fuente: Elaboración propia

Para obtener la diferencia precios se realizó una evaluación económica actual sobre el costo de concreto convencional y el costo de concreto de reciclaje de residuos.

Tabla 8. Resultados de costos del concreto convencional vs concreto de reciclaje de residuos

RESULTADO DE COSTOS				
TIPO DE CONCRETO	METRADO (M ³)	PRECIO (S/.)	TOTAL (S/.)	DIFERENCIA (S/.)
CONVENCIONAL	3	182.00	546.00	214.50
RECICLADO	3	110.50	331.50	

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En esta etapa, nuestro enfoque se centró en analizar la influencia de los residuos de concreto en relación con la resistencia que podrían manifestar. Para ello, se llevó a cabo un análisis directo de las propiedades físicas y químicas, con el propósito de evaluar la viabilidad de la reutilización de este producto como un beneficio en el sector constructivo.

4.1 Discusión

Los estudios referenciados coinciden tanto en el análisis de productos como en el de materiales. Ambos emplean el mismo ensayo para mantener una proporción similar, utilizando el concreto tradicional como punto de referencia.

Tabla 9. Comparación de resistencias con edades respectivas

EIDADES	MEZCLAS	
	0-R (KG/CM2)	100-R(KG/CM2)
4 DÍAS	158.65	237.90
7 DÍAS		
12 DÍAS	196.64	286.58
14 DÍAS		
20 DÍAS	217.11	293.93
28 DÍAS		

Fuente: Elaboración propia

Observamos que las comparaciones de resistencias muestran variaciones mínimas. En una de las comparaciones, se evidencia directamente una resistencia tradicional, mientras que en la otra se utiliza un aditivo para mejorarla. Esto revela que la resistencia también puede mejorarse mediante el uso del aditivo adecuado.

La originalidad de este trabajo radica en las investigaciones sobre el efecto de la adición de finos reciclados en las propiedades estructurales de los hormigones reciclados. Ambos materiales se compararon con el hormigón convencional como referencia [23]. El entendimiento de los factores que impactan en la energía requerida durante la fabricación de hormigón y la habilidad para optimizar el consumo de energía y las propiedades del hormigón modificado podrían facilitar la incorporación de este tipo de hormigón en la industria de la construcción [24].

Se examinaron los impactos de parámetros independientes en el peso unitario y la resistencia a la compresión en diversas etapas, y los resultados se presentan de manera gráfica. El diseño experimental, junto con los parámetros de respuesta y coeficientes de los polinomios derivados de los resultados, permitieron prever las respuestas. Los análisis indicaron que el consumo de energía, el peso unitario y la resistencia a la compresión pueden explicarse mediante modelos lineales [25].

Como resultado, se investigaron de manera experimental los efectos de los aditivos impermeabilizantes en la permeabilidad del hormigón con áridos reciclados, evaluando la resistencia a la penetración de iones de cloruro y la profundidad de penetración del agua bajo presión[17].

Tabla 10. Comparación de curados en MPA de los concretos reutilizados

	EN ESTUDIO 21	EN ESTUDIO 22
28 DÍAS DE CURADO	36,72 PROMEDIO	38,50 PROMEDIO

Fuente: Elaboración propia

No obstante, al utilizar evaluaciones de métodos sencillos y económicos, como el control de la relación agua-cemento, la adecuación del contenido de humedad de los agregados y diversas técnicas de mezclado, es posible potenciar el desempeño del concreto reciclado para cumplir con los estándares de calidad del concreto. La resistencia a la compresión emerge como la característica más influyente del hormigón, impactando en aspectos mecánicos, durabilidad y otras propiedades de este material [25].

La investigación sobre las propiedades de los Áridos Reciclados (AR) y los aspectos fundamentales del hormigón RA ha evolucionado en las últimas décadas, resultando en la formulación de normativas o recomendaciones por parte de varios países para respaldar su utilización. En todos los casos, tanto la sustitución total como parcial de los Áridos Naturales (NA) por alternativas recicladas ha demostrado ser una elección factible. Este estudio se centra en los impactos de proporciones variables de reemplazo de agregados gruesos y finos reciclados en el comportamiento a corte de vigas de hormigón armado. La originalidad de este trabajo radica en las investigaciones sobre el efecto de la adición de finos reciclados en las propiedades estructurales de los hormigones reciclados.

Además, para llevar a cabo el proceso de reducción de tamaño de manera eficaz, resulta crucial conocer su índice de trabajo para diseñar y estimar los costos de energía asociados con el tratamiento posterior. A pesar de que la caracterización fisicoquímica y la determinación del inventario pueden ser procedimientos laboriosos y demorados, los resultados obtenidos no solo sirven como punto de partida para identificar los residuos con mayor potencial de reciclaje, sino también para optimizar prototipos destinados a la reutilización [11].

