

# Evaluation of recycled coarse aggregate on the mechanical and physical properties of 175 kg/cm<sup>2</sup> concrete

Bravo Apaza, Jinmer<sup>1</sup> ; Inostroza Palomino, Rene<sup>2</sup> 

<sup>1,2</sup>Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, Abancay, Perú, [jbravo@unamba.edu.pe](mailto:jbravo@unamba.edu.pe),  
[151348@unamba.edu.pe](mailto:151348@unamba.edu.pe)

*Abstract– The growth of the construction industry has led to a significant increase in construction and demolition waste, necessitating sustainable alternatives for its management. This study evaluates the reuse of recycled coarse aggregate derived from the demolition of rigid pavements as coarse aggregate in new concrete structures, aiming to reduce waste and contribute to the sector's sustainability. The research is applied and explanatory, as it addresses the use of recycled concrete as coarse aggregate and analyzes its causal relationship with the physical and mechanical properties of concrete, using an experimental design with a quantitative approach. Five substitution percentages of natural coarse aggregate with recycled aggregate were analyzed: 0%, 10%, 20%, 30%, and 40%. Recycled coarse aggregate (RCA) significantly impacts the properties of 175 kg/cm<sup>2</sup> concrete, reducing its compressive strength by up to 11.48% and its workability from 9.53 cm to 1.27 cm as RCA increases from 0% to 40%. Beyond 30%, these properties fall outside acceptable standards. However, substitution proportions of up to 30% maintain acceptable properties, supporting sustainable practices with proper quality control. Higher percentages, however, significantly compromise structural performance and workability, limiting their application in projects requiring compliance with regulations. The use of recycled coarse aggregate is recommended in designs with compressive strength of  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$  for substitution percentages of 30% or less.*

*Keywords: Recycled concrete, aggregate, compressive strength, concrete slump and density.*

# Evaluación de agregado grueso reciclado sobre las propiedades mecánicas y físicas de concreto de 175 kg/cm<sup>2</sup>

Bravo Apaza, Jinmer<sup>1</sup> ; Inostroza Palomino, Rene<sup>2</sup> 

<sup>1,2</sup>Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, Abancay, Perú, [jbravo@unamba.edu.pe](mailto:jbravo@unamba.edu.pe),  
[151348@unamba.edu.pe](mailto:151348@unamba.edu.pe)

**Resumen:** *El crecimiento de la industria de la construcción ha generado un incremento significativo en los residuos de construcción y demolición, lo que exige alternativas sostenibles para su gestión. Este estudio evalúa la reutilización de Agregado grueso reciclado proveniente de demoliciones de pavimentos rígidos como agregado grueso en nuevas estructuras de concreto, con el objetivo de reducir residuos y aportar sostenibilidad al sector. A través de una investigación aplicada y explicativa, ya que aborda el uso del concreto reciclado como agregado grueso y analiza su relación causal con las propiedades físicas y mecánicas del concreto, utilizando un diseño experimental con enfoque cuantitativo. Se analizaron cinco porcentajes de sustitución de agregado grueso natural por reciclado: 0%, 10%, 20%, 30% y 40%. El agregado grueso reciclado (AGR) impacta significativamente las propiedades del concreto de 175 kg/cm<sup>2</sup>, reduciendo su resistencia a compresión hasta un 11.48% y su trabajabilidad de 9.53 cm a 1.27 cm al incrementar el AGR del 0% al 40%. A partir del 30%, estas propiedades caen fuera de los estándares. Sin embargo, proporciones de hasta un 30% mantienen propiedades aceptables, apoyando prácticas sostenibles con control adecuado de calidad, además porcentajes mayores comprometen significativamente su desempeño estructural y manejabilidad, limitando su aplicación en proyectos normativos. Se recomienda el uso de Agregado grueso reciclado en diseños de resistencia  $f'c=175$  kg/cm<sup>2</sup> con porcentajes de sustitución menores o iguales al 30%.*

**Palabras clave:** *Agregado grueso reciclado, Agregado, Resistencia a compresión, Asentamiento del concreto, Densidad.*

## I. INTRODUCCIÓN

La inquietud de disminuir los problemas de contaminación ambiental causados por residuos de construcción, renovación y demolición de construcciones civiles que son abandonados en vertederos informales y carreteras. Además, dado el crecimiento constante de las poblaciones, la necesidad de edificar infraestructuras civiles se incrementa. Al mismo tiempo, las demoliciones de edificaciones civiles ya existentes también se incrementan. Por ende, los residuos de construcción y demolición también están en un aumento considerable que son llevados a los vertederos y áreas abiertas, generando un problema serio que es la contaminación. Bajo este criterio, se ha evaluado que estas tácticas, minimizando los impactos negativos en la calidad estructural y fomentando el desarrollo de concretos sostenibles y de alto rendimiento [2]. La reutilización de los agregados gruesos reciclados posiciona al agregado reciclado como una solución efectiva para la escasez de materiales y la gestión sostenible de residuos de construcción [3]. Un método

adecuado de obtención de los agregados gruesos reciclados garantiza las propiedades comparables a las de los agregados naturales [4].

Las propiedades y desempeño del agregado grueso reciclado en concreto muestran diversos resultados en las investigaciones, influyen significativamente en el módulo elástico del concreto, especialmente cuando se combinan con materiales cementantes suplementarios, además el contenido de agregado grueso reciclado, su absorción de agua y su interacción con la relación agregado y material cementante son factores clave que afectan el módulo elástico. Sin embargo, el uso de agregado grueso reciclado es sostenible en la construcción [5]; además el concreto con agregado grueso reciclado, bajo cargas cíclicas uniaxiales donde se observó que la incorporación de agregado grueso reciclado reduce la resistencia a compresión axial en un 26.27% respecto al concreto natural [6]. El desempeño del agregado grueso reciclado está compuesto por agregado original y mortero adherido, donde el tipo de agregado original influye significativamente en las propiedades mecánicas del concreto reciclado, donde la resistencia al corte y el desplazamiento pico disminuyen, pero la ductilidad mejora [7]. A temperatura ambiente el agregado grueso reciclado disminuye la resistencia a compresión y el módulo elástico, mientras que a altas temperaturas conserva mejor estas propiedades en comparación con concreto de agregado natural muestra mejoría gracias a su microestructura. Sin embargo, el agregado grueso reciclado de baja calidad o en altas proporciones empeora el descenso en la curva esfuerzo – deformación [11]. En cuanto al uso del agregado grueso reciclado reduce la resistencia a compresión, podría mejorarse con la adición de aglutinantes, para el uso en mamposterías de concreto, ya que la mezcla de estos dos elementos logra un desempeño óptimo para aplicaciones estructurales, alcanzando resistencias ideales a la vez siendo estas sostenibles [18]. En cuanto al desempeño del agregado grueso reciclado, con 50% mantiene las propiedades de resistencia a compresión comparables con el agregado natural, por otro lado, el uso de agregados finos reciclados más del 25% afectan negativamente la durabilidad a largo plazo del concreto [12].

