

The Influence of Recycling of Concrete Waste in Construction for the Preparation of Aggregates

Beltrán-Guzmán, Omar; Ramírez-Montenegro, Leyther; Neyra-Torres, José Luis, Maestro en Administración de Negocios MBA.

Universidad Privada del Norte, Perú, jose.neyra@upn.edu.pe, n00053210@upn.pe, n00129772@upn.pe.

Abstract: The different methods of using concrete recycling are analyzed and determined, in order to compare the results with conventional materials. Furthermore, based on documentary research, the relationship of influence of the recycling of concrete waste in construction for the production of aggregates is investigated, which affirms through comparative tables that these wastes achieve adequate resistance after having a good mix design and go through days of curing.

Keywords: Construction waste, recycled aggregates, concrete recycling, resistance, curing.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

La Influencia de Reciclaje de Residuos de Concreto en la Construcción para la Elaboración de Agregados

Beltrán-Guzmán, Omar; Ramírez-Montenegro, Leyther; Neyra-Torres, José Luis, Maestro en Administración de Negocios MBA.

Universidad Privada del Norte, Perú, jose.neyra@upn.edu.pe, n00053210@upn.pe, n00129772@upn.pe,

Resumen: Se analiza y determina los diferentes métodos de utilización del reciclado de concreto, para poder comparar los resultados con materiales convencionales. Además, a partir de la investigación documental, se indaga sobre la relación de influencia que se tiene del reciclaje de residuos de concreto en la construcción para la elaboración de agregados, que afirman mediante cuadros comparativos que estos residuos logran la resistencia adecuada luego de tener un buen diseño de mezclas y pasar por días de curado.

Palabras clave: Residuos de construcción, agregados reciclados, reciclaje de concreto, resistencia, curado.

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 [propio].

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].

A. Realidad Problemática

Nuestra 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 [propio].

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 [propio]. Por su parte, se sostiene que cada habitante produce anualmente alrededor de 450 kg de desechos provenientes de la construcción. [5].

Estudio de caracterización de residuos sólidos						
Punto de Incidencia	Ubicación	Fecha / Volumen (m ³)				Volumen promedio
		23/2/22	9/3/22	13/3/22	28/3/22	
La Chira	279075,00 m					
	E 8649701,00 m S	643,50	768,9465	743,40	1489,572	911,3546
El Remero	282634,00 m					
	E 8650329,00 m S	375,648	368,032	496,692	536,25	444,1555
Don Emilio	282404,00 m					
	E 8650168,00 m S	877,344	0	0	0	219,336
El Triunfo	284670,00 m					
	E 8647431,00 m S	11598,3	15982,9	12660,84	9157,65	12349,9225
Hipocampo	284756,00 m					
	E 8648633,00 m S	5071,57	5303,28	7066,836	7066,836	6127,1305

Fig. 1. Volumen promedio (m³) con mayor incidencia de residuos en Lima
Nota. Estudio de caracterización extraído de [6].

TABLA I
INFRAESTRUCTURA DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN EN LIMA

EMPRESAS OPERADORAS DE RESIDUOS SÓLIDOS

NOMBRE	TIPO DE INSTALACIÓN	UBICACIÓN/PROPIETARIO
MODELO DEL CALLAO	RELLENO SANITARIO	VENTANILLA / PETRAMAS SAC
PORTILLO GRANDE	RELLENO SANITARIO	LURÍN / INNOVA AMBIENTAL SA
EL ZAPALLAL	RELLENO SANITARIO	CARABAYLLO / INNOVA AMBIENTAL SA
PLANTA DE VALORIZACIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL	RELLENO SANITARIO Y RELLENO DE SEGURIDAD DEL CALLAO	VENTANILLA / BIRRAK CONSTRUCTORES SAC
MINERA ROMANA	ESCOMBRERA	VENTANILLA / MINERA ROMANA SA
HUAYCOLORO	RELLENO SANITARIO	SAN ANTONIO, HUAROCHIRÍ / PETRAMAS SAC

Nota. Elaboración propia con datos de [7].

