ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.352

Evaluation of the physical and mechanical behavior of concrete f'c = 28 MPa with partial replacement of coarse recycled aggregate in paving stones, Trujillo

Cirilo Hisvan Santos Polo, Bachiller1; Miuler Blas Vega, Bachiller[1];

[1]Universidad César Vallejo, chsantoss@ucvvirtual.edu.pe, bblasve20@ucvvirtual.edu.pe

Abstract* - Accelerated population growth, coupled with the industrialization and urbanization of developing countries, has contributed to environmental deterioration, while insufficient attention to sustainable construction has exacerbated global pollution problems. This initiative is aligned with the Sustainable Development Goals (SDG 11) by promoting the use of construction and demolition waste (CDW). The objective was to evaluate the impact of partially replacing natural coarse aggregate (NCA) with recycled coarse aggregate (RCA) in percentages of 10%, 30%, 40%, and 50%. The study had a quantitative, applied-experimental approach and utilized an experimental research design. The sample consisted of 120 concrete pavers at 28 MPa, subjected to compression, flexural, abrasion, absorption, and dimensional variation tests. The results of the concrete paver with 10% RCA achieved a higher compressive strength than the standard sample. When the ARG was increased to 30, 40, and 50%, the mechanical properties decreased. Likewise, the physical characteristics varied proportionally to the ARG replacement. The use of ARG is a viable alternative for the production of paving stones for pedestrian pavements, which comply with NTP 399.611 and contribute to reducing environmental impact.

Keywords: Pavers, coarse recycled aggregate, mechanical strength.

Evaluación del comportamiento físico mecánico del concreto f'c=28 MPa con sustitución parcial de agregado reciclado grueso en adoquines, Trujillo

Cirilo Hisvan Santos Polo, Bachiller1; Miuler Blas Vega, Bachiller[1];

[1]Universidad César Vallejo, chsantoss@ucvvirtual.edu.pe, bblasve20@ucvvirtual.edu.pe

Resumen- ***El crecimiento acelerado de la población, sumado a la industrialización y urbanización de los países en desarrollo, ha contribuido al deterioro ambiental, mientras que la atención hacia la construcción sostenible ha sido insuficiente, agravando los problemas de contaminación global. Se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 11), al promover el uso de residuos de construcción y demolición (RCD). El objetivo fue evaluar el impacto de sustituir parcialmente el agregado grueso natural (AGN) por agregado reciclado grueso (ARG) en porcentajes de 10%, 30%, 40% y 50%. El estudio tuvo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado experimental, y utilizó un diseño de investigación experimental. La muestra consistió en 120 adoquines de concreto 28MPa sometidos a ensayos de compresión, flexión, abrasión, absorción y variación dimensional. Los resultados del adoquín de concreto con 10% de ARG, alcanzó una resistencia a compresión superior a la muestra patrón. Al incrementar el ARG a 30, 40 y 50%, las propiedades mecánicas disminuyeron su resistencia. Así mismo las características físicas varían proporcionalmente al reemplazo del ARG. El uso del ARG resulta una alternativa viable, en la elaboración de adoquines para pavimento peatonal, que cumplen con NTP 399.611 y contribuyen a la reducción del del impacto ambiental.***

Palabras clave: Adoquines, agregado reciclado grueso, resistencia mecánica.

I. INTRODUCCIÓN

En los años recientes, se incrementó las actividades de obras de construcción, renovación y demolición ocasionando un significativo aumento en el consumo de hormigón a nivel mundial, esto ha posicionado a la industria de la construcción en el principal consumidor de recursos naturales y generador de grandes volúmenes de residuos de concreto. El crecimiento acelerado de la población, sumado a la industrialización y creación de zona urbanas en los países en vías de desarrollo, han contribuido al deterioro ambiental, mientras que la atención hacia la construcción sostenible ha sido insuficiente, agravando los problemas de contaminación global. [1]

A nivel global, se espera la generación en toneladas un billón de desechos derivados de los procesos de demolición y construcción. De esta cantidad de toneladas, aproximadamente 510 millones se producen en Europa. Sin embargo, solo el 8% de este total es reciclado. Por otro lado, en naciones como Reino Unido, los Países Bajos y Alemania, utilizan agregados reciclados alcanzando casi el 20% del total producido. [2].

La importancia de los residuos de construcción y demolición (RCD) como materiales de reciclaje desempeñan un papel importante en el marco de los objetivos sostenibles (ODS). Su gestión adecuada es significativa al reducir el impacto ambiental y promover practicas sostenibles. Los RCD se alinean con el ODS 11: Comunidades y Ciudades Sostenibles, al tener una gestión eficiente del reciclaje, la valorización de los residuos se incrementa y disminuye el impacto de carbono. [3].

A nivel mundial los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) se encuentran entre los mayores flujos de residuos del mundo, por lo que, dentro del concepto de Economía Circular, existe un creciente interés en su reutilización , por otro lado, la producción de agregados presiona a la industria ya que son recursos no renovables, cada vez más costosos, las empresas e construcción requieren ser más sustentables, y los municipios y gobiernos conjuntamente con la industria y centros de investigación promueven la investigación, desarrollo, revalorización y reingreso a la economía [4]. Los RCD deben procesarse para constituirse en agregados finos y gruesos y reutilizarse en usos múltiples como bloques de concreto. El sector construcción en Europa el 9% representa al Producto Interno Bruto (PIB), generando aproximadamente 374 millones de toneladas de RCD, donde los residuos inertes representan el 90% del total, es una cantidad representativa de residuos importantes. En los EE. UU., el porcentaje del PIB del sector de la construcción es ligeramente inferior, con un 4,3%, generando alrededor de 600 millones de toneladas de RCD en el 2018 (donde el 94,5% se generó durante las actividades de demoliciones y el 5,5% durante la construcción). En China, la producción de residuos sólidos ascendió de 1.150 millones de toneladas en el 2014 a 2.640 millones de toneladas en el 2015, representando entre el 30 y el 40% del total mundial [5].