En cuanto al uso del agregado grueso reciclado se analizó que el concreto reciclado pierde capacidad de resistencia a la deformación, reduciendo su esfuerzo y módulo elástico pico, pero aumentando la deformación y la tenacidad [8]; los concretos autocompactantes pueden optimizarse con agregado

grueso reciclado prehumidificado, evaluando las propiedades reológicas, mecánicas y microestructurales; señala que hasta un 50% de adición de agregado grueso reciclado cumple con los requisitos de la norma; mientras que un porcentaje de 30% mejora las propiedades frescas y mecánicas. El prehumedecimiento del agregado grueso reciclado incrementa en un 10.3% la resistencia a compresión, un 22.5% la viscosidad y un 22.6% la resistencia a la penetración de iones cloruro. Sin embargo, tasas excesivas de prehumedecimiento reducen las propiedades mecánicas [9]. El uso de agregado reciclado mixto, compuesto por hasta un 30% de residuos de mampostería, en concreto estructural para ambientes, empleando proporciones de hasta 40% de agregado grueso reciclado y 15% de agregado fino reciclado se logran propiedades mecánicas y de durabilidad comparables al concreto convencional con una relación agua y cemento de 0.52; además es recomendable para garantizar el desempeño estructural, uso de un 30% de agregado grueso reciclado y un 10% de agregado fino reciclado, cumpliendo con los criterios establecidos en la normativa [10]. El agregado grueso reciclado puede utilizarse en los pavimentos asfálticos porosos, de tal manera estos poros pueden gestionar eficazmente el agua en zonas urbanas y mitigar inundaciones, de la manera la gestión hídrica sea eficiente [16]. El concreto con agregado grueso reciclado se ha visto favorable para reforzar barras de acero corroídas en los túneles, se verificó que no produce grietas, además mejora la resistencia en la zona del acero corroído, mostrando resultados consistentes entre valores experimentales y teóricos de carga, siendo adecuado para el reforzamiento de túneles en entornos marinos además su uso es sostenible [13]. En cuanto al uso de agregado grueso reciclado en ingeniería costera es afectado por ataque por sulfatos en el concreto, a mayor contenido de sulfatos y relación agua cemento incrementan significativamente la penetración de iones sulfato aumentando las deformaciones expansivas [19]. El agregado grueso reciclado reduce la capacidad cortante en un 14.5 %. Sin embargo, con fibras de acero, la capacidad mejoró hasta un 156 %, dependiendo del tipo y proporción de fibras. Además, una fracción de 0.5 % de fibras es suficiente para compensar la degradación por el uso de agregado grueso reciclado, mejorando además la rigidez y ductilidad antes de la aparición de grietas [14].

El uso de agregados gruesos reciclados provenientes de ladrillos de concreto pueden mejorarse con recubrimientos plásticos, al recubrir con Polietileno tereftalato a temperaturas entre 250°C y 400°C, se mejoran sus propiedades físicas y la calidad del concreto resultante, debido a la penetración del plástico en los poros, reforzando la interfaz débil del mortero [15]. En cuanto al uso de agregado grueso reciclado es fundamental tener algunos criterios como el prehumedecimiento hasta alcanzar una saturación del 80% previo al uso, bajo esta técnica el concreto reciclado alcanza en cuanto a la resistencia a la compresión y flexión de 10.4% y 7.35% respectivamente [17].

Uso del agregado grueso en aplicaciones específicas, es adecuado para el concreto geopolimérico, donde la sustitución hasta del 50% de agregados gruesos naturales con agregados gruesos reciclados mantiene buenas propiedades mecánicas y de durabilidad, mientras que la adición de 100% de agregado grueso reciclado reduce gradualmente el desempeño, el uso de agregado grueso reciclado es una opción sostenible para reutilizar residuos de construcción y reducir emisiones de dióxido de carbono [20]. El agregado grueso reciclado carbonatado representa una solución innovadora para mejorar el desempeño del concreto reciclado. Su incorporación en un 50 % no solo refuerza las propiedades mecánicas y de fractura a nivel macro, como la cohesión, la energía de fractura y la tenacidad inicial, sino que también optimiza las características microscópicas del mortero viejo. La carbonatación incrementa el módulo reducido, la dureza y la tenacidad microscópica, logrando un concreto más resistente y eficiente. Este avance destaca el potencial del agregado grueso reciclado carbonatado para aplicaciones sostenibles y de alto rendimiento en la construcción [22]. El agregado grueso reciclado emerge como una alternativa viable y sostenible para la producción industrial de concreto. Se ha demostrado que, al optimizar las proporciones de mezcla y controlar la calidad del agregado grueso reciclado, es posible producir concreto 100 % reciclado de alto rendimiento. Esta práctica no solo satisface los requisitos industriales, sino que también impulsa la circularidad en la construcción, reduciendo el impacto ambiental del sector [23]. El agregado grueso reciclado se consolida como una opción efectiva para concreto estructural al demostrar que, mediante procesos de carbonatación, puede mantener e incluso mejorar el desempeño a flexión. Este avance resalta el potencial del agregado grueso reciclado para aplicaciones sostenibles en estructuras, impulsando la economía circular en la construcción sin comprometer la calidad estructural [24]. En el uso de agregados grueso reciclado, las resistencias a compresión reducen conforme se incrementa los ciclos de sulfato seco – húmedo, donde en un 20 ciclo aumenta la resistencia en 4.55%, pero 60 ciclos general una reducción del 34.22%, aumentando la deformación máxima y una disminución del 8.61% en el módulo elástico [21].