B. Antecedentes Geográficos

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].

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.

TABLA II
PORCENTAJE DE RCD RECICLADO EN PAÍSES EUROPEOS EN MILLONES DE TONELADAS

PAÍS	RCD *	% RECICLADO	PAÍS	RCD *	% RECICLADO
HOLANDA	23.9	98	POLONIA	38.19	28
DINAMARCA	5.27	94	FINLANDIA	5.21	26
ESTONIA	1.51	92	HUNGRÍA	10.12	16
ALEMANIA	72.40	86	ESPAÑA	31.34	14
IRLANDA	2.54	80	PORTUGAL	11.42	5
INGLATERRA	99.10	75	GRECIA	11.04	5
LITUANIA	3.45	60	ITALIA	46.30	0
ESLOVENIA	2.00	53	RUMANIA	21.71	0
LETONIA	2.32	46	SUECIA	10.23	0
LUXEMBURG	0.67	46	ESLOVAQUIA	5.38	0

FRANCIA	85.65	45	MALTA	0.8	0
---------	-------	----	-------	-----	---

Nota. Elaboración propia con datos de [11].

C. Antecedentes con reutilización de residuos de concreto de construcción

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 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].

Por último, en el Perú observamos la falta de regulaciones que respalden la reutilización del concreto en la industria de la construcción. Mientras tanto, en otras naciones se llevaron a cabo diversas evaluaciones para determinar la viabilidad y aplicación de este enfoque:



Fig. 2 Pequeños generadores de RCD en Barranquilla.

Nota. Imagen extraída de [14].



Fig. 3 Método de almacenamiento en Barranquilla.

Nota. Imagen extraída de [14].

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].



Fig. 7 Concreto colado en Sitio.
Nota. Imagen extraída de [16]



Fig. 8 Ensayo de Cono de Abrams.
Nota. Imagen extraída de [19].



Fig. 9 Probeta sometida a ensayo de compresión axial.
Nota. Imagen extraída de [19].

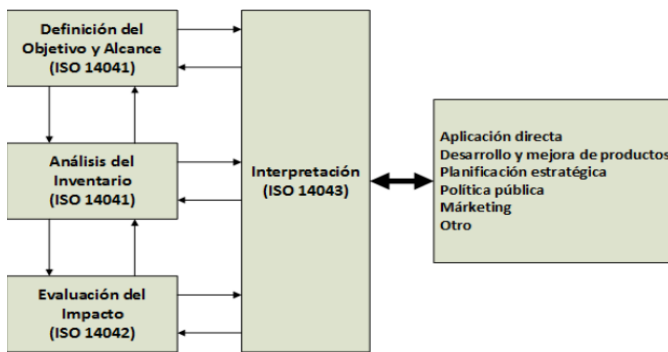


Fig. 4 Análisis del Ciclo de Vida
Nota. Imagen extraída de [18]



Fig. 5 Baldosas prefabricadas
Nota. Imagen extraída de [16]



Fig. 6 Pared de mampostería.
Nota. Imagen extraída de [16]

D. Problema analizado

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 [propio].

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo influye el análisis de los residuos en el proceso de sustitución de agregados en la fabricación de hormigón utilizando residuos de concreto?

OBJETIVO DE INVESTIGACIÓN

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 [propio].

Por esta razón, nuestro artículo 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 $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{8}$ ", 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.

II. METODOLOGÍA

Nuestra investigación se fundamenta en una revisión sistemática, la cual implica recopilar artículos pertinentes relacionados con el tema en cuestión. Este enfoque se desarrolló mediante la recopilación de datos relacionados con temas como "Concretos permeables con agregados reciclados", "Utilización de agregados de concretos reciclados" y "Residuos de construcción y demolición". Nuestro objetivo es abordar de manera objetiva y clara la problemática actual de la informalidad en el país.