Los países en desarrollo, enfrentan muchos desafíos en integrar los RCD debido a la informalidad, hace difícil su revalorización y reutilización de los residuos, en el concreto premezclado, por lo que se busca implementar en prefabricados para usos específicos como adoquines para veredas, calzadas de bajo o medio tránsito, placas prefabricadas para cercos así como sus postes de anclaje, así como ladrillos no estructurales, para división de espacios, con propiedades diversas como acústicas, térmicas, estos productos tienen alta demanda y constituyen una alternativa [6] y [7].

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

En Latinoamérica, también existe mucha preocupación para la revalorización de los RCD y también se coincide que los prefabricados son una gran alternativa, así en Colombia son usados como materia prima para concretos Mejía et al. (2023). En Colombia se han realizado estudios de mercado e inversión para el aprovechamiento, no como agregados, sino como productos prefabricados que resultan de gran valor y uso inmediato [9]. En Bolivia coincide con esta visión, y ha desarrollado una línea de celosías basadas en hormigón con base en RCD, así como muchos elementos ornamentales, pasamanos, zócalos, y otros elementos arquitectónicos de gran valor no estructurales [10]

Para [11] la utilización de concreto reciclado puede evitar que el 70% de las 19 toneladas de desmonte producidas diariamente en Lima terminen en el mar o en los ríos, ya que solo el 30% llega a botaderos autorizados. La investigación es clave para garantizar que esta tecnología pueda aplicarse en condiciones locales, aprovechando al máximo los residuos de construcción. En Perú se han hecho muchos esfuerzos en la utilización de los RCD, la falta de estandarización y diversidad no permite o facilita que sean usados en muchos tipos de obra, pero por otro lado hay muchos usos en que pueden ser usados ampliamente, como los prefabricados para fines específicos, como ladrillos para muros portantes o pavimentación de vías con bloques de concreto (adoquines), [12); siendo que cada vez más se propone y promueve esta tendencia como el caso de adoquines prefabricados para uso peatonal en Lambayeque. [13]

En Trujillo, el sector construcción está en desarrollo, debido a que la ciudad está creciendo en forma vertical, las demoliciones producen residuos de concreto afectando al medio ambiente por la gran cantidad de residuos de concreto generados; surge la alternativa de reciclar estos residuos mediante procesos de trituración, clasificación y limpieza produciendo agregados reciclado de concreto (ARC), conformado por agregado reciclado grueso (ARG) y agregado reciclado fino (ARF). que cumpla con las normas establecidas y que reemplacen al agregado natural. Ante esta realidad problemática, se plantea el siguiente objetivo de investigación:

Como, objetivo general de la investigación planteamos: Evaluar el comportamiento físico mecánico del concreto f'c=28MPa con sustitución parcial de agregado reciclad grueso en adoquines, Trujillo. Con todo ello, se estará contribuyendo con el objetivo de desarrollo sostenible "Ciudades y comunicaciones sostenibles" (OSD 11), mediante el uso de adoquines en pavimento peatonal.

Los adoquines son materiales compactos prefabricados, elaborados de concreto, que es un conglomerado fabricado artificialmente compuesto de agua, cemento y agregados (finos y gruesos), que resiste bastante bien las cargas de compresión debido a que todas estas materias primas son sometidas a rigurosos procesos de selección y a estrictos controles de calidad realizados por los Laboratorios de Materiales de Construcción [14]

En el caso de los adoquines de concreto los primeros aspectos a evaluar son las características del material (resistencia compresión, a flexión, absorción y desgaste) que se mide desde el cumplimiento de la normatividad vigente en cada país [15]. Para Perú la NTP 399.61 399.6111 2017 Lima, Perú [16]

II. MATERIALES Y METODOS

A. Agregados

Los agregados naturales (agregado grueso y fino) se obtuvieron de la cantera San Martin, Trujillo, Región de La Libertad. Su ubicación está en la Carretera Panamericana Norte km 599.

B. Agregado reciclado grueso

En lo que respecta al agregado reciclado grueso de concreto fue obtenido de acopiar y seleccionar y triturar manualmente y transportados al Laboratorio INGEOFALTop PERU ING. & ASOCIADOS SAC, para ser considerados en el diseño de mezcla de concreto 28 MPa.

Fig. 1 Agregado reciclado grueso utilizada para la investigación.

C. Muestra

En la presente investigación se consideró 120 adoquines, las muestras presentan una sustitución parcial del agregado grueso natural (AGN) en (0%, 10 %, 30 %, 40 y 50%) por AGR. Su distribución de los adoquines fue 45 para compresión, 45 para flexión,15 para ensayos de absorción y 15 para ensayos de abrasión.

D. Normativa y ensayos utilizados

Para dar validez científica, se ha considerado las normas de American Society for Testing and Materials (ASTM) y norma técnica peruana NTP 399.611 para adoquines de concreto para pavimentos.

En cuanto a los agregados naturales se realizaron los ensayos de granulometría (ASTM C33303/ NTP 400.012), compresión (NTP 399.604 ; ASTM C-39), flexión (ASTM C-293/ ASTM C-293M), abrasión (ASTM C944/ C944M-12), absorción (la NTP 399.611) y variación dimensional (NTP 399.611).