El agregado grueso reciclado enfrenta desafíos de calidad debido a contaminantes provenientes de residuos de construcción y demolición. Se ha demostrado que tecnologías avanzadas como espectroscopia de descomposición inducida por láser (LIBS) y escaneo 3D pueden revolucionar el control de calidad del agregado grueso reciclado, mejorando su confiabilidad y promoviendo su uso sostenible en proyectos de construcción sin comprometer la resistencia y durabilidad del concreto [25]. Entonces tratado con CO<sub>2</sub> no solo mejora su calidad y desempeño en el concreto, sino que también contribuye significativamente a la sostenibilidad al reducir emisiones de carbono. Este enfoque destaca como una innovación clave para promover prácticas de construcción más ecológicas y responsables [26]. Además, mediante técnicas de carbonatación microbiana ofrece una solución innovadora y

sostenible para la construcción. Este enfoque no solo mejora las propiedades mecánicas del agregado grueso reciclado, sino que también introduce capacidades de autocuración en el concreto, posicionándose como una tecnología clave para el desarrollo de materiales eco-amigables [27]. Por otro lado, encuentra un aliado en la inteligencia artificial, que optimiza su uso en estructuras reforzadas. Este avance permite predecir con alta precisión la resistencia y modos de falla, potenciando la confiabilidad y versatilidad del agregado grueso reciclado en la construcción sostenible, fortaleciendo su adopción en aplicaciones prácticas [28]. El agregado grueso reciclado demuestra su viabilidad en estructuras de concreto impreso en 3D, ofreciendo un equilibrio entre sostenibilidad y desempeño mecánico. Este avance subraya el potencial del agregado grueso reciclado para aplicaciones estructurales, respaldado por mejoras en la resistencia al corte mediante métodos innovadores de refuerzo en la interfaz [29].

El agregado grueso reciclado de ladrillo se posiciona como una alternativa sostenible y económica al agregado natural. Este material, pese a su influencia en la resistencia a compresión, demuestra viabilidad estructural y ofrece una oportunidad innovadora para integrar residuos de demolición en la construcción moderna, promoviendo la economía circular [30]. Demuestra un alto potencial para aplicaciones estructurales en concreto autocompactante, al ofrecer una solución eficiente y sostenible. Este avance permite maximizar el uso de residuos de construcción, contribuyendo a una construcción más responsable con el medio ambiente [38]. Enfrenta desafíos como mayor retracción por secado debido a su elevada porosidad, pero este estudio establece una comprensión detallada de su impacto. Con un modelo predictivo preciso, el agregado grueso reciclado se posiciona como una alternativa viable y sostenible, facilitando su integración en prácticas constructivas más responsables con el medio ambiente [31]. Sin embargo, combinado con fibras de mascarillas, demuestra ser una solución innovadora y sostenible para mejorar el concreto. Este avance no solo refuerza las propiedades mecánicas del agregado grueso reciclado, sino que también contribuye significativamente a la reducción de residuos y emisiones, alineándose con prácticas constructivas responsables y eficientes (Wang et al., 2024).

El agregado grueso reciclado no solo aborda el problema de los residuos de construcción, sino que, mediante modelos de inteligencia artificial, permite predecir y optimizar la resistencia a compresión del concreto. Este enfoque combina sostenibilidad y tecnología, impulsando la innovación en materiales de construcción [33]. Puede transformarse en un material de alto desempeño cuando se combina con desechos de aspas de turbinas eólicas. Este enfoque no solo mejora las propiedades del concreto, sino que también aborda problemas de residuos industriales, fortaleciendo su viabilidad como solución sostenible y eficiente en la construcción moderna [34]. Puede superar sus limitaciones de resistencia y durabilidad mediante la sinergia entre nano-SiO<sub>2</sub> y fibras. Este enfoque no solo refuerza las propiedades mecánicas y microestructurales del concreto reciclado, sino que también lo

posiciona como una alternativa eficiente y sostenible para aplicaciones como pavimentos de carretera [35]. El agregado grueso reciclado derivado de múltiples ciclos de reciclaje enfrenta desafíos en propiedades mecánicas y retracción. Sin embargo, el uso de humo de sílice demuestra ser una estrategia eficaz para mejorar su desempeño, posicionando al agregado grueso reciclado como una opción viable y sostenible para concretos de alto rendimiento [36]. Cuando se combina con ceniza de cascarilla de arroz, no solo mejora la durabilidad del concreto en condiciones extremas, sino que también contribuye a reducir el impacto ambiental. Este enfoque representa un avance clave hacia materiales de construcción sostenibles y de bajas emisiones de carbono [37].

El agregado grueso reciclado no solo reutiliza recursos de manera sostenible, sino que su disposición dentro del concreto puede optimizar sus propiedades mecánicas. Este enfoque destaca la importancia de un diseño estratégico del agregado grueso reciclado para maximizar su rendimiento estructural en aplicaciones constructivas [39]. Además, el agregado grueso reciclado, tratado con captura de carbono, supera sus limitaciones originales y alcanza propiedades mecánicas significativamente mejoradas. Este enfoque combina sostenibilidad y eficiencia, posicionando al agregado grueso reciclado mejorado como una alternativa viable para concretos de alto rendimiento en la construcción moderna [40]. En concreto autocompactante demuestra su viabilidad incluso bajo condiciones extremas, como ciclos de congelación-deshielo con sulfatos. Mediante herramientas avanzadas como el aprendizaje automático, se pueden optimizar sus propiedades mecánicas, fortaleciendo su uso en construcciones sostenibles y resilientes [41]. En concreto mezclado con agua de mar muestra un comportamiento único a fractura, ofreciendo una alternativa sostenible para aplicaciones en entornos marinos. Este enfoque combina innovación y sostenibilidad, ampliando las posibilidades del agregado grueso reciclado en escenarios de construcción especializados [42].

El agregado grueso reciclado es una alternativa sostenible en la construcción, pero su impacto en la resistencia del concreto depende de la proporción utilizada y del manejo adecuado del mortero adherido [43]. El agregado grueso reciclado en combinación con agua de mar y arena marina optimiza el aprovechamiento de recursos y reduce el impacto ambiental, pero requiere un diseño cuidadoso para equilibrar la trabajabilidad y durabilidad del concreto [44]. Además, el agregado grueso reciclado, combinado con residuos de grafito, mejora la resistencia del concreto a la erosión por cloruros, aunque su efectividad está influida por la proporción de sustitución y las condiciones del material [45]. Cuando se utiliza al 100 %, es una solución sostenible, pero requiere un manejo adecuado del mortero adherido y optimización de su composición para garantizar un buen desempeño mecánico del concreto [46]. El agregado grueso reciclado recubierto con caucho es una solución innovadora y sostenible que mejora la amortiguación y durabilidad del concreto, promoviendo materiales más eficientes y respetuosos con el medio ambiente

[47]. Combinado con adiciones de ceniza volante y fibras de basalto puede transformar el concreto reciclado en un material estructural resistente y funcional para aplicaciones sostenibles [48]. También el uso de fibras híbridas en concreto con agregado grueso reciclado aumenta su resistencia a ciclos secos-húmedos con sulfato, mejorando su durabilidad y ampliando su aplicabilidad en condiciones adversas [49].