Esta problemática nos ha llevado a prestar atención a detalles que a menudo pasan desapercibidos, pero que podrían ser de gran utilidad para el sector de la construcción. En nuestro artículo, nos proponemos identificar, analizar y comparar soluciones a través de la reutilización de los residuos de concreto, con el propósito de mejorar tanto la economía en la construcción como el impacto ambiental. Para recopilar información, se exploraron diversos motores de búsqueda, muchos de los cuales gozan de una considerable influencia en la comunidad.

PÁGINAS DE BÚSQUEDA UTILIZADAS

Las páginas de búsqueda utilizadas fueron:

SciELO: (<http://www.scielo.org.pe/>)
ResearchGate: (<https://www.researchgate.net/>)
Google Académico: (<https://scholar.google.com/>)
Alicia: (<https://alicia.concytec.gob.pe/>)
IGP: (<https://www.gob.pe/igp>)
Redalyc: (<https://www.redalyc.org/>)

Estas páginas de búsqueda de contenido científico, fueron de gran utilidad debido a su autenticidad y veracidad, aportando de manera significativa la investigación.

CRITERIOS DE BÚSQUEDA

Para facilitar la recolección de información, se implementó ciertas ecuaciones de búsqueda, por ende, se usaron en su mayoría términos como: "Concreto Reciclado", "Reutilización de concreto", "Agregados RCD", "Residuos de construcción reutilizado", "Agregados reciclados", "Durabilidad de agregados reciclados", "Residuos de construcción reutilizados", "Residuos en la construcción".

A. Criterios de Inclusión

- Se incluyeron artículos con una antigüedad no mayor a los 10 años de publicación, que sean de suma importancia para la realización del proyecto, dado a la relevante información.
- Se utilizaron artículos científicos, repositorios de universidades, revistas científicas, informes y trabajos de grado – postgrados provenientes de universidades y revistas de alto prestigio.
- Artículos con enfoque nacional e internacional, en inglés y español, dado a la variedad de información de origen extranjero que posee nuestro paper.

B. Criterios de Exclusión

- Se excluyeron artículos mayores a los 10 años de publicación, por el motivo de contención de información de datos antiguos y desactualizados.
- Artículos provenientes de Universidades y revistas de bajo prestigio o desconocidas.
- Artículos que no contengan información derivada al tema principal y se desvíen en gran porcentaje a este mismo.

PROBLEMAS PRESENTADOS

De igual manera, enfrentamos dificultades durante la recopilación de datos, siendo nuestro principal desafío el acceso a muchos de los artículos recopilados, especialmente en plataformas como ResearchGate. En algunos casos, se hizo necesario indagar más a fondo, ya que algunas revistas no se encontraban publicadas en la misma página, prolongando así el tiempo de búsqueda. Finalmente, otra dificultad que se presentó en la elaboración de este proyecto fue que, según los buscadores recomendados mayormente por los docentes, no siempre se encontraban directamente artículos actualizados. En su lugar, nos topamos con artículos que superaban los 10 años de antigüedad y otros que eran trabajos de investigación de estudiantes no finalizados. Esto nos llevó a explorar otras fuentes, no solo en páginas reconocidas, sino también investigar a fondo en otros buscadores bien establecidos en la investigación de papers.

Esta investigación se basó en el análisis de 50 artículos científicos distintos, los cuales siguieron un riguroso proceso de selección considerando los criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos. Obteniendo un total de 25 artículos finales relacionados con el título, tema y propósito de nuestro estudio, excluyendo otros. Estos artículos seleccionados abordan la evaluación y el uso apropiado de residuos de concreto, contribuyendo al mejoramiento económico y ambiental en el sector de la construcción en nuestro país.

A continuación, los gráficos subsiguientes presentan la cantidad de artículos encontrados, así como el número de resultados hallados por cada año en sus respectivos buscadores.