E. Procedimiento

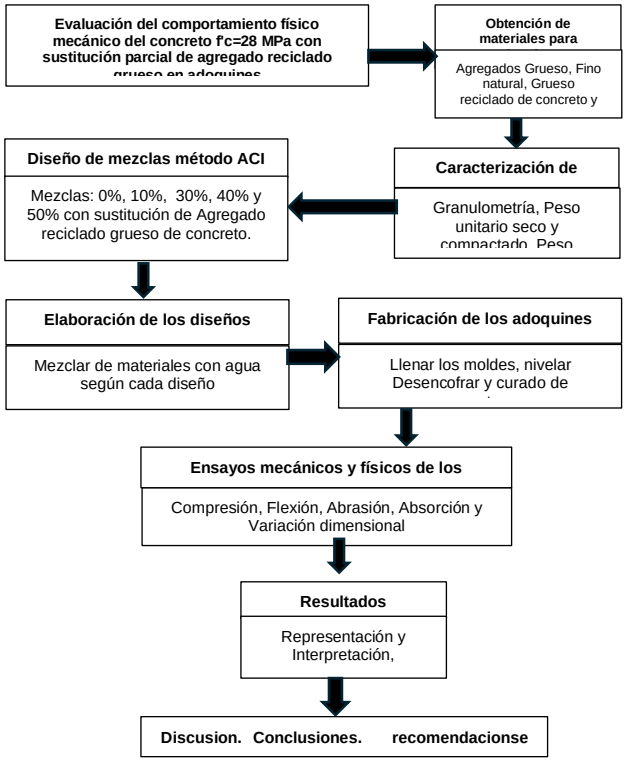

Fig. 2 Procedimiento de la investigación.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Caracterización de agregado grueso y fino

Tabla 1. *Caracterización del Agregado Grueso.*

Peso de la muestra	Pes/Unit. Suelto (kg/n3)	Pes/Unit. compactado	Cont. de humedad	Tam. máx. nominal	Absorción (%)
1616.8gr	1853kg/m3	1945 kg/m3	1.2 %	1/2"	0.92 %

La información en la tabla1 presenta las propiedades del agregado grueso, teniendo como tamaño máximo nominal, para este caso, ½". Se usaron NTP 400.012 y la ASTM C136.

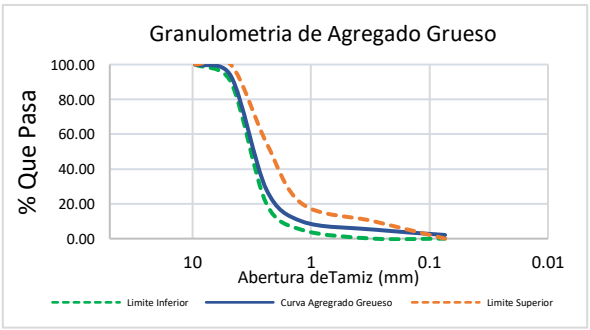

Fig. 2. Granulometría de A. G

En la figura 2 se aprecia la distribución del agregado (confitillo), evidenciando que la curva se encuentra dentro de los limites inferior y superior, cumpliendo con la norma NTP 400.012 y ASTM C136 para ser usado en diseños de mezclas de concreto para adoquines.

Tabla 2. *Caracterización del Agregado Fino.*

Peso de la muestra	Pes/Unit. suelto	Pes/Unit. compactado	Cont. de humedad	Tam. máx. nominal	Absorción (%)	Módulo fineza
1083.0gr	1698kg/m3	1746kg/m3	2.25 %	1/4"	0.65 %	2.82

Los datos de la tabla 2 presentan las características del agregado fino, teniendo como módulo de fineza 2.82. Se usaron las normas técnicas NTP 400.012 y la ASTM C136.

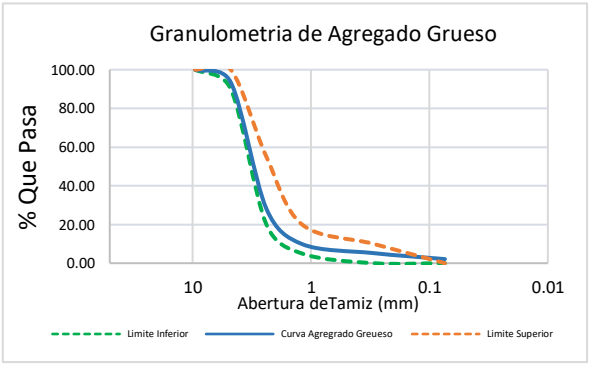

Figura 3. Granulometría de A. F

En la figura 3 se observa la distribución del agregado (arena gruesa), evidenciando que la curva se encuentra dentro de los limites inferior y superior, cumpliendo con la norma ASTM C136 para ser usado en diseños de mezclas de concreto para adoquines.

Tabla 3. *Caracterización Agregado Reciclado Grueso (ARG)*

Peso de la muestra	Pes/Unit. suelto	Pes/Unit. compactado	Cont. de humedad	Tam. máx. nominal	Absorción (%)
1507.3gr	1355kg/m3	1435 kg/m3	0.8 %	1/2"	1.8 %

La información en la tabla3 presenta las características del agregado reciclado grueso, teniendo como tamaño máximo nominal, ½". Se usaron las normas técnicas: NTP 400.012 y la ASTM C136.