## II. METODOLOGÍA

Este estudio se clasifica dentro de la investigación aplicada, dado que busca solucionar un problema práctico vinculado con la utilización del concreto reciclado como agregado grueso. Además, se clasifica como de investigación explicativa, ya que su propósito es establecer la correlación causal entre la incorporación del concreto reciclado (variable independiente) y las características físicas y mecánicas del concreto (variable dependiente); adopta un diseño de investigación experimental con un enfoque cuantitativo.

### A. Materiales

Los moldes cilíndricos utilizados para elaborar especímenes verticales cumplían con los requisitos establecidos en la norma ASTM C470/C470M. Por su parte, los moldes horizontales destinados a ensayos de fluencia lenta se ajustaban a las especificaciones relacionadas con simetría y tolerancia dimensional de los requisitos generales, excepto en lo referido a las exigencias de verticalidad de la misma norma. Asimismo, los dispositivos para la medición de temperatura cumplían con la norma NTP 339.184, manteniéndose los materiales en un rango de temperatura ambiente preferido entre 20 °C y 30 °C.

### B. Determinación de la granulometría

El estudio granulométrico requería una balanza electrónica con una sensibilidad de 0.1 g y exactitud de 0.1 % para el agregado fino, y de 0.5 g y 0.1 % para el agregado grueso, además de una estufa capaz de alcanzar  $110 \pm 5$  °C. Se utilizó un juego de tamices normativos, con muestras de al menos 300 g para el agregado fino, previamente lavadas y secadas, y el agregado grueso se evaluó según las normas ASTM C136 y NTP 400.012.

### C. Diseño de mezcla del concreto con agregado grueso reciclado

El diseño de mezcla de concreto se realizó con base en los resultados de pruebas de laboratorio que evaluaron las propiedades físicas de los materiales. Esto permitió establecer la relación agua-cemento, el contenido de aire, la cantidad de cemento y la resistencia requerida, considerando las características de trabajabilidad para diferentes combinaciones de materiales.

### D. Resistencia a la compresión

El método NTP 339.034 evalúa la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto con peso mayor a 800 kg/m<sup>3</sup>, aplicando una carga axial controlada hasta la falla. La resistencia se calcula dividiendo la carga máxima obtenida entre el área de la sección transversal de la muestra.

### E. Determinación del asentamiento

El ensayo de asentamiento, según la NTP 339.045 y basado en el método del "Cono de Abrams" (ASTM C-143), mide la consistencia del concreto como la diferencia de altura entre un molde troncocónico estándar y la masa de concreto compactada tras retirar el molde. Es una prueba sencilla, aplicable en campo y laboratorio.

### F. Determinación de la densidad

La densidad del concreto endurecido se determina dividiendo la masa seca de la muestra por su volumen, medido por desplazamiento de agua o dimensiones directas, según normas como ASTM C642.

## III. RESULTADOS

La resistencia a la compresión del concreto es un parámetro fundamental para evaluar su desempeño estructural, especialmente cuando se utilizan agregados reciclados. Estudios previos han demostrado que el uso de agregado grueso reciclado puede reducir la resistencia a compresión axial en un 26.27% en comparación con el concreto convencional, aunque en proporciones moderadas, como un 50%, logra mantener propiedades aceptables de resistencia. Además, técnicas como el prehumedecimiento de los agregados han mostrado incrementar la resistencia en un 10.3%, alcanzando mejoras adicionales en resistencia a la compresión y flexión de 10.4% y 7.35%, respectivamente. Estos avances subrayan la importancia de promover el uso sostenible del concreto reciclado sin comprometer su durabilidad, mientras que enfoques innovadores como la inteligencia artificial permiten predecir con precisión la resistencia y los modos de falla. Para evaluar las relaciones significativas entre las variables de este estudio, se emplearon análisis estadísticos como ANOVA, respaldados por pruebas de normalidad que confirman la naturaleza paramétrica de los datos. Los resultados obtenidos destacan la viabilidad estructural del concreto reciclado y abren nuevas oportunidades para su implementación en proyectos de construcción sostenibles.

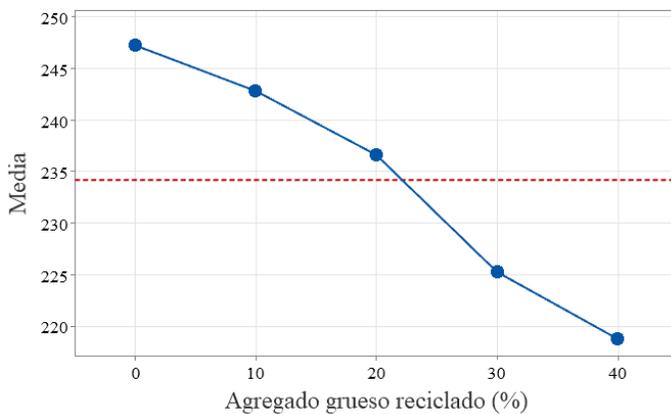
### A. Resistencia a la compresión del concreto 175 kg/cm<sup>2</sup>

Para establecer los resultados inferenciales y evaluar las relaciones relevantes entre las variables estudiadas, se establecieron diferencias entre los tratamientos mediante el uso de pruebas estadísticas ANOVA, ya que el análisis de normalidad revela que son paramétricas.

**Tabla 1**ANOVA para resistencia alcanzada (kg/cm<sup>2</sup>) vs. Agregado grueso reciclado (%)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Agregado grueso reciclado (%)	4	1700.70	425.176	61.67	0.000
Error	10	68.95	6.895		
Total	14	1769.65			

De la tabla 1 se desprende, El porcentaje de agregado grueso reciclado influye de manera notable en la resistencia obtenida (valor F = 61.67, valor p = 0.000). indica que las diferencias observadas en los niveles de agregado grueso reciclado poseen un impacto estadísticamente significativo en la resistencia del concreto reciclado.

**Fig. 1**Efectos principales para resistencia alcanzada (kg/cm<sup>2</sup>)

La figura revela que la resistencia obtenida del hormigón disminuye de forma constante conforme se incrementa el porcentaje de agregado grueso reciclado. Este impacto negativo se percibe en todos los niveles evaluados, con una disminución más marcada desde el 20%, resaltando la influencia del empleo de agregado grueso reciclado en la resistencia del hormigón reciclado. Además, los resultados del test de Tukey con un nivel de confianza del 95% indican que los tratamientos con 30% y 40% tienen influencia significativa en la resistencia.