TABLA III
CANTIDAD DE ARTÍCULOS ENCONTRADOS POR PALABRAS CLAVES Y/O ECUACIÓN DE BÚSQUEDA

BUSCADOR	PALABRA CLAVE	ARTÍCULOS ENCONTRADOS
SCIELO	A F D	320
RESEARCHGATE	B E D	420
GOOGLE ACADÉMICO	A B E F G C D H	530
ALICIA	I C D J	260
REDALYC	F C E H	85

LEYENDA:	
ID	FORMULA DE BÚSQUEDA
A	CONCRETO RECICLADO
B	REUTILIZACIÓN DE CONCRETO
C	AGREGADOS RCD
D	RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN REUTILIZADO
E	AGREGADOS RECICLADOS
F	DURABILIDAD DE AGREGADOS RECICLADOS
G	RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN REUTILIZADOS
H	RESIDUOS EN LA CONSTRUCCIÓN

Nota. Elaboración propia

TABLA IV
ESTADÍSTICA DE BUSCADORES POR AÑO

BÚSQUEDA	AÑO											
	2008	2011	2012	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
GOOGLE ACADÉMICO	1				1		1		1	1	3	1
ALICIA								1				
REDALYC		1			1				1			
IGP						1						
RESEARCH GATE							1	2	1	2	2	
SCIELO	1											
TOTAL	2	1	1	1	2	1	1	5	2	5	3	

Nota. Elaboración propia

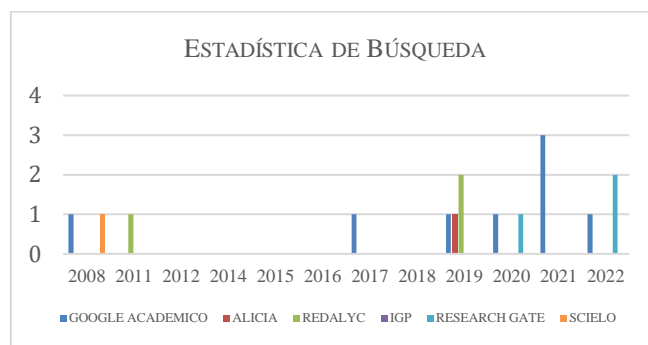


Fig. 10 Estadística de búsqueda.
Nota. Elaboración propia

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. 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 [19].

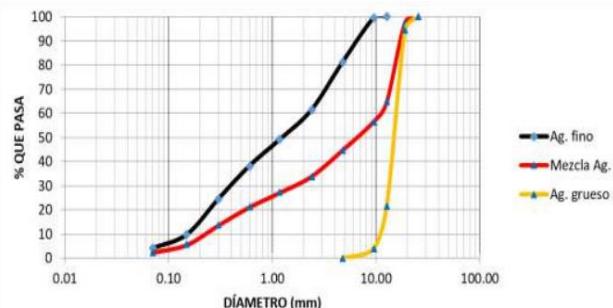


Fig. 11 Curva granulométrica de combinación de agregados.
Nota. Datos extraídos de [19].

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 [18].

TABLA V
RESULTADOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN POR GRUPO

N°	ÁREA	GRUPO SIN ADITIVO NI AGREGADO RECICLADO							
		PRIMERA SEMANA		CUARTA SEMANA		SEMANA DOCE		SEMANA VEINTE	
		CARGA 1	RESIST.	CARGA 2	RESIST.	CARGA 3	RESIS. T.	CAR GA 4	RESI ST.
	CM2	KG	KG/CM 2	KG	KG/CM 2	KG	KG/C M2	KG	KG/ CM2
1	181.45	27500	151.56	41500	228.71	53000	92.09	54000	297.6
2	181.45	24500	135.02	40500	223.2	52000	86.58	53500	294.85
3	181.45	25000	137.78	47500	261.78	51000	81.07	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
2	181.45	18000	99.2	41000
3	181.45	19000	104.71	43000
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
2	181.45	21000	115.73	45000
3	181.45	21500	118.49	46500
PROMEDIO	118.49	250.76	290.25	324.24

Nota. Elaboración propia con datos de [19].

