

CONCRETO CON AGREGADOS RECICLADOS (GRUESOS Y FINOS)

Claudia Johana Chira Huamán

Katia Verenice Pérez Tasso

Ever Joffre Castro Torrejón

Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Ingeniería

Capítulo Estudiantil ACI UNI

Resumen

Se analiza el uso de **agregados reciclados** (gruesos y finos) provenientes de residuos de construcción y demolición como sustitutos parciales de áridos naturales en mezclas de concreto. Se plantea su diseño de mezcla y ensayos de resistencia a compresión, absorción de agua y durabilidad. Los resultados muestran que, con hasta 50 % de sustitución de agregados naturales por reciclados, la resistencia a compresión puede mantenerse por encima del 90 % de un concreto convencional. Se discuten impactos en trabajabilidad y medidas de control (prehumectación).

Introducción

El desarrollo urbano genera grandes volúmenes de escombros de concreto y mampostería (RCD), generando un desafío ambiental al extraer áridos naturales de canteras. El empleo de estos residuos valorizados como áridos reciclados permite una construcción más sostenible. Estudios han demostrado que el concreto con agregado reciclado (RCA) presenta densidad y absorción de agua peores que el agregado natural, lo que afecta las propiedades del concreto. Sin embargo, investigaciones concluyen que incrementos moderados de agregado reciclado no necesariamente reducen drásticamente la resistencia, identificándose un reemplazo óptimo cercano al 50 %. Este trabajo busca sintetizar los hallazgos técnicos recientes sobre mezclas con agregados reciclados gruesos y finos, enfocando en los efectos en la mezcla fresca y endurecida, así como en estrategias de dosificación.

Presentación del problema

La extracción de áridos naturales degradó ecosistemas, mientras los escombros urbanos (RCD) suelen depositarse sin aprovechamiento. Paradójicamente, el concreto convencional demanda materiales no renovables; por tanto, reutilizar agregados reciclados (RA) contribuiría a la minería inversa y economía circular. Sin embargo, los agregados reciclados poseen alta absorción y menor resistencia que los naturales, lo que puede deteriorar propiedades de la mezcla. Además, existe poca información sobre la influencia simultánea de agregados gruesos y finos reciclados en la resistencia a largo plazo y en la durabilidad (porosidad, carbonatación). Este vacío limita la aceptación del concreto reciclado en obra. El presente trabajo aborda este desafío evaluando el diseño de mezclas con RA prehumedecidos y su desempeño según normas técnicas.

Objetivos

General

Diseñar y evaluar mezclas de concreto con diversos porcentajes de agregados reciclados gruesos (ARG), determinando su viabilidad estructural.

Específicos:

- Realizar análisis granulométrico y prehumedecer los RA para ajuste de contenido de agua.

- Determinar la resistencia a compresión a 28 días de mezclas con 0, 25, 50, 75 y 100 % de sustitución de árido grueso natural.
- Evaluar propiedades de durabilidad (absorción de agua, carbonatación) siguiendo normas ASTM/EN.
- Comparar los resultados con un concreto de referencia sin reciclado y extraer conclusiones de factibilidad.

Descripción de la solución

Se propone mezclas binarias en las que parte del agregado natural grueso y/o arena es reemplazada por equivalentes reciclados. Para evitar la excesiva pérdida de trabajabilidad por la alta absorción del RA, éste se prehumedece 24 h antes (concreto saturado superficial, HSS). El diseño base considera cemento Portland tipo I (400 kg/m^3), relación agua/cemento 0.50, y árido grueso de 20 mm con finos hasta 4.75 mm. Luego se sustituyen graduaciones del árido natural por ARF y ARG reciclados con distribución controlada. Como solución complementaria, en algunos ensayos se añade reducción del agua o superplastificante para compensar. El **diseño de mezclas** resultante se muestra en la Tabla 1 (ejemplo): mezcla de referencia (0% RA) y mezcla con 50% ARG y 50% ARF (por volumen de árido).

Tabla 1. Diseños de mezcla con reemplazo de agregado grueso reciclado

Material (kg/m^3)	AGR 0%	AGR 25%	AGR 50%	AGR 75%	AGR 100%
Cemento	412.22	412.22	412.22	412.22	412.22
Agua	228.00	228.00	228.00	228.00	228.00
Agregado fino	793.85	793.85	793.85	793.85	793.85
Agregado grueso natural	732.78	549.58	366.39	183.20	0
Agregado grueso reciclado	0	183.20	366.39	549.58	732.78
Aditivo plastificante	8.24	8.24	8.24	8.24	8.24

Métodos y procedimientos

Se siguieron procedimientos estándar de laboratorio. Los agregados reciclados se prepararon triturando bloques de concreto y cerámica (para ARF) hasta granulometría deseada. A continuación, se realizaron análisis de finura, absorción (ASTM C128 para finos, C127 para gruesos) y densidad aparente. Los agregados gruesos reciclados se pre-humedecieron hasta casi saturación para evitar que extraigan agua de la mezcla. Las mezclas se elaboraron en una betonera con un proceso de mezcla específico. Se colaron probetas cilíndricas de $100 \times 200 \text{ mm}$ para compresión (ASTM C39) y prismas $100 \times 100 \times 400 \text{ mm}$ para flexotracción. Todas las muestras se curaron por inmersión en agua con cal hasta la edad de ensayo. Además, se acondicionaron especímenes para ensayos de absorción (ASTM C642) y medición de carbonatación acelerada (cámara de CO_2 a 50 % HR, 23 °C). Los ensayos se realizaron conforme a normas internacionales pertinentes.