#### B. Asentamiento del concreto 175 kg/cm<sup>2</sup>

El asentamiento del concreto es una propiedad crucial para evaluar su trabajabilidad, especialmente al incorporar materiales alternativos como el agregado grueso reciclado. Sin embargo, se ha observado que, a medida que aumenta el porcentaje de agregado grueso reciclado, la trabajabilidad del concreto tiende a disminuir debido a las características físicas del agregado, como su mayor rugosidad y absorción de agua.

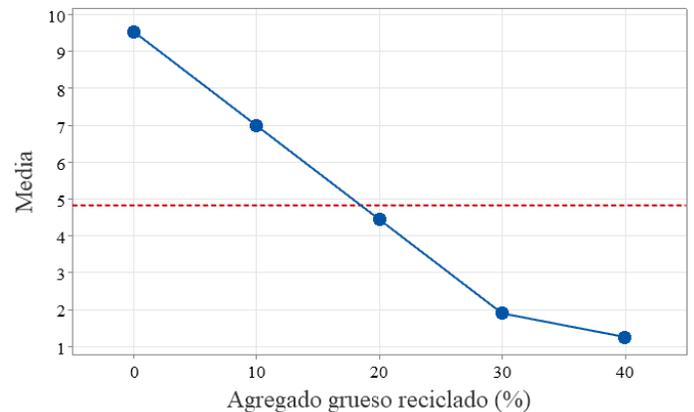
Para evaluar esta relación en concreto con una resistencia de 175 kg/cm<sup>2</sup>, se realizó un análisis estadístico ANOVA, comparando los valores de asentamiento (cm) en función de los porcentajes de agregado grueso reciclado utilizados.

**Tabla 2**

ANOVA para asentamiento (cm) vs. Agregado grueso reciclado (%)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Agregado grueso reciclado (%)	4	144.30	36.075	0.000	0.000
Error	10	0.00	0.000		
Total	14	144.30			

La tabla de ANOVA muestra el efecto del porcentaje de Agregado grueso reciclado es estadísticamente significativo, ya que el valor p es (0.000), lo que confirma que las diferencias observadas en la variable de respuesta no son producto del azar. Además, esto indica que el agregado grueso reciclado tiene impacto altamente significativo en el asentamiento.

**Fig. 2**

Efectos principales para asentamiento (cm)

La figura muestra el asentamiento del hormigón se reduce significativamente a medida que se incrementa el porcentaje de Agregado grueso reciclado. Este impacto se evidencia particularmente a partir del 20%, evidenciando una disminución significativa en la capacidad de trabajo del hormigón con porcentajes más altos de material reciclado. El test de Tukey muestra una disminución gradual y relevante del asentamiento, acompañada de un incremento en el porcentaje de Agregado grueso reciclado. El tratamiento con mayor impacto es el 0% de Agregado grueso reciclado, que presenta el asentamiento más alto (9.530 cm), lo que lo diferencia notablemente de todos los demás niveles. Por otro lado, el 40% posee la influencia más baja (1.270 cm), demostrando

que porcentajes más elevados de Agregado grueso reciclado disminuyen significativamente el asentamiento y la capacidad de trabajo del material.

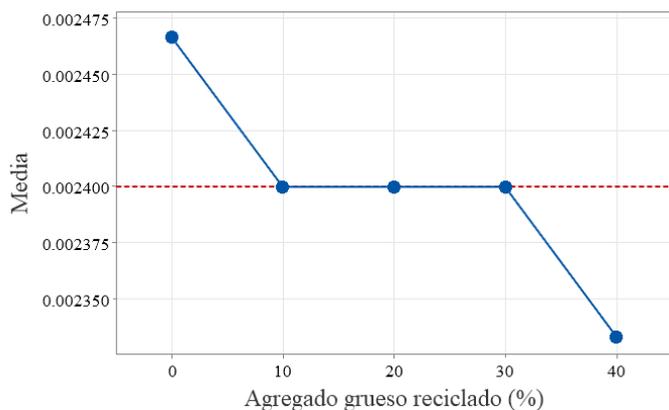
### C. Densidad del concreto 175 kg/cm<sup>2</sup>

La densidad del concreto de 175 kg/cm<sup>2</sup> es fundamental en edificaciones al garantizar un equilibrio entre seguridad estructural, eficiencia económica y durabilidad. Es ampliamente utilizado en elementos como columnas, vigas y losas, proporcionando resistencia suficiente para soportar cargas de servicio y condiciones ambientales comunes en edificaciones de baja a media altura. Además, cumple con normativas de construcción, asegurando estructuras confiables, económicas y sostenibles.

**Tabla 3**  
ANOVA para densidad (kg/cm<sup>3</sup>) vs. Agregado grueso reciclado (%)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Agregado grueso reciclado (%)	4	0.00000	0.00005	5.00	0.018
Error	10	0.00000	0.00001		
Total	14	0.00000			

La tabla muestra el porcentaje de Agregado grueso reciclado tiene efecto estadísticamente significativo en la densidad, puesto que el valor p (0.018) es menor que el nivel de significancia típico ( $\alpha = 0.05$ ). El valor F de 5.00 refuerza esta conclusión, indicando diferencias significativas entre los niveles de agregado grueso reciclado.



**Fig. 3**  
Efectos principales para densidad (kg/cm<sup>3</sup>)

La figura indica que la densidad del hormigón se reduce un poco con el incremento del porcentaje de Agregado grueso reciclado. A pesar de que las variaciones pueden ser menores hasta el 30%, se nota una reducción más marcada en el 40%, lo que indica que proporciones más elevadas de agregado grueso reciclado influyen en la densidad del hormigón

reciclable. Según el estudio de Tukey, se sostiene que el 0% de Agregado grueso reciclado ejerce una influencia considerable y muy distinta en relación con los otros tratamientos, dado que muestra una densidad elevada, mientras que los niveles con agregado grueso reciclado no muestran diferencias notables.