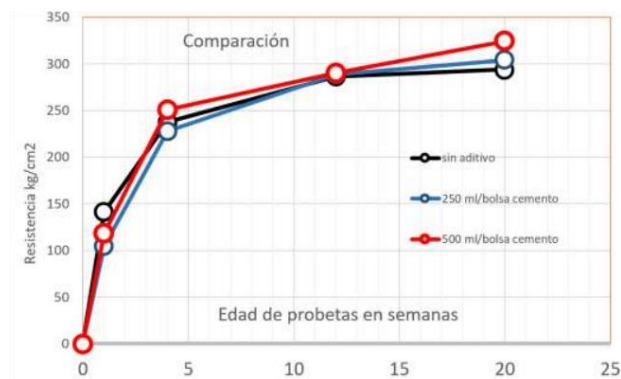


Fig. 12 Comparación de resultados en los grupos estudiados. Nota. Extraído de [19].

TABLA VI
COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN RELACIÓN A LA MUESTRA PATRÓN

Edad semanas	Grupo 0		Grupo 1		Grupo 2	
	kg/cm ²	% respecto grupo 0	kg/cm ²	% respecto grupo 0	kg/cm ²	% respecto grupo 0
0	0	0	0.00	0	0	0
1	141.45	100	104.71	74	118.49	84
4	237.90	100	227.79	96	250.76	105
12	286.58	100	288.42	101	290.25	101
20	293.93	100	304.03	103	324.24	110

Nota. Datos extraídos de [19].

Por otra parte, se logró identificar el impacto de la utilización de agregados en las construcciones de viviendas en Huamachuco. En este caso, se emplearon materiales como cemento Portland tipo I, gravilla de 1/2" y 3/4", arena gruesa, y agregados de concreto reciclado, 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 [18]. Para obtener los resultados se utilizaron el 50-75 y 100% de agregados reciclados de concretos con un porcentaje de cemento Portland Tipo I [18].

TABLA VII
DOSIFICACIÓN DE VOLUMEN DE MATERIAL PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO

MEZCLA	CANTIDAD DE MATERIALES EN VOLUMEN
--------	-----------------------------------

	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

Nota. Elaboración propia con datos de [18].

TABLA VIII
ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO DE PROBETAS
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO F' C
(KG/CM2)

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

Nota. Elaboración propia con datos de [18].

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 [18].

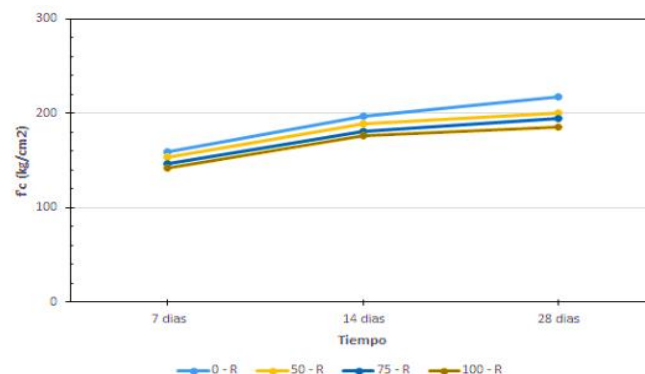


Fig.13 Resistencia a la compresión promedio del concreto convencional y del concreto con agregados reciclados.

Nota. Extraído de [18].

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 [21]. 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/m³. 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 [21].

COMPOSICIÓN QUÍMICA Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO (OPC)

ELEMENTO/OXIDO	OPC(%)
SiO2	19,39
AL2O3	4,13
CAO	55,66
FE2O3	4,7
MGO	1,71
NA2O	0,32
K2O	0,28
SO3	3,9
P.I.	9,21

Nota. Elaboración propia con datos de [21].

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 [21].

