VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

Evaluación experimental del concreto modificado con materiales reciclados: agregado de concreto.

Experimental evaluation of concrete modified with recycled materials: concrete aggregated.

Marcela Guadalupe Téllez Martínez, Aaron Ortega Herrera, Daniela Andrea Baeza Ramirez
Departamento de Ingenierías, División de Ciencias de la Salud e Ingenierías Campus Celaya-Salvatierra
mg.tellez@ugto.mx; aaron.ortega@ugto.mx; da.baezaramirezgto.mx;

Resumen

El concreto es el material de construcción más utilizado a nivel mundial, su uso intensivo genera grandes cantidades de residuos en demoliciones y pruebas de laboratorio. Se estima que el concreto representa cerca del 40% de los desechos de la industria de la construcción, lo que lo convierte en un problema ambiental de relevancia. Ante esta problemática, este proyecto analiza la viabilidad de reutilizar concreto triturado como sustituto parcial de los agregados naturales en mezclas de resistencia f'c = 250 kg/cm². Para ello se elaboraron especímenes cilíndricos con sustituciones del 12.5%, 25%, 32.5%, 50% y 75% de agregado reciclado, evaluando sus propiedades físicas y mecánicas. Los resultados muestran una disminución de resistencia en comparación con el concreto convencional; sin embargo, se identificaron aplicaciones prácticas como la construcción de banquetas en jardines de niños para mezclas con hasta un 50% de sustitución. Esta alternativa fomenta la economía circular en la construcción, reduce la explotación de canteras y contribuye a la sostenibilidad del sector.

Palabras clave: concreto reciclado, agregados, sostenibilidad, construcción, resistencia.

Introducción

La industria de la construcción es uno de los principales motores de desarrollo económico y social, sin embargo, es una de las actividades que genera impactos ambientales considerables debido al alto consumo de recurso naturales y acumulación de residuos. Entre los desechos más representativos se encuentra el concreto, material ampliamente utilizado por su versatilidad y resistencia, pero cuya disposición final tras pruebas de laboratorio, reparaciones o demoliciones representa un desafío creciente.

En los últimos años, la reutilización de agregados reciclados provenientes de concreto triturado ha despertado el interés de investigadores y profesionales de la ingeniería civil como una alternativa sostenible. Este enfoque no solo permite reducir la explotación de canteras y el consumo de grava natural, sino que también contribuye a disminuir los costos de disposición y fomenta la economía circular en el sector.

La presente investigación se centra en analizar el comportamiento del concreto elaborado con diferentes proporciones de agregado reciclado, evaluando sus propiedades mecánicas y su potencial aplicación en obras civiles. Con ello, se busca ofrecer soluciones prácticas que equilibren las necesidades constructivas con el compromiso ambiental, aportando evidencia científica que respalde el uso responsable de materiales reciclados en la construcción contemporánea

Justificación

De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial de Guanajuato (SMAOT, 2023), al cierre de diciembre de 2022 se registraron más de 1 708 725 toneladas de residuos de manejo especial valorizados en la entidad, lo que representa un cumplimiento del 10.25 % respecto a la meta del índice de desempeño del manejo integral de residuos (16.56 %). Si bien estos datos reflejan un avance institucional en

la valorización de residuos, aún queda un amplio margen para fortalecer prácticas sostenibles como las que plantea esta investigación.

La generación de residuos de construcción y demolición constituye un problema ambiental de relevancia, siendo el concreto uno de los materiales con mayor presencia en dichos desechos. Su disposición inadecuada provoca la acumulación de escombros y la saturación de sitios de confinamiento, mientras que la extracción continua de agregados naturales genera un fuerte costo ambiental por la degradación de canteras y la sobreexplotación de recursos no renovables.

Marco teórico

En los últimos años, el interés por el uso de agregados reciclados en el concreto ha crecido significativamente debido a los desafíos ambientales que enfrenta la industria de la construcción. (Metha & Monteiro, 2014), el concreto reciclado tiende a presentar mayor porosidad y menor resistencia en comparación con el concreto convencional, lo que puede limitar su utilización en aplicaciones estructurales de alta exigencia. Sin embargo, investigaciones más recientes han mostrado que, bajo ciertas condiciones, este material puede alcanzar un desempeño aceptable para proyectos de baja y media demanda.