**Discusión.** - El análisis ANOVA demuestra que el porcentaje de agregado grueso reciclado influye significativamente en la resistencia a compresión del concreto de 175 kg/cm<sup>2</sup> (valor F = 61.67, p = 0.000). Los resultados indican que la resistencia disminuye de forma consistente con un aumento del agregado reciclado, siendo más pronunciada a partir del 30%. Esto concuerda con estudios previos que atribuyen la reducción a la porosidad y al mortero adherido del agregado reciclado [6, 11]. Sin embargo, técnicas como el prehumedecimiento pueden compensar parcialmente esta disminución, incrementando la resistencia hasta un 10.3% [9]. El agregado reciclado es una alternativa sostenible para reducir residuos de construcción y promover la economía circular [2, 3]. Aunque su uso plantea desafíos técnicos, se ha demostrado que con proporciones adecuadas, como un máximo del 50%, y técnicas innovadoras como la carbonatación o el recubrimiento con polímeros, se pueden lograr propiedades comparables al concreto convencional [15, 22]. La inteligencia artificial también permite optimizar mezclas y predecir comportamientos estructurales, mejorando su viabilidad práctica [28, 33].

El análisis ANOVA confirma que el porcentaje de agregado grueso reciclado afecta significativamente el asentamiento del concreto de 175 kg/cm<sup>2</sup> (p = 0.000). A medida que aumenta el agregado reciclado, el asentamiento disminuye drásticamente, siendo más pronunciado a partir del 20%. El tratamiento con 0% de agregado reciclado presentó el mayor asentamiento (9.53 cm), mientras que con 40% fue el menor (1.27 cm), evidenciando que características como la mayor absorción de agua y rugosidad del agregado reciclado reducen la trabajabilidad. Estos resultados coinciden con estudios previos que destacan la influencia del mortero adherido y la porosidad del agregado reciclado en la fluidez del concreto [11, 18]. Sin embargo, técnicas como el prehumedecimiento del agregado mejoran la manejabilidad, aumentando la viscosidad en un 22.5% [9]. Además, la combinación con aditivos o fibras puede mitigar la pérdida de trabajabilidad [14].

El análisis ANOVA revela que el porcentaje de agregado grueso reciclado posee efecto significativo en la densidad del concreto de 175 kg/cm<sup>2</sup> (valor F = 5.00, p = 0.018). La densidad disminuye ligeramente con el aumento del porcentaje de agregado reciclado, siendo este efecto más pronunciado a partir del 40%. Según el análisis de Tukey, el tratamiento con 0% de agregado reciclado presentó la mayor densidad, mientras que los tratamientos con agregado reciclado mostraron diferencias menos significativas entre sí. Esta

disminución se explica por las características inherentes del agregado reciclado, como su menor densidad y mayor porosidad debido al mortero adherido, lo que coincide con estudios que resaltan que estas propiedades afectan negativamente la densidad y otras propiedades mecánicas del concreto [6, 18]. Sin embargo, el uso de agregado reciclado sigue siendo una alternativa sostenible, ya que contribuye a la economía circular y reduce los residuos de construcción [2, 3]. Es importante además señalar que técnicas como el prehumedecimiento del agregado reciclado pueden mejorar su interacción con la matriz de concreto, reduciendo la absorción de agua y estabilizando la densidad [9]. Además, investigaciones han demostrado que hasta un 30% de agregado reciclado puede mantener propiedades aceptables de densidad y desempeño mecánico en concretos estructurales [10, 12]. Por otro lado, la densidad de morteros no es influenciado por la adición de sulfatos u óxidos de calcio [49].

#### IV. CONCLUSIONES

Los resultados evidencian que la adición de Agregado grueso reciclado como agregado grueso reduce significativamente la resistencia a compresión del concreto a los 28 días. Con un 0% de agregado reciclado, la resistencia alcanzó 247.25 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que con incrementos progresivos del 10%, 20%, 30% y 40%, la resistencia disminuyó a 242.83 kg/cm<sup>2</sup>, 236.63 kg/cm<sup>2</sup>, 225.30 kg/cm<sup>2</sup> y 218.81 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Esto demuestra que el Agregado grueso reciclado no contribuye de manera eficiente a la resistencia del concreto diseñado para  $f'_c = 175$  kg/cm<sup>2</sup>, ya que mayores porcentajes de adición resultan en una disminución significativa de la resistencia.

Los resultados evidencian que la adición de Agregado grueso reciclado como agregado grueso reduce significativamente la trabajabilidad del concreto en estado fresco. Con un 0% de Agregado grueso reciclado, el asentamiento alcanzó 9.53 cm, indicando un concreto fluido y trabajable. Con un 10% y 20% de Agregado grueso reciclado, los asentamientos fueron 6.99 cm y 4.45 cm, respectivamente, manteniéndose dentro de rangos trabajables según el diseño de mezcla. Sin embargo, con un 30% y 40% de Agregado grueso reciclado, los asentamientos disminuyeron a 1.91 cm y 1.27 cm, fuera de los parámetros establecidos por la NTP, indicando un concreto menos trabajable. Se concluye que proporciones de Agregado grueso reciclado superiores al 30% afectan negativamente la trabajabilidad del concreto fresco, haciendo que este no cumpla con los estándares requeridos.

Los resultados del ensayo de densidad del concreto en estado endurecido muestran que con un 0%, 10%, 20% y 30% de Agregado grueso reciclado se alcanzó una densidad de 0.0024 kg/cm<sup>3</sup>, dentro de los rangos permisibles, indicando un concreto eficiente. Sin embargo, con un 40% de Agregado grueso reciclado, la densidad disminuyó a 0.0023 kg/cm<sup>3</sup>. Se

concluye que la adición de Agregado grueso reciclado como agregado grueso en proporciones menores o iguales al 30% no afecta significativamente la densidad del concreto, mientras que proporciones superiores al 30% generan una disminución en esta propiedad.

#### AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

Agradecer al departamento de Ingeniería, en especial a la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, por impulsar la investigación científica que gracias a ello se llega a obtener los resultados de la investigación anhelada.