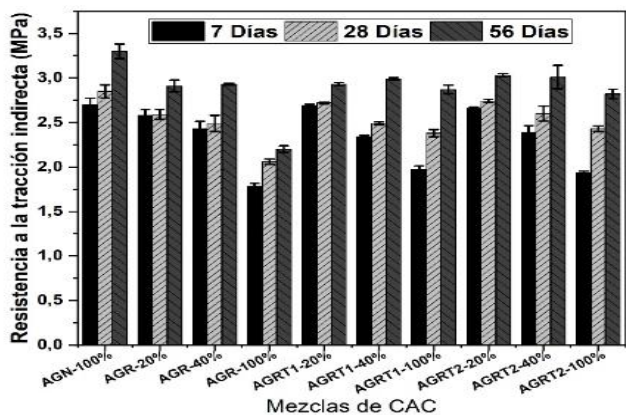


Fig. 14 Resultado de ensayo de resistencia. Nota. Extraído de [21].

RESULTADO DE DENSIDAD, ABSORCIÓN Y POROSIDAD DE DIFERENTES MEZCLAS

MEZCLA	DENSIDAD [KG/M3]		ABSORCIÓN [%]		POROSIDAD [%]	
	28	56	28	56	28	56
	DÍAS	DÍAS	DÍAS	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

Nota. Elaboración propia con datos de [21].

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 [22].

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

ENSAYO	NORMA	AFN	ARF	AGN
DENSIDAD APARENTE (BULK) (G/CM3)	NTC 237	2,64	2,59	2,76
ABSORCIÓN (%)	NTC 237	2,1	7,3	1,5
MASA UNITARIA SUELTA (G/CM3)	NTC 92	1,58	1,40	1,27
MASA UNITARIA COMPACTA (G/CM3)	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	-

Nota. Elaboración propia con datos de [22].

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 [22].

PROPORCIONES DE MEZCLAS DE CONCRETO

MATERIAL (KG/M3)	CARF0	CARF20	CARF40
CEMENTO	410	410	410
AGUA	205	205	205
AGN	678	647	655
AFN	1017	777	589
ARF	0	194	393
SP	4,92	4,92	4,92

Nota. Elaboración propia con datos de [22].

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 [22].

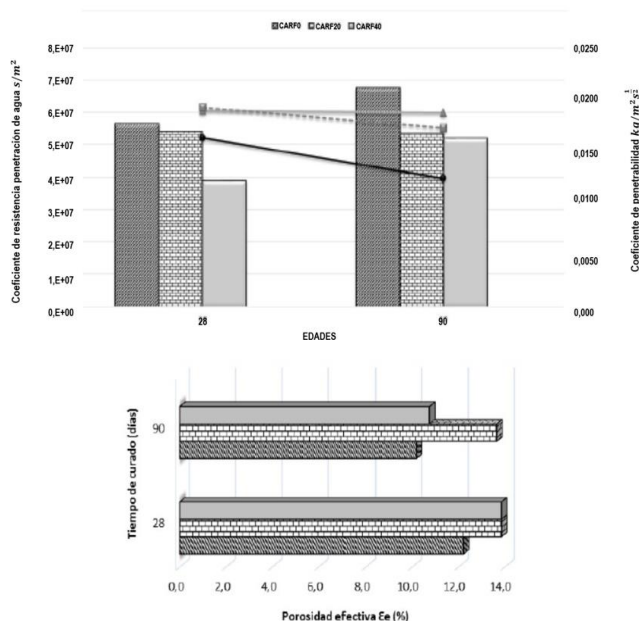


Fig. 15 Estudio de succión capilar y resistencia de los concretos. Nota. Extraído de [22]

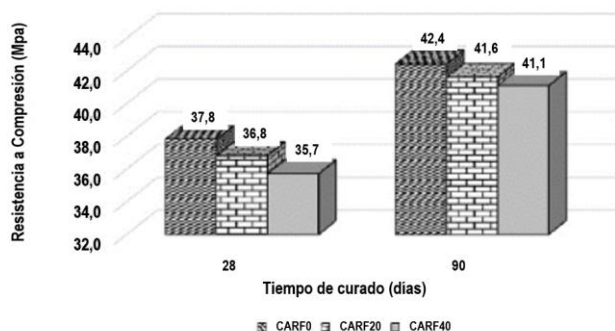


Fig. 16 Resistencia a la compresión de los concretos. Nota. Extraído de [22].