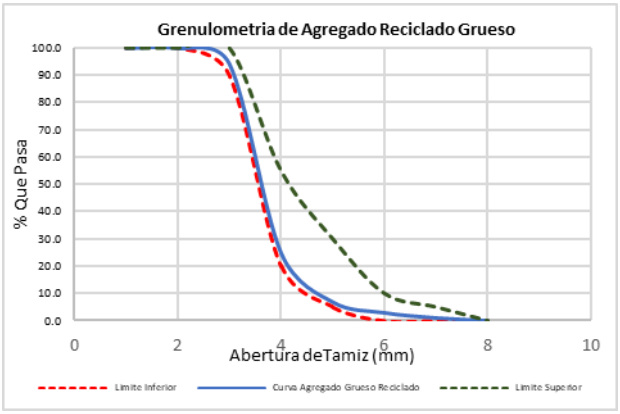

Fig. 4. Granulometría de ARG.

La figura 4 muestra la caracterización del agregado grueso reciclado de concreto, con la curva granulométrica situada dentro de los límites de huso inferior y superior, que cumple para ser usado en mezclas de concreto para adoquines según norma ASTM C136.

B. *Propiedades de mecánicas de concreto 28MPa*

Resistencia a la compresión de adoquines elaborados con concreto f'c=28 MPa, y sustitución parcial de agregado grueso reciclado, a 28 días. Según NTP 399.611

Tabla 4. *Resultados de los ensayos a compresión de los adoquines elaborados con diseño de mezcla 28MPa con 0% 10%. 30%, 40% y 50% de AGR.*

Muestras	F´c diseño (MPa)	Tiempo (días)	Resistencia a la compresión Individual (MPa)	Resistencia a la compresión Promedio (MPa)	%
Patrón	28	28	36.50	36.60	
Patrón	28	28	36.60		102.50
Patrón	28	28	36.70		
10% ARG	28	28	36.05	36.17	
10% ARG	28	28	36.39		101.34
10% ARG	28	28	36.08		
30% ARG	28	28	34.16	33.94	
30% ARG	28	28	33.55		95.07
30% ARG	28	28	34.09		
40% ARG	28	28	33.02	32.96	
40% ARG	28	28	32.55		92.33
40% ARG	28	28	33.30		
50% ARG	28	28	30.84	30.84	
50% ARG	28	28	30.98		86.40
50% ARG	28	28	30.70		

La tabla 4 evidencia el promedio de la resistencia a compresión de 3 unidades de adoquines evaluadas para cada periodo de tiempo con 0%, 10%. 30%, 40% y 50% de AGR.

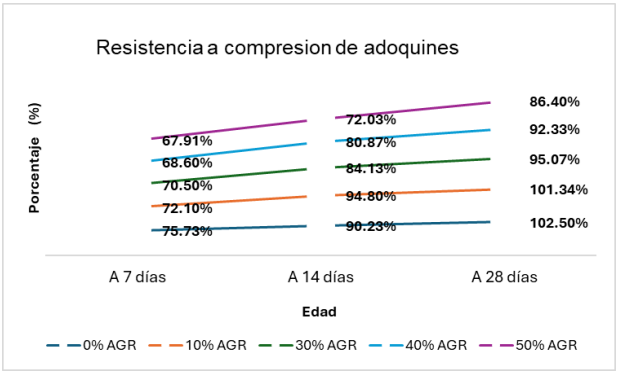

Fig. 5. *Grafica resistencia a compresión de diseño 28MPa en adoquín con sustitución parcial de 10%, 30%, 40% y 50% de ARG.*

En la figura 5 se muestran los resultados del ensayo de compresión evaluados a los adoquines, a los diferentes días de curado. El adoquín patrón alcanzo 102.5%, con proporción de 10% de ARG logro alcanzar 101.34% está cumple los parámetros de la NTP 399.611

Tabla 5. *Resultados de los ensayos a flexión de los adoquines elaborados con diseño de mezcla 28MPa (patrón) y modificados.*

N°	Muestra Descripción	f´c diseño (MPa)	Edad (días)	Módulo de rotura (MPa)	Promedio módulo de rotula (MPa)	%
1	Adoquines 28 MPa con 0% ARG	28	28	5.12	5.11	
2		28	28	5.03		102.17
3		28	28	5.18		
1	Adoquines 28 MP con 10% ARG	28	28	4.41	4.91	
2		28	28	5.07		101.54
3		28	28	5.26		
1	Adoquines 28 MPa con 30% ARG	28	28	4.12	4.27	
2		28	28	4.55		85.32
3		28	28	4.13		
1	Adoquines 28 MPa con 10% ARG	28	28	4.35	4.19	
2		28	28	4.15		83.74
3		28	28	4.06		
1	Adoquines 28 MPa con 10% ARG	28	28	4.13	3.95	
2		28	28	3.99		78.02
3		28	28	3.74		

En la tabla 5, se muestran los resultados de los ensayos a flexión de los adoquines realizados en los 28 días, usando 0%, 10% de ARG. y 90% de AG

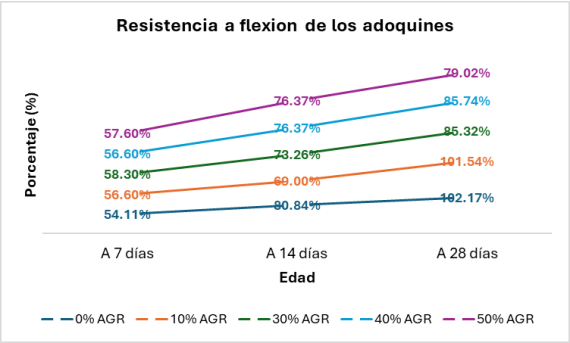

Figura 7. *Resultado resistencia a flexión de diseño 28MPa en adoquín con sustituciones parciales del agregado grueso natura por ARG*

En la figura 6 se muestran los resultados de las pruebas de flexión evaluados a los adoquines, a los diferentes días de curado, los adoquines con sustitución parcial por ARG en porcentajes de 10%, alcanzo una resistencia de 101.54% menor que del diseño 28 MPa siendo considerable y los porcentajes de 30, 40 y 50 son inferiores no alcanzando lo requerido por la norma NTP 339.124 y la COGUANOR NTG 41087 Información de ensayos adoquines de según NTP399.611% ASTM C944 de abrasión.