#### REFERENCIAS

- [1] S. S. Trivedi, B. B. Das, and S. Barbhuiya, 'Performance of construction and demolition waste as recycled aggregates in concrete - review', *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials*, pp. 1–28, Dec. 2024, doi: 10.1680/jcoma.23.00030.
- [2] D. Zhuang, S. Chen, J. Li, S. Han, and Y. Guo, 'Recycled coarse aggregate from waste concrete strengthened by microbially induced calcium carbonate precipitation', *Environ Technol Innov*, vol. 37, p. 103981, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.eti.2024.103981.
- [3] L. Dong, Y. Fu, M. He, and W. Huang, 'Recycling coarse aggregates from concrete using high voltage pulses', *Constr Build Mater*, vol. 458, p. 139669, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.139669.
- [4] X. Liu, X. Zhang, and P. Yan, 'Prediction model for elastic modulus of recycled concrete based on properties of recycled coarse aggregate and cementitious materials', *Case Studies in Construction Materials*, vol. 21, p. e04058, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.cscm.2024.e04058.
- [5] S. Guo, Y. Ding, P. Xu, J. Wu, and J. Bao, 'Stress-strain relationship of steel fiber reinforced fully recycled coarse/fine aggregate concrete under cyclic loading', *Case Studies in Construction Materials*, vol. 22, p. e04139, Jul. 2025, doi: 10.1016/j.cscm.2024.e04139.
- [6] Y. Chen, Q. Wang, P. Ye, and W. Zhang, 'Experimental and damage modeling research on direct shear behavior of recycled concrete with pebble/gravel coarse aggregate', *Journal of Building Engineering*, vol. 98, p. 111218, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.job.2024.111218.
- [7] Z. Feng, J. Wu, D. Hu, and L. Zhao, 'Uniaxial compressive behavior and unified damage constitutive model of various types of recycled coarse aggregate concrete under freeze-thaw action', *Mater Today Commun*, vol. 41, p. 110976, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.mtcomm.2024.110976.
- [8] C. Xuyong, M. Jiawei, W. Qiaoyun, L. Jie, C. Shukai, and L. Zhuo, 'Study of the effect of pretreatment on coarse recycled aggregate in self-compacting concrete: rheology, mechanical properties, and microstructures', *Journal of Building Engineering*, p. 111744, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.job.2024.111744.
- [9] C. Vintimilla and M. Etxeberria, 'Limiting the maximum fine and coarse recycled aggregates - Type B used in structural concrete', *Constr Build Mater*, vol. 459, p. 139791, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.139791.
- [10] L. Lin, J. Xu, W. Ying, Y. Yu, and L. Zhou, 'Post-fire compressive mechanical behaviors of concrete incorporating coarse and fine recycled aggregates', *Constr Build Mater*, vol. 461, p. 139948, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2025.139948.
- [11] P. Singh and K. Kapoor, 'Evaluation of fly ash-based geopolymer concrete incorporating coarse and fine recycled aggregates', *Advances in Cement Research*, pp. 1–14, Jan. 2025, doi: 10.1680/jadcr.24.00115.
- [12] C. Liu, X. Zhang, J. Lai, and Y. Qin, 'Steel fiber-reinforced recycled coarse aggregate shotcrete repair for tunnel lining corrosion: Experimental tests and calculation analysis', *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 157, p. 106236, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.tust.2024.106236.
- [13] N. A. Sheikh, H. Kathuda, and N. Shatarat, 'Effect of 3D, 4D, 5D steel fibers on the shear behavior of reinforced concrete beams made of