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% [22]. 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 [22].

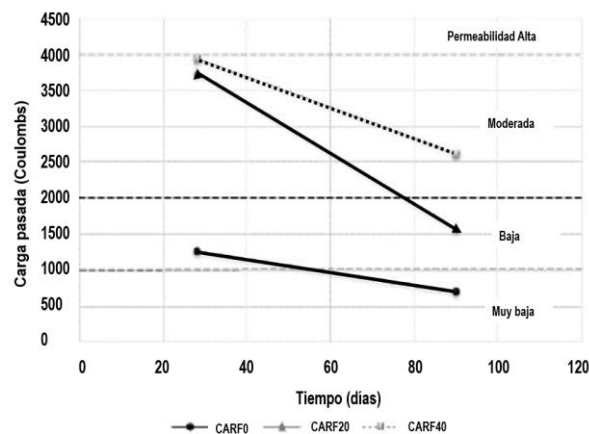


Fig. 17: Evolución de permeabilidad a cloruros respecto al tiempo de curado. Nota. Extraído de [22].

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

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.

Es relevante notar que los estudios referenciados como [17] y [18] 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 [propio].

TABLA XIII
COMPARACIÓN DE RESISTENCIAS CON EDADES RESPECTIVAS
MEZCLAS

EDADES	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		

Nota. Elaboración propia con datos de [17] y [18].

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 [propio].

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 XIV

COMPARACIÓN DE CURADOS EN MPA DE LOS CONCRETOS REUTILIZABLES		
	EN ESTUDIO 21	EN ESTUDIO 22
28 DÍAS DE CURADO	36,72 PROMEDIO	38,50 PROMEDIO

Nota. Elaboración propia con datos de [21] y [22].

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 [propio].

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 XV

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

Nota. Elaboración propia con datos de [18], [19], [21], [22].

Al interpretar, se deduce que el concreto integrado presenta una permeabilidad más elevada. Es fundamental considerar que la leve disminución 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 [propio].

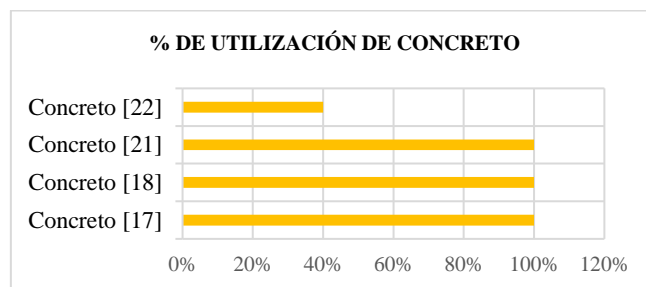


Fig. 18 Comparación utilización de concretos.

Nota. Elaboración propia con datos de [18], [19], [21] y [22].

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 [propio].

V. 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, enfocado principalmente en aspectos relacionados con la reutilización y el reciclaje desde una perspectiva ambiental 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 [propio].

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 [propio].

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 [propio].

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 agregados gruesos y finos. La idea es utilizar la mayor proporción posible en la mezcla para que el proyecto sea exitoso en el futuro [propio].

Recomendamos que, para este tema, siempre es fundamental un plan de implementación de nuevas tecnologías que demuestre que este proyecto puede aportar beneficios no solo a las empresas, sino también al desarrollo ambiental. Es posible demostrar que estos productos pueden integrarse en futuros trabajos, dependiendo del compromiso directo de las personas que hacen posible que todo tipo de proyecto sea efectivo. [propio].

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. Huamaní, J. Tudela, A. Huamaní, "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>