Tabla 6. *Resultados de los ensayos de abrasión de los adoquines elaborados con las mezclas: patrón y modificados con ARG.*

Muestra con Reemplazo	Días de curado	Carga (N)	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Desgaste (g)	Desgaste (%)	% promedio
Patrón 0% ARG	28	98	3537.0	3535.6	1.41	0.040	0.040
			3510.0	3508.9	1.14	0.032	
			3500.0	3498.3	1.71	0.049	
10% ARG	28	98	3537.0	3535.9	1.08	0.031	0.040
			3540.0	3538.8	1.22	0.034	
			3530.0	3528.1	1.94	0.055	
30% ARG	28	98	3504.0	3502.4	1.63	0.047	0.047
			3500.0	3498.6	1.37	0.039	
			3510.0	3508.1	1.88	0.054	
40% ARG	28	98	3484.0	3482.5	1.53	0.044	0.053
			3475.0	3473.3	1.74	0.050	
			3469.0	3466.7	2.26	0.065	
50% ARG	28	98	3496.0	3493.7	2.31	0.066	0.068
			3471.0	3468.8	2.24	0.065	
			3480.0	3477.4	2.56	0.074	

La tabla 6 presenta los resultados de abrasión de los adoquines con diseño 28 MPa (patrón) es 0.040% y la muestra con 10 % de ARG fue 0.040%. presentan un promedio similar en el desgaste, se evidencia también que a mayor cantidad de ARG. la abrasión aumenta.

C. *Propiedades físicas del concreto modificada con agregado reciclado (ARG)*

Resultados del ensayo de Absorción.

Tabla 7. Resultados de ensayos de absorción en adoquines con agregado natural y con ARG de concreto NTP 399.611

Muestra con Reemplazo	Días de curado	Peso Saturado (g)	P. seco al horno (g)	Absorción (%)	(%) Prom. absorción
Patrón 0% ARG	28	3510	3345	4.93	6.04
		3620	3381	7.07	
		3600	3392	6.13	
10% ARG	28	3600	3378	6.57	6.08
		3610	3373	7.03	
		3520	3364	4.64	
30% ARG	28	3680	3429	7.32	6.98
		3665	3434	6.73	
		3695	3457	6.88	
40% ARG	28	3735	3467	7.73	7.20
		3765	3514	7.14	
		3725	3490	6.73	
50% ARG	28	3775	3509	7.58	7.36
		3767	3495	7.78	
		3765	3528	6.72	

Los resultados de la tabla 7 cumplen con la norma NTP 399.611, pues el tipo de adoquín I y II presentan como absorción máxima 6% (en 3 unidades) y 7.5% (una unidad) el promedio de absorción mostrados en ta tabla cumple con el requerimiento explicado.

Variación dimensional

Tabla 8. *Resultados de evaluar la variación dimensional en los adoquines con agregado natural y con AGR de concreto.*

Muestra con Reemplazo	DIMENSIONES - ASUMIDAS			DIMENSIONES - CONSTATADAS			(NTP 399.611) VARIACIÓN DIMENSIONAL	
	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Longitud (± 1.6mm)	Ancho (±1.6mm)	Espesor (±3.2mm)
Patrón 0% ARG	200	100	80.00	200.27	100.38	80.18	0.27	0.38	0.18
10% ARG	200	100	80.00	200.08	100.30	80.47	0.08	0.30	0.47
30% ARG	200	100	80.00	200.13	100.07	80.48	0.13	0.07	0.48
40% ARG	200	100	80.00	200.42	100.58	80.23	0.42	0.58	0.23
50% ARG	200	100	80.00	200.58	100.85	81.27	0.58	0.85	1.27

En la tabla 8 se presenta la información de la evaluación de las dimensiones de los adoquines, evidenciando que todos los adoquines con agregado natural y con reemplazo de agregado reciclado se encuentran dentro de los márgenes especificados en la NTP 399.611 en longitud, ancho y espesor**.**

D. *Comparativas con otras investigaciones*

La caracterización física de los materiales como agregado fino y grueso natural y agregado reciclado grueso (ARG) de concreto de demoliciones cumplen con las normas técnicas NTP 400.012 y ASTM C136, para mezclas de concreto 28 MPa. El ARG presento una mayor absorción (1.8%) y un peso unitario compactado inferior (1435 kg/m3) en comparación con

el agregado natural (0.92% y 1945 kg/m3, respectivamente), con similitud con [17] respecto a la porosidad del agregado reciclado. El análisis de la granulometría, permite determinar la distribución de las partículas en el agregado, asegurándose que cumplan con los requisitos establecidos, teniendo un impacto directo en la trabajabilidad y la resistencia final del concreto y de esta manera, se garantiza la calidad y la durabilidad de las estructuras

El diseño de mezcla patrón utilizado en este estudio presentó una resistencia base de 28 MPa, es fundamental este proceso para garantizar las características mecánicas del concreto, En esta investigación, se elaboraron mezclas con agregados grueso y fino naturales y agregado reciclado grueso de concreto de demoliciones en porcentajes de (10. 30, 40 y 50), estos se adecuaron a la norma ACI 211, modificando la relación entre agua y cemento para mejorar la cohesión y la resistencia del concreto. [18] también diseñaron mezclas con un AGR de 10% hasta el 60% eran adecuadas. [19] su resultado mostró que el uso AGR del 30 al 50% es adecuada para pavimento peatonal.