- recycled coarse aggregate', *Constr Build Mater*, vol. 460, p. 139842, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.139842.
- [14] J. A. Joy, C. Z. Bin Zahid, and S. M. I. Islam, 'Influence of plastic coating temperature on recycled concrete brick coarse aggregate', *Results in Materials*, vol. 23, p. 100616, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.rinma.2024.100616.
- [15] M. N. Akhtar, O. Albatayneh, J. N. Akhtar, and S. Koting, 'Porous asphalt pavement design by incorporating recycled coarse aggregate for sustainable urban drainage: An experimental study', *Results in Engineering*, vol. 25, p. 103751, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.rineng.2024.103751.
- [16] H. Zhang, S. Yi, X. Xu, and J. Yao, 'New insights into impacts of pre-wetting strategies of recycled coarse aggregate (RCA) on microstructure and performance of concrete', *Journal of Building Engineering*, vol. 99, p. 111525, Apr. 2025, doi: 10.1016/j.job.2024.111525.
- [17] E. Abuowda, H. El-Hassan, and T. El-Maaddawy, 'Synergistic impact of geopolymer binder and recycled coarse aggregates on the performance of concrete masonry units', *Cleaner Materials*, vol. 14, p. 100272, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.clema.2024.100272.
- [18] L. Jin, T. Wu, P. Liu, Z. Wang, and P. Zhou, 'Macro-meso degradation evolution of fully recycled coarse aggregate concrete under sulfate attack in marine environment', *Structures*, vol. 69, p. 107536, Nov. 2024, doi: 10.1016/j.istruc.2024.107536.
- [19] S. Irum and F. Shabbir, 'Performance of fly ash/GGBFS based geopolymer concrete with recycled fine and coarse aggregates at hot and ambient curing', *Journal of Building Engineering*, vol. 95, p. 110148, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.job.2024.110148.
- [20] Z. Ji, J. Wu, J. Zhao, and L. Wang, 'Impact resistance of recycled coarse aggregate concrete after sulfate dry wet cycles', *Structures*, vol. 71, p. 108060, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.istruc.2024.108060.
- [21] H. Li, K. Liang, H. Chen, and R. K. L. Su, 'The effect of carbonated recycled coarse aggregate on the fracture properties of concrete', *Constr Build Mater*, vol. 442, p. 137562, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.137562.
- [22] A. Vahidi, A. Mostaani, A. Teklay Gebremariam, F. Di Maio, and P. Rem, 'Feasibility of utilizing recycled coarse aggregates in commercial concrete production', *J Clean Prod*, vol. 474, p. 143578, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2024.143578.
- [23] Z. Ji et al., 'Research on the flexural performance of recycled coarse aggregate concrete beams after carbonation', *Journal of Building Engineering*, vol. 97, p. 110645, Nov. 2024, doi: 10.1016/j.job.2024.110645.
- [24] C. Chang, F. Di Maio, R. Bheemireddy, P. Posthoorn, A. T. Gebremariam, and P. Rem, 'Rapid quality control for recycled coarse aggregates (RCA) streams: Multi-sensor integration for advanced contaminant detection', *Comput Ind*, vol. 164, p. 104196, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.compind.2024.104196.
- [25] Q. Yuan, J. Zhang, S. Zhang, K. Zheng, and L. Chen, 'An eco-friendly solution for construction and demolition waste: Recycled coarse aggregate with CO<sub>2</sub> utilization', *Science of The Total Environment*, vol. 950, p. 175163, Nov. 2024, doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.175163.
- [26] M. Abu Bakr, S. M. M. Hasnain, R. Zairov, and A. E. Ragab, 'Effect of MICP-treated recycled coarse aggregates and banana fibres on the self-healing and flexural property restoration', *Constr Build Mater*, vol. 462, p. 139912, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2025.139912.
- [27] C. Cakiroglu, T. H. Tusher, Md. Shahjalal, K. Islam, A. M. Billah, and M. L. Nehdi, 'Explainable ensemble learning graphical user interface for predicting rebar bond strength and failure mode in recycled coarse aggregate concrete', *Developments in the Built Environment*, vol. 20, p. 100547, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.dibe.2024.100547.
- [28] C. Liu et al., 'Interlayer reinforced 3D printed concrete with recycled coarse aggregate: Shear properties and enhancement methods', *Addit Manuf*, vol. 94, p. 104507, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.addma.2024.104507.
- [29] Y. Zeng, H. Guo, J. Lei, Y. Hu, and Z. Yang, 'Study on the mechanical properties of recycled brick coarse aggregate concrete based on finite element modeling', *Journal of Building Engineering*, vol. 95, p. 110110, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.job.2024.110110.
- [30] H. Bian et al., 'Prediction model for time-dependent drying shrinkage of recycled coarse and fine aggregate concrete based on internal relative humidity', *Constr Build Mater*, vol. 439, p. 137426, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.137426.
- [31] F. Wang, X. Luo, Y. Hai, and C. Yu, 'Experimental investigation of face mask fiber-reinforced fully recycled coarse aggregate concrete', *Constr Build Mater*, vol. 447, p. 138141, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.138141.
- [32] P. Kumari, S. Paruthi, A. Alyaseen, A. Husain Khan, and A. Jijja, 'Predictive performance assessment of recycled coarse aggregate concrete using artificial intelligence: A review', *Cleaner Materials*, vol. 13, p. 100263, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.clema.2024.100263.
- [33] D. Trento, F. Faleschini, V. Revilla-Cuesta, and V. Ortega-López, 'Improving the early-age behavior of concrete containing coarse recycled aggregate with raw-crushed wind-turbine blade', *Journal of Building Engineering*, vol. 92, p. 109815, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.job.2024.109815.
- [34] S. Feng et al., 'Effect of nanosilica and fiber on mechanical properties and microstructure of recycled coarse aggregates road concrete', *Constr Build Mater*, vol. 428, p. 136404, May 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.136404.
- [35] O. Belabbas, F. Bouziadi, B. Boulekbache, M. Hamrat, A. Haddi, and S. Amziane, 'Mechanical properties of multi-recycled coarse aggregate concrete, with particular emphasis on experimental and numerical assessment of shrinkage at different curing temperatures', *Journal of Building Engineering*, vol. 89, p. 109333, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.job.2024.109333.
- [36] W. Zhang, Z. Duan, H. Liu, Y. Yao, Z. Zhang, and C. Liu, 'Salt freezing-thawing damage evolution model based on the time-dependent hydration reaction incorporating rice husk ash and recycled coarse aggregate', *Constr Build Mater*, vol. 440, p. 137179, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.137179.
- [37] D. Kumar, K. Rao, and L. Parameshwaran, 'Engineering and microstructural properties of self-compacting concrete containing coarse recycled concrete aggregate', *Magazine of Concrete Research*, vol. 76, no. 18, pp. 1059–1072, Sep. 2024, doi: 10.1680/jmacr.23.00338.
- [38] D. Lin, J. Wu, P. Yan, and D. Hu, 'Effect of recycled coarse aggregate model arrangement mode on the axial compressive performance of MRCAC', *Constr Build Mater*, vol. 422, p. 135783, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.135783.
- [39] R. Qian et al., 'Investigations on carbon-sequestration optimization of recycled coarse-aggregate and its effects on concrete performances', *Journal of Building Engineering*, vol. 90, p. 109453, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.job.2024.109453.
- [40] C. Zheng, Y. Liu, L. Li, and L. Yang, 'Effect of sulfate freeze-thaw on the stress-strain relationship of recycled coarse aggregate self-compacting concrete: Experimental and machine learning algorithms', *Constr Build Mater*, vol. 449, p. 138383, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.138383.
- [41] F. Mukhtar, 'Simulation of fracture behavior in seawater and sea-sand mixed recycled coarse aggregate concrete under three-point bending', *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, vol. 131, p. 104413, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.tafmec.2024.104413.
- [42] N. A. Abdulla, 'Role of coarse recycled aggregate in concrete beams', *Next Materials*, vol. 4, p. 100216, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.nxmate.2024.100216.
- [43] K. Zhang, Q. Zhang, W. Lin, and J. Ou, 'Material and structural properties of recycled coarse aggregate concrete made with seawater and sea-sand: A review', *Journal of Building Engineering*, vol. 87, p. 109042, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.job.2024.109042.
- [44] Y. Zhang, B. Li, C. Zhang, H. Xu, K. Li, and C. Zhao, 'Research on the mechanism of chlorine corrosion resistance of graphite tailings modified recycled coarse aggregate concrete: Corrosion product transformation and multi-scale mathematical characterization model', *Corros Sci*, vol. 233, p. 112099, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.corsci.2024.112099.
- [45] L. Jin et al., 'Mesoscale-based mechanical parameters determination and compressive properties of fully recycled coarse aggregate concrete', *Journal of Building Engineering*, vol. 90, p. 109366, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.job.2024.109366.
- [46] H. Zhu, X. Zeng, X. Lan, G. Long, Y. Xie, and J. Liu, 'A novel high-damping metaconcrete through designing resonant aggregates made from recycled rubber powder-coated coarse aggregate', *Constr Build*

- Mater, vol. 427, p. 136266, May 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.136266.
- [47] K. Li et al., 'Experimental study on the fly ash-basalt fiber reinforced recycled coarse aggregate pervious concrete', Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, vol. 135, p. 103652, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.pce.2024.103652.
- [48] W. Bai, X. Wang, C. Yuan, J. Guan, K. Cao, and C. Xie, 'Study on mechanical properties and meso-damage mechanism of carbon-polyvinyl alcohol hybrid fiber reinforced recycled coarse aggregate concrete under the coupling action of sodium sulfate and dry-wet cycles', Eng Fract Mech, vol. 307, p. 110303, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.engfracmech.2024.110303.
- [49] J. Bravo-Apaza and A. Nuñez-Fernandez, "Evaluación de morteros con óxido de calcio y sulfato de calcio hidratado para uniones en mampostería," C&T Riqchary Revista de investigación en ciencias y tecnología, vol. 6, no. 1, pp. 37-43, Jul. 2024, doi: 10.57166/riqchary.v6.n1.2024.120.