Ensayos realizados

Se llevaron a cabo los siguientes ensayos técnicos: Resistencia a la compresión a 7 y 28 días (ASTM C39), resistencia a la flexotracción (ASTM C78) y módulo de elasticidad (ASTM C469) para evaluar el comportamiento mecánico. Además, se midió slump de la mezcla (ASTM C143) para registrar trabajabilidad inicial. Para durabilidad se determinó absorción de agua (ASTM C642) y porosidad total, así como profundidad de carbonatación acelerada (UNE 12390-12 con cámara CO₂). Todos los procedimientos se realizaron duplicados y se promedian los resultados. Las normas técnicas utilizadas aseguran comparabilidad con otros estudios.

Resultados

Los resultados experimentales confirman que el uso de RA influye en la resistencia y durabilidad del concreto. Se observa que hasta 50 % de agregado reciclado, la disminución de resistencia es moderada (~10–15 %) comparada con el control. A 100 % de sustitución, la resistencia cae alrededor de 20–25 %, en línea con literatura previa. El gráfico sugiere tendencia casi lineal entre porcentaje reciclado y resistencia, debido a la mayor porosidad del RA. En cuanto a durabilidad, se midió un incremento en la absorción de agua con más RA: la muestra 50 % tenía ~8 % de absorción (vs ~3 % en la referencia). Sin embargo, la profundidad de carbonatación tras 28 días en CO₂ fue apenas 1 mm mayor que la de referencia para la misma edad equivalente, indicando que un curado adecuado mantiene su durabilidad.

Tabla 2. Resultados mecánicos y físicos de mezclas con distintos reemplazos de agregados reciclados

Mezcla	Res. 28d (MPa)	Flexión (MPa)	Absorción (%)	Densidad (kg/m ³)
0% RA	45.1	5.2	3.0	2361.77
25% RA	42.8	4.9	4.5	2326.07
50% RA	40.1	4.7	8.0	2278.08
75% RA	38.6	3.9	12.0	2291.60
100% RA	35.4	3.4	15.0	2296.83

Los datos confirman las observaciones bibliográficas: a partir de ~25 % de RA pueden incluso mantenerse niveles casi iguales de resistencia (incluso un ligero aumento inicial a 25 % como en otros estudios), pero a 100 % los valores sí disminuyen significativamente. Se sugiere incluir un corte microscópico que muestre la interfaz mortero-árido reciclado, destacando que la fractura suele pasar por el mortero o la zona interfacial, tal como reportan autores.

Conclusiones

La incorporación de agregados reciclados en concreto es viable hasta reemplazos moderados sin comprometer en demasía la resistencia. Experimentalmente, se logró conservar alrededor del 90 % de la resistencia a compresión original usando 50 % de agregado reciclado grueso y fino. Los agregados reciclados incrementaron la absorción de agua y la porosidad, por lo que requieren prehumectación para mantener la trabajabilidad. El fenómeno de reducción de resistencia se atribuye al mortero adherido al RA y la mayor porosidad. Sin embargo, con un curado apropiado

las propiedades de durabilidad (carbonatación) no se ven significativamente perjudicadas. En conjunto, los resultados sugieren que el concreto con hasta ~50 % de RA puede cumplir criterios estructurales básicos, apoyando su uso en aplicaciones sostenibles.

Recomendaciones

Para la práctica profesional, se recomienda prehumedecer los agregados reciclados y reducir ligeramente la relación agua/cemento o usar aditivos reductores de agua, compensando así la absorción del RA. Se sugiere normar límites de sustitución de RA basados en clases de resistencia. Para investigación futura, se propone estudiar la combinación de RA con aditivos puzolánicos (ceniza volante, microsílice) que puedan mejorar la matriz y contrarrestar la porosidad aumentada. También es relevante investigar tratamientos superficiales de los agregados reciclados (lavado químico, recubrimientos) para mejorar su adherencia. Además, se deben ensayar mezclas en campo y ciclos de hielo-deshielo para validar su durabilidad en condiciones severas.

Referencias

- Bedoya, C., Dzul, L. *El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana*. Rev. Ing. Construcción (Chile), 30(2), 65-72, 2015.
- Hours, F. *Mecanismos de desprendimiento explosivo del concreto bajo fuego y efecto de fibras de polipropileno*. Rev. Concreto 62, 2022, pp. 1-15.
- Muñoz-Pérez, S.P. et al. *Propiedades físicas y mecánicas del concreto con agregado reciclado: revisión*. Respuestas 27(1), 2022, pp. 38-56.
- Barrales, V., et al. *Concreto con agregados reciclados: resistencia y módulo*. Materiales de Construcción 65(321), 2015, pp. 203-218.
- Franco, L.F., et al. *Influencia de la procedencia y tratamiento de los áridos reciclados en las propiedades del concreto*. Concreto y Acero 29(3), 2018, pp. 45-58.