En el presente estudio, los adoquines con sustitución de 10% AGR a los 28 días superaron la resistencia a la compresión requerida en 1.34% (f'cr=36MPa), mientras que los adoquines con agregado grueso natural superó la resistencia requerida en 2.5%, (Norma ACI 2011).Cuando se incrementa ARG en un (30%, 40% y 50%) de remplazo del agregado natural disminuye la resistencia gradualmente y no cumple con la resistencia requerida, Estos resultados concuerdan con la investigación realizada por [20], examinaron la viabilidad de emplear RCD en la producción de concreto, en proporciones de 10%, 20% y 59%. Sus resultados coinciden que un incremento superior al 20% de ACR en AN en el concreto se reducen las resistencias a la compresión, pasando de 40,16 MPa a 33,52 MPa, a medida que el contenido de ACR se incrementa.

En la resistencia a flexión, los adoquines con sustitución del 10% de ARG alcanzo 50.10 Kg/cm2, resistencia requerida para un concreto f'c=28MPa por tanto cumple con la Norma 399.611. Los adoquines con reemplazo de 30%, 40% y 50% no logran cumplir con la norma antes mencionada, no superan los 5MPa. El estudio no concuerda con la investigación que realizaron [21], los cuales afirman que las mezclas para pavimentos que sustituían el agregado grueso natural (AGN) por el ARG, con un 30% y 50%. la resistencia a flexión fue de 5,2 MPa a 4,1 MPa ; en el presente estudio se alcanzó 4.26MPa y 3.95MPa respectivamente.

En el presente estudio con 10% de ARG los adoquines presentaron una abrasión de (0.040%) similar al de la muestra patrón sin sustituir AGN, (0.040%), se deduce que utilizar 10% de ARG es viable en la sustitución del AGN. Cuando se reemplaza al AGN en proporciones de 30%, 40% y 50% por ARG, estos mostraron un incremento al desgaste en comparación al adoquín patrón, así mismo se observa una pérdida de peso superior, se puede afirmar entonces que el agregado reciclado, presenta una mayor porosidad y micro fisuras, lo que favorece la fricción. Concuerda con [22], afirma que al utilizar AGR en adoquines se incrementa su abrasión en proporciones mayores a 30%, coincidiendo con la tendencia en la evaluación física de esta investigación.

En el estudio la absorción del adoquín con 10% de ARG alcanzó 6.82% lo cual indica que la muestra cumple con la NTP. 339.604 la misma fija que la absorción no debe superar el límite del 7%, mientras que los adoquines con 30%, 40% y 50% la absorción aumenta gradualmente concordando con el estudio de [23], estos autores observaron un aumento de absorción de 1% cada 10% de adición de AGR.

En cuanto a la variación dimensional los ensayos demuestran que los adoquines patrón y los elaborados con remplazo del material granular de 10%, 30%,40% y 50%, las dimensiones no exceden lo establecido en la NTP 399.611: longitud (+-1.6mm) promedio obtenido (+-0.29mm); ancho (+-1.6mm) promedio obtenido (+-0.42); espesor (+-3.2) promedio obtenido (+-0.53), estos resultados nos indican que los adoquines son estéticos hechos a base de una mezcla con agregados de buena calidad y proporciones adecuadas

V. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Su evaluación de las partículas de los agregados naturales finos como gruesos y agregado reciclado grueso (ARG), cumplen con los parámetros granulométricos en las normas ASTM C136 y NTP 400.012, presentando una distribución continua que favorece el desempeño y la compactación del concreto.

Es fundamental el diseño de mezcla del adoquín patrón, con una resistencia de 28 MPa, que permitan mantener las propiedades mecánicas del concreto. El reemplazo de agregado grueso natural por agregado reciclado grueso en proporciones de (10%, 30%, 40% y 50%), conforme a la norma ACI 211 y modificando la relación agua/cemento, que permita una mejor trabajabilidad, cohesión y resistencia del concreto.

Al sustituir un 10% de agregado reciclado grueso (ARG) en los adoquines de concreto 28 MPa, se incrementa un poco la resistencia a la compresión a los 28 días, en comparación a los adoquines patrón. Al incrementar el porcentaje de ARG al 30%, 40% y 50%, la resistencia se reduce gradualmente en los adoquines, no cumpliendo con los requeridos por la norma ACI 2011.

Los adoquines que contienen un 10% de agregado reciclado grueso (ARG) satisfacen la resistencia a la flexión requerida por la Norma NPT 399.611 para un concreto f'c=28 MPa. En los adoquines que se elaboraron con un reemplazo del 30%, 40% y 50% de ARG no lograron el mínimo necesario de 5 MPa, entonces se observó que con proporciones mayores de ARG disminuyen su resistencia a flexión del adoquín.

Al sustituir con el 10% de agregado reciclado grueso (ARG) en la elaboración de adoquines de concreto 28MPa, presenta un desgaste similar al del adoquín patrón en resistencia a la abrasión (0.04%). Cuando se eleva el porcentaje de ARG al 30%, 40% y 50%, se observó un aumento notable en el desgaste y una pérdida de peso superior, lo que señala que el ARG posee una porosidad superior y existencia de micro fisuras, lo que impacta de manera negativa su rendimiento en relación con el agregado grueso natural (AGN) debido a que el ARG no es completamente sólido.