La calidad del concreto reciclado depende en gran medida de la preparación de los agregados, señalando que la correcta trituración, el control granulométrico y el proceso de curado son factores clave para garantizar mejores resultados en términos de resistencia y durabilidad (Silva, Robayo, Mattey, & Delvasto, 2015, págs. 60-68). En este mismo sentido, se resalta la importancia del concreto reciclado como una estrategia de sostenibilidad urbana, dado que permite disminuir los residuos en vertederos y reduce la explotación de canteras de materiales pétreos (Bedoya & Dzul, 2016).

Desde el punto de vista normativo, estándares internacionales como ASTM C33 (ASTM International, 2016) y NMX-C-155 (IMCYC, 2015) han establecido lineamientos específicos para el uso de agregados reciclados en mezclas de concreto, regulando aspectos como: limpieza, granulometría y resistencia mínima de los materiales. Dichas normativas han permitido que en distintos países se implementen proyectos piloto con sustituciones parciales de hasta un 50%, manteniendo propiedades mecánicas aceptables para elementos no estructurales o de bajo tránsito.

Varias investigaciones coinciden en que la sustitución parcial de agregados naturales entre un 25% y 50% ofrece un equilibrio entre sostenibilidad y desempeño mecánico (Silva, Robayo, Mattey, & Delvasto, 2015). No obstante, cuando el porcentaje de sustitución es mayor al 50%, la resistencia a la compresión tiende a disminuir de manera considerable, restringiendo su aplicación en estructuras sometidas a grandes cargas.

Metodología

La investigación se desarrolló bajo un enfoque experimental, orientado a evaluar el desempeño del concreto con agregado reciclado como sustituto parcial de la grava natural en mezclas de resistencia f'c = 250 kg/cm². El diseño metodológico se estructuró en cuatro fases principales: selección de materiales, elaboración de especímenes, curado y pruebas de resistencia a la compresión.

1. Selección y preparación de materiales:

    - Cemento: Se utilizó cemento Portland ordinario, acorde a la resistencia f'c = 250 kg/cm².
    - Agregado natural (grava y arena): Provenientes de banco certificado y con granulometría conforme a la norma ASTM C33.
    - Agregado reciclado: Se obtuvo a partir del triturado y tamizado de especímenes de concreto previamente ensayados en laboratorio. El material fue clasificado para eliminar partículas contaminantes y ajustar su tamaño al rango de la grava natural.

2. Diseño de mezclas

El método de diseño se basó en las recomendaciones del American Concrete Institute (ACI). Se elaboraron 5 tipos de mezcla:

- Espécimen de testigo con 0% de sustitución de agregado reciclado
- Espécimen con 12.5 % de sustitución de escombro por grava.
- Espécimen con 25 % de sustitución de escombro por grava.
- Espécimen con 32.5 % de sustitución de escombro por grava.
- Espécimen con 50 % de sustitución de escombro por grava.
- Espécimen con 75% de sustitución de escombro por grava.

La Tabla 1 muestra los porcentajes y gramos de los elementos que se utilizaron:

***Tabla 1**. Diseño experimental .*

Espécimen	Cemento		Agua		Arena		Grava		Escombro	
	Kg	%	L	%	kg	%	kg	%	kg	%
E1 (0%)	1.91	15	1.02	8	4.06	32.0	5.72	45.0	0.00	0.00
E2 (12.5%)	1.91	15	1.02	8	4.06	32.0	5.01	45.0	0.72	5.6
E3 (25%)	1.91	15	1.02	8	4.06	32.0	4.29	45.0	1.43	11.3
E4 (32.5%)	1.91	15	1.02	8	4.06	32.0	3.86	45.0	1.86	14.6
E5 (50%)	1.91	15	1.02	8	4.06	32.0	2.86	45.0	2.86	22.5
E6 (75%)	1.91	15	1.02	8	4.06	32.0	1.43	45.0	4.29	33.8

Cada mezcla se dosificó para obtener 1 m^3 de concreto, calculando las proporciones de agua, cemento, arena y grava.