Tabla 11. Comparación de resistencias de los concretos reutilizables

	(KG/CM ²)
RESISTENCIA (18)	220.10
RESISTENCIA (19)	293.93
RESISTENCIA (21)	290.00
RESISTENCIA (22)	310.20

Fuente: Elaboración propia

Al interpretar, se deduce que el concreto integrado presenta una permeabilidad más elevada. Es fundamental considerar que la pequeña reducción en la resistencia a la compresión evidencia el impacto en el rendimiento mecánico al realizar la mezcla compactada. Por otro lado, hemos recopilado el porcentaje utilizado en varios estudios, tomando como referencia el concreto convencional.

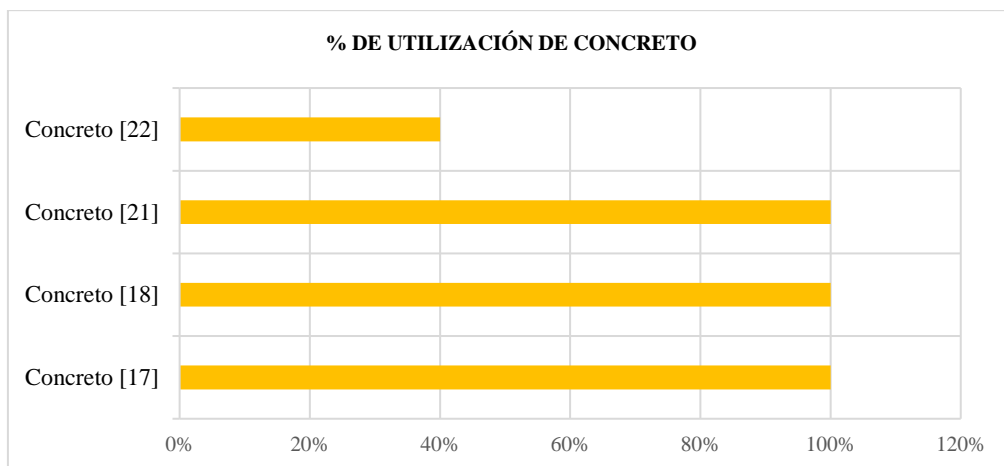


Figura 6. Comparación de utilización de concretos Fuente: Elaboración propia

En consecuencia, podemos afirmar que la mayoría de las investigaciones optaron por sustituir completamente el concreto, lo cual es un indicador positivo para nuestra investigación, demostrando así los significativos beneficios que los residuos de concreto pueden brindar.

4.2 Conclusiones

Los resultados ofrecen una perspectiva alentadora para nuestra investigación, ya que concluimos que este proceso puede ser un método innovador y relevante que captará la atención del ámbito científico, enfocándose principalmente en la reutilización y el reciclaje desde una perspectiva ecológica y laboral para el sector de la construcción. En cuanto a las diversas respuestas y resultados obtenidos, se destaca que esto puede representar e influir directamente en una gestión eficiente de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), estableciendo relaciones positivas con el medio ambiente. Esto sugiere que dicho material podría ser óptimo y beneficioso para futuros proyectos en nuestro país.

Respecto a las diferentes respuestas y resultados obtenidos, que esto puede representar e influir directamente a una gestión eficiente de RCD y las relaciones con el medio ambiente, indicando un vínculo positivo que indican que este material puede ser óptimo y beneficioso para futuros trabajos en nuestro país.

En este trabajo se resumió el efecto del contenido de concreto reciclado, así como el comportamiento físico y químico que pueden manifestar al agregar este material para un uso adicional, mejorando el rendimiento. La conclusión es que es apropiado agregar el mortero viejo a una tecnología de producción superficial para su reutilización, siempre y cuando se elija una mezcla adecuada. La evaluación adecuada de este tipo de concreto se basa en la selección de la mezcla correcta con componentes adicionales como aditivos químicos que le otorgan una mayor resistencia física para posibles y mejores proyectos en sustitución de los agregados. La idea es utilizar la mayor proporción posible en la mezcla para que el proyecto sea exitoso en el futuro.

REFERENCIAS

- [1] S. Ceballos, D. Gonzáles, and J. Sánchez, “Reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición (RC&D) Generados en la Universidad del Valle Sede Meléndez para la Fabricación de Adoquines,” *Rev. ION*, vol. 34, 2020, [Online]. Available: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/12204>
- [2] G. Valdéz, Ó. Reyes, and G. Panuela, “Aplicación de los residuos de hormigón en materiales de construcción,” *Ing. y Desarro.*, vol. 29, 2011, [Online]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612011000100003
- [3] R. Martins, M. T. Pereira, L. P. Ferreira, J. . Sá, and F. J. . Silva, “Warehouse operations logistics improvement in a cork stopper factory,” *Procedia Manuf.*, 2020, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978920321144>
- [4] C. y S. Ministerio de Vivienda, *Panorama Económico Nacional y el sector construcción*. Lima, Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019. <https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/consumo-interno-de-cemento-crecio-215-en-julio-del-presente-ano-10927/>
- [5] A. Hernández, “Administración y Manejo de los Desechos en Proyectos de Construcción. Etapa 2 Alternativas de Manejo,” *Cent. Investig. en vivienda y construcción CIVCO*, 2007, [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/2238/492>
- [6] A. Yachachi, G. Segovia, and N. Chiclla, “Impacto de los residuos de construcción y demolición en la zona de reglamentación especial de los Pantanos de Villa de Lima, Perú” *Paid. XXI*, vol. 12, 2022, [Online]. Available: <https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Paideia/article/view/5033/6482>
- [7] M. Herrera, “Construction and demolition debris on the marine coast of Metropolitan Lima (Peru): recommendations for its proper management,” *South Sustain.*, vol. 3, 2020, [Online]. Available: <https://revistas.cientifica.edu.pe/index.php/southsustainability/article/view/1055>
- [8] L. López, X. Roca, and S. Gassó, “The circular economy in the construction and demolition waste sector – A review and an integrative model approach,” *J. Clean. Prod.*, vol. 248, 2020.