Se concluye precisando que los adoquines con un 0% y 10% de agregado reciclado grueso (ARG) cumplen con la norma NTP 339.604 al presentar una absorción del 6.04% y 6.08% respectivamente, que se encuentra dentro del límite máximo del 6%. Cuando se incrementa el porcentaje de ARG a 30%, 40% y 50%, la absorción se eleva progresivamente, entonces observamos que en mezclas con proporciones superiores de ARG sobrepasa el límite permitido.

En la variación dimensional los ensayos demuestran que los adoquines patrón y los elaborados con reemplazo de ARG de 10%, 30%, 40% y 50% en su totalidad se encuentran dentro de los límites establecidos por la NTP 399. 611.Los resultados de reemplazo de material granular por agregado reciclado grueso no alteran las dimensiones de las muestras.

Se concluye que al evaluar las propiedades de los adoquines de concreto 28 MPa estadísticamente, la resistencia a compresión, flexión, abrasión y absorción, no varía con 10% AGR de sustitución parcial, al 30, 40 y 50% de ARG no cumple la norma; las proporciones de ARG no afecta la variación dimensional de los adoquines.

RECOMENDACIONES

Se recomienda llevar a cabo un tratamiento previo al agregado reciclado, como lavado y secado, con el fin de disminuir el agregado fino producto de la trituración, mejorando características físicas y mecánicas que permitan mejorara las propiedades del concreto

Se recomienda elaborar diseños de mezclas con porcentajes menores al 30 % de ARG, en posteriores investigaciones, también usar otros diseños de concreto patrón mayores a lo usado en esta investigación y eligiendo el tipo de adoquín adecuado, permitiendo contribuir a disminuir la contaminación ambiental.

Emplear hasta un 10% de agregado reciclado grueso en la producción de adoquines de concreto 280 kg/cm2, los resultados logrados evidencian que este porcentaje no altera las características mecánicas, tales como la resistencia a la compresión y abrasión, apropiado en pavimentos peatonal. Para incrementar la resistencia a la flexión de los adoquines con agregado reciclado grueso, se recomienda incorporar aditivos que puedan potenciar su cohesión y resistencia estructural.

Llevar a cabo investigaciones complementarias acerca de la durabilidad a largo plazo de los adoquines hechos con agregado reciclado grueso, particularmente en situaciones de exposición más rigurosas, como el tráfico intenso o entornos con condiciones meteorológicas extremas. Esto posibilitará valorar el rendimiento del concreto reciclado en circunstancias más rigurosas y establecer si se puede extender su aplicación en pavimentos con gran tráfico.

Promover una planta procesadora de agregados reciclados que permitan la utilización de estos materiales, para disminuir el volumen del consumo de agregados naturales reemplazándolo por reciclado de residuos de demoliciones de construcciones producidos por el sector de la construcción. Las instituciones y compañías del sector deben fomentar la investigación, aprovechando tecnologías que optimicen las características del concreto reciclado, facilitando su integración en proyectos de gran magnitud, aportando a un modelo de edificación más sustentable y amigable con el entorno.

REFERENCIAS

[1] Bermúdez Hernández R. D., “Evaluación de la resistencia a la compresión de un concreto con la sustitución de residuos de construcción y demolición como agregado grueso”, Tesis para para optar título de ingeniero civil, Corporación Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia, 2021. [En línea]. Disponible en: https://hdl.handle.net/11323/8174

[2] REDACCIÓN 360 EN CONCRETO https://360enconcreto.com/blog/detalle/author/redaccion-360-en-concreto/

[3] CASTILLO, N., 2019. 17 Objetivos para un mundo mejor: una guía para entender los ODS: Construir un mundo mejor es el mayor desafío de la humanidad. Lo que sigue es la historia de cómo los ODS pueden lograrlo. S.l.: Amazon Digital Services LLC - KDP Print US. ISBN 978-1-68755-328-7 .

[4] KHAN, A.H., LÓPEZ-MALDONADO, E.A., KHAN, N.A., VILLARREAL-GÓMEZ, L.J., MUNSHI, F.M., ALSABHAN, A.H. y PERVEEN, K., 2022. Current solid waste management strategies and energy recovery in developing countries - State of art review. Chemosphere [en línea], vol. 291, [consulta: 7 noviembre 2024]. ISSN 0045-6535. DOI 10.1016/j.chemosphere.2021.133088. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653521035608.

[5] CONTRERAS, M., ROMERO, M., GÁZQUEZ, M.J. y BOLÍVAR, J.P., 2021. Recycled Aggregates from Construction and Demolition Waste in the Manufacture of Urban Pavements. Materials [en línea], vol. 14, no. 21, [consulta: 31 octubre 2024]. ISSN 1996-1944. Disponible en: https://www.mdpi.com/1996-1944/14/21/6605

[5] CONTRERAS, M., ROMERO, M., GÁZQUEZ, M.J. y BOLÍVAR, J.P., 2021. Recycled Aggregates from Construction and Demolition Waste in the Manufacture of Urban Pavements. Materials [en línea], vol. 14, no. 21, [consulta: 31 octubre 2024]. ISSN 1996-1944. Disponible en: https://www.mdpi.com/1996-1944/14/21/6605

[6] FARUQI, M.H.Z. y SIDDIQUI, F.Z., 2020. A mini review of construction and demolition waste management in India. *Waste Management & Research* [en línea], vol. 38, no. 7, [consulta: 31 octubre 2024]. ISSN 0734-242X. DOI 10.1177/0734242X20916828. Disponible en: https://doi.org/10.1177/0734242X20916828.

[7] SINGH, Y. y SINGH, H., 2021. Recycling Construction and Demolition Waste: Potential Applications and the Indian Scenario. En: A.S. KALAMDHAD (ed.), Integrated Approaches Towards Solid Waste Management [en línea]. Cham: Springer International Publishing, pp. 273-281. [consulta: 31 octubre 2024]. ISBN 978-3-030-70463-6. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-030-70463-6_26.