3. Elaboración de especímenes:

- Se fabricaron cilindros estándar de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.
- La mezcla fue vertida en moldes metálicos en tres capas, con compactación mecánica para reducir vacíos basándonos el LIBRO MMP MÉTODO DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES M-MMP-2-02-056/04
- Se consideró un factor de desperdicio en el cálculo de materiales para asegurar la cantidad suficiente por lote.

4. Curado:

Los cilindros se desmoldaron a las 24 horas y se sometieron a curado por inmersión en agua a temperatura constante (20 ± 2 °C) durante 28 días, siguiendo la norma ASTM C192.

5. Ensayos de resistencia

- Se evaluó la resistencia a la compresión mediante prensa hidráulica, de acuerdo con la norma ASTM C39.
- Se registraron la altura, diámetro, peso y carga máxima soportada por cada espécimen.
- Los resultados se compararon con el concreto de referencia, identificando tendencias de pérdida o conservación de resistencia en función del porcentaje de sustitución.

Resultados

Los especímenes de concreto elaborados con sustitución de agregados reciclados mostraron un comportamiento diferenciado en función del porcentaje utilizado. La Tabla 2 presenta los valores de resistencia máxima obtenidos en los ensayos de compresión, junto con las dimensiones promedio y el peso de los cilindros.

***Tabla 2**. Resultados experimentales de compresión.*

Porcentaje de agregado reciclado	Nombre de espécimen	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Peso (kg)	Resistencia máxima (kg/cm²)
0%	E1	30.00	15.00	10.89	147.15
12.5%	E2	30.01	15.00	10.70	139.59
25%	E3	30.00	15.00	10.62	128.96
32.5%	E4	30.00	15.00	10.46	120.78
50%	E5	30.01	15.00	10.37	123.03
75%	E6	30.00	15.00	10.33	97.82

1. Comportamiento general

- Se observa una tendencia general de disminución en la resistencia a compresión conforme aumenta el porcentaje de agregado reciclado.
- Tomando como referencia el concreto convencional (E1 = 147.15 kg/cm²), la reducción de resistencia fue de:
  - 5.1% para la mezcla con 12.5% de sustitución (E2).
  - 12.4% para la mezcla con 25% de sustitución (E3).
  - 17.9% para la mezcla con 32.5% de sustitución (E4).
  - 16.4% para la mezcla con 50% de sustitución (E5).
  - 33.5% para la mezcla con 75% de sustitución (E6).

- Los especímenes con contenidos de agregado reciclado de hasta 50% mantuvieron resistencias superiores a 120 kg/cm², mientras que la mezcla con 75% presentó una disminución más significativa.

2. Variaciones físicas:

   La altura y el diámetro de los cilindros se mantuvieron prácticamente constantes, con valores cercanos a los establecidos para especímenes de 15 × 30 cm, por lo que las diferencias de resistencia no pueden atribuirse a variaciones geométricas.
   Se observó una disminución gradual del peso de los especímenes conforme aumentó el porcentaje de agregado reciclado.

3. Implicaciones prácticas

- El incremento en el porcentaje de agregado reciclado provoca una reducción progresiva en la resistencia a compresión y en el peso de los especímenes.
- Sustituciones de hasta 50% permiten obtener resistencias relativamente cercanas a las del concreto convencional, mientras que porcentajes mayores generan pérdidas más importantes en el desempeño mecánico.
- Los resultados sugieren que el empleo de agregados reciclados es técnicamente factible para aplicaciones no estructurales, favoreciendo además el aprovechamiento de residuos de construcción y demolición.

Bibliografía/Referencias

American Concrete Institute. (2019). Building code requirements for structural concrete *(ACI 318-19)*. American Concrete Institute.

ASTM International. (2016). Standard specification for concrete aggregates *(ASTM C33/C33M-16)*. ASTM International.

VOLUMEN 45
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

Bedoya, C., & Dzul, L. (2016). El concreto reciclado y su uso en la construcción sostenible. *Revista de Ingeniería*.

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (2015). *NMX-C-155-ONNCCE*: *Industria de la construcción—Concreto—Agregados reciclados*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, properties, and materials* (4th ed.). McGraw-Hill Education.

Silva, R. V., Robayo, R. A., Mattey, P. E., & Delvasto, S. (2015). Properties of recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials, 94, 60–68*.