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619341083>
- [9] Minambiente, “Minambiente reglamenta manejo y disposición de residuos de construcción y escombros,” *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*, 2023.
<https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros>
- [10] M. Menegaki and D. Damigos, “A review on current situation and challenges of construction and demolition waste management,” *Curr. Opin. Green Sustain. Chem.*, vol. 13, 2018.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S245222361830018X>
- [11] L. Chica and J. Betrán, “Caracterización de residuos de demolición y construcción para la identificación de su potencial de reúso,” *DYNA*, vol. 85, 2018.
<https://www.redalyc.org/journal/496/49659032040/html/>
- [12] W. Martínez *et al.*, “Concreto reciclado: una revisión,” *Rev. ALCONPAT*, vol. 5, 2015.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-68352015000300235
- [13] Y. Silva, R. Robayo, P. Matthey, and S. Delvasto, “Obtención de concretos autocompactantes empleando residuos de demolición,” *Rev. Latinoam. Metal. y Mater.*, vol. 35, 2015.
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522015000100012
- [14] C. Pacheco, L. Fuentes, É. Sánchez, and H. Rondón, “Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión,” *Ing. y Desarro.*, vol. 35, 2017.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85252030015>
- [15] M. Sánchez, J. Cruz, and P. Maldonado, “Gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina: un análisis desde la perspectiva de la generación,” *Rev. Finanz. y Política Económica*, vol. 11, 2019.
<https://www.redalyc.org/journal/3235/323564772006/html/>
- [16] N. Cruz and D. Ramírez, “Evaluación de muestras del agregado grueso proveniente de residuos de concreto para producir nuevos concretos,” *Métodos Mater.*, vol. 12, 2022.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8719376>
- [17] P. Matar and J. Master, “Effects of waterproofing admixture on the compressive strength

- and permeability of recycled aggregate concrete,” *J. Build. Eng.*, vol. 32, 2020, [Online]. Available:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S235271022030749X?via%3Dihub>
- [18] J. Elías, J. Flores, R. Barrera, and C. Reyna, “Efecto de utilización de agregados de concreto reciclado sobre el ambiente y la construcción de viviendas en la ciudad de Huamachuco,” *Puriq*, vol. 2, 2020.
<https://www.revistas.unah.edu.pe/index.php/puriq/article/view/68>
- [19] J. Amorós, M. Centurión, and M. Hoyos, “Uso de material reciclado en la fabricación de concreto,” *Caxamarca*, vol. 16, 2017.
<https://revistas.unc.edu.pe/index.php/Caxamarca/article/view/16>
- [20] C. Huamani, J. Tudela, A. Huamani, “Gestión de residuos sólidos de la ciudad de Juliaca - Puno - Perú,” *Revista de Investigaciones Altoandinas*, vol. 22, 2020.
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2313-29572020000100106
- [21] Y. Silva, A. Arcilla, S. Delvasto “Efecto de tratamientos en agregados reciclados sobre las propiedades en estado fresco y endurecido de concretos autocompactantes,” *Revista EIA*, vol. 19, 2022.
<https://doi.org/10.24050/reia.v19i38.1547>
- [22] D. Burgos, Á. Guzmán, and N. Torres, “Desempeño mecánico y durable de concretos que incorporan agregado reciclado fino comercial,” *Rev. EIA*, vol. 16, 2019, [Online]. Available:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372019000200167
- [23] F. Mahmoud, R. Boissiere, C. Mercier, and A. Khelil, “Shear behavior of reinforced concrete beams made from recycled coarse and fine aggregates,” *Structures*, vol. 25, 2020, [Online]. Available:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352012420300989?via%3Dihub>
- [24] D. Sinkhonde, “Modeling and experimental studies on energy consumption and properties of concrete containing waste brick powder and waste tire rubber for sustainable construction,” *Clean. Eng. Technol.*, vol. 13, 2022, [Online]. Available:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666790823000368>

- [25] G. Bai, C. Zhu, C. Liu, and B. Liu, “An evaluation of the recycled aggregate characteristics and the recycled aggregate concrete mechanical properties,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 240, 2020, [Online]. Available:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061819334312?via%3Dihub>