[8] MEJÍA, R., ROBAYO-SALAZAR, R. y VALENCIA, W., 2023. Residuos de construcción y demolición como materia prima de concretos y elementos de construcción obtenidos mediante activación alcalina. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* [en línea], vol. 47, no. 184, [consulta: 31 octubre 2024]. ISSN 2382-4980. DOI 10.18257/raccefyn.1892. Disponible en: https://raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/esiduos_de_construccion_y_demolicion_como_materia_prima_de_concr .

[9] CABRERA, H., 2020. *Planta de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición RCD generados en la ciudad de Bogotá D.C. para la elaboración de prefabricados de construcción* [en línea]. Bogota-Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. [consulta: 31 octubre 2024]. Disponible en: https://repository.udistrital.edu.co/items/355c678f-9973-4206-9c2b-9db1bc2e1f17

[10] PRADO CASTEDO, L.R., 2022. Elaboración de celosías de hormigón reciclado a partir de residuos de construcción y demolición (RCD's) como agregado, y su uso como material ecológico para la construcción [en línea]. Thesis. La Paz – Bolivia: Universidad Mayor de San Andres. [consulta: 31 octubre 2024]. Disponible en: http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/35598

[11] CAPECO 2022 Cámara Peruana de la Construcción. informe económico de la construcción https://iec.capeco.org/

[12] HUALLPA FLORES, P.B., PACARA RUGGEL, F.F., HUALLPA FLORES, P.B. y PACARA RUGGEL, F.F., 2023. Diseño de muros portantes, con ladrillos prefabricados con residuos de construcción y demolición para mitigar la contaminación ambiental. En: Accepted: 2024-06-14T18:18:55Z, Repositorio Institucional - URP [en línea], [consulta: 31 octubre 2024]. Disponible en: https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/7823.

[13] TICERAN PEREZ, J.P., 2021. Elaboración de prefabricados para uso peatonal con residuos de concreto triturado como agregado grueso en el distrito de Lambayeque, 2019. En: Accepted: 2022-05-02T13:02:59Z [en línea], [consulta: 31 octubre 2024]. Disponible en: http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/4509

[14] CABEZAS FIERRO, M. I.(2014), "Elaboración de un Manual de Procesos Constructivos del Adoquinado" Proyecto de pregrado, Quito, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, 2014, [En línea]. Disponible en: https://bit.ly/3QsUjco

[15] REDACCIÓN 360 EN CONCRETO https://360enconcreto.com/blog/detalle/author/redaccion-360-en-concreto/

[16] INCAL, 2017. NTP 399.611 Instituto Nacional de Calidad. NORMA TÉCNICA NORMA TÉCNICA. NTP 399.61 399.6111 2017 Lima, Perú. UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Adoquines de concreto para pavimentos. pavimentos. Requisitos MASONRY UNITS. Solid soncrete interlocking paving units. Requirements. 2017-12-27 3ª Edición. https://pdfcoffee.com/ntp-399611-adoquines-de-concreto-para-pavimentos-requisitos-2-pdf-free.html

[17] Chen y otros (2024) Chen, Y., Xiangli, L., Ye, P., Zhang, W., & Ji, Y. (14 de April de 2024). Mechanical properties of recycled aggregate concrete reinforced with steel fibers under triaxial loading. *Journal of Building Engineering*, *92*.

[18] Oliveira y otros (2020) OLIVERA, Đ., RADEVIĆ, A., ZAKIĆ, D. y ĐOKIĆ, B., 2020. Potential of Natural and Recycled Concrete Aggregate Mixtures for Use in Pavement Structures. Minerals [en línea], vol. 10, no. 9, [consulta: 31 octubre 2024]. ISSN 2075-163X. DOI 10.3390/min10090744. Disponible en: https://www.mdpi.com/2075-163X/10/9/744

[19] Maguiña (2021) MAGUIÑA, D.S., 2021. Escombros de construcción y su influencia en el comportamiento físico – mecánicas en adoquines de tránsito ligero, Lima – 2021 [en línea]. Tesis Titulo. LIma - Perú: Universidad Cesar Vallejo. [consulta: 31 octubre 2024]. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/8545

[20] Silva & del Vasto (2021), SILVA, Y. y DELVASTO, S., 2021. Uso de residuos de construcción y demolición como material cementicio suplementario y agregado grueso reciclado en concretos autocompactantes. Informador Técnico [en línea], vol. 85, no. 1, [consulta: 31 octubre 2024]. ISSN 2256-5035. DOI 10.23850/22565035.2502. Disponible en: https://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/2502 .

[21] Liu et al. (2019), LIU, Chao, et al. Effect of recycled coarse aggregate on the durability properties of concrete for paving applications",. *Applied Sciences*, 2019, vol. 9, no 22, p. 4870.

[22] Espinoza (2022), ESPINOZA, A.D., 2022. Elaboración de adoquines de concreto destinados al tránsito vehicular ligero utilizando parcialmente residuos de demolición como agregado fino y grueso [en línea]. Tesis Titulo. Chiclayo Perú: Universidad Catolica Santo Toribio de Mogrovejo. [consulta: 31 octubre 2024]. Disponible en: http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/4856

[23] Rao, B. N. M., Durga, C. S. S., Venkatesh, C., Rao, T. M. (2024). Sustainable Geopolymer Concrete for Pavements: Performance Evaluation of Recycled Concrete Aggregates in Fly Ash-Based Mixtures. Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies, 9(3), 211-220. https://doi.org/10.47481/jscmt.1554284