

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE HORMIGONES CON ÁRIDOS RECICLADOS PROVENIENTES DE DEMOLICIONES

ANALYSIS OF THE STRUCTURAL BEHAVIOR OF CONCRETE WITH RECYCLED AGGREGATES FROM DEMOLISHED STRUCTURES

SOLIZ CONTRERAS H. J.

RESUMEN

La mayoría de los países que reciclan material producto de demolición, han evolucionado prácticamente de la misma manera en los últimos años. Primero, han comenzado aprovechando el residuo de la construcción para recuperar perfiles, para rellenos y construir sub bases. Con el tiempo, han introducido otras aplicaciones que requieren más experiencia y cuidado en su producción, como la fabricación de hormigones reciclados y su aplicación en la construcción de diversas estructuras. Se realizó la caracterización de los áridos reciclados, de acuerdo a las especificaciones de las normas, para establecer su cumplimiento. Posteriormente se dosificó y preparó hormigones patrones según la norma ACI 211-1, variando en el porcentaje de sustitución en el árido grueso natural por áridos gruesos procedentes de demoliciones. Se evaluó el desempeño del hormigón con áridos reciclados en ensayos de laboratorio a flexión y compresión a diferentes edades 7,14 y 28 días. Se determinó que la resistencia característica del hormigón convencional disminuye a mayor porcentaje de áridos reciclados. Con respecto al ensayo a flexión, se determinó en los resultados que las mezclas con áridos reciclado obtuvieron una leve disminución en su módulo de rotura versus un hormigón convencional ya que estos causaron un efecto de reducción en tan solo un 6,71% a comparación de la resistencia a compresión.

PALABRAS CLAVE

Hormigón, Áridos reciclados,
Flexión, Compresión

ABSTRACT

Most of the countries that recycle demolition material have evolved in much the same way in recent years. First they have started taking advantage of the construction waste to recover profiles, for fillings and building sub bases. Over time they have introduced other applications that require more experience and care in their production, such as the manufacture of recycled concrete and its application in the construction of various structures. The characterization of the recycled aggregates was carried out, according to the specifications of the standards, to establish their compliance. Subsequently, standard concretes were dosed and prepared according to the ACI 211-1 standard, varying in the percentage of substitution in the natural coarse aggregate by coarse aggregates from demolitions. The performance of concrete with recycled aggregates was evaluated in bending and compression laboratory tests at different ages 7, 14 and 28 days, it could be determined that the characteristic resistance of conventional concrete decreases with a higher percentage of recycled aggregates. Regarding the bending test, the results determined that the mixtures with recycled aggregates obtained a slight decrease in their modulus of rupture versus a conventional concrete since they caused a reduction effect of only 6.71% compared to the compressive strength.

KEYWORDS

Concrete, Recycled aggregates,
Bending, Compression

INTRODUCCIÓN

El estudio del reciclaje y reutilización de escombros de construcción y demolición data de los años 70 en países como Estados Unidos, Francia y Japón, siendo desde hace más de 40 años un proceso ya consolidado en varios países industrializados.

En América se realiza el proceso de reutilización de este tipo de residuos en Uruguay, México y Costa Rica, entre otros países, con un respaldo en leyes y guías especializadas.

La mayoría de los países que reciclan material producto de demolición han evolucionado prácticamente de la misma manera en los últimos años. Primero, han comenzado aprovechando el residuo de la construcción para recuperar perfiles, para rellenos y construir sub bases. Con el tiempo, han introducido otras aplicaciones que requieren más experiencia y cuidado en su producción, como la fabricación de hormigones reciclados y su aplicación en la construcción de diversas estructuras.

A pesar que los objetivos del reciclaje van encaminados a una conservación de recursos naturales y a una mayor protección del medio ambiente, se puede afirmar, en general, que en Europa el móvil principal que ha dinamizado la implantación de plantas de reciclaje, es el económico.

Es conocido que el sector de la construcción en un país constituye uno de los principales motores de desarrollo, no solo por ser un importante generador de empleo y de inversión, tanto privada como pública, sino por su efecto multiplicador en otras industrias como la de insumos para la construcción.

Una construcción representa una actividad que demanda alto consumo de materiales, siendo así mismo, una alta generadora de residuos y de contaminación.

Se analizará mediante la comparación de las propiedades tanto físicas como mecánicas del hormigón H21 convencional, frente a un hormigón con áridos reciclados, sustituyendo los áridos naturales en diferentes porcentajes (25%, 50% y 100%).

MÉTODOS Y MATERIALES

MATERIALES

Cemento, Arena, Áridos grueso, Áridos gruesos reciclables, Agua.

MÉTODOS

Se realizó la caracterización de los áridos reciclados, de acuerdo a las especificaciones de las Normas, para establecer su cumplimiento.

Posteriormente se dosificó y preparó hormigones patrones, según la norma ACI 211-1, variando en el porcentaje de sustitución en el árido grueso natural por áridos gruesos procedentes de demoliciones, teniendo así diferentes dosificaciones, las cuales servirán para poder determinar su uso y resistencia. Se evaluó el desempeño del hormigón con áridos reciclados en ensayos de laboratorio a flexión y compresión a diferentes edades (7,14 y 28 días).

Con todos los datos obtenidos se realizó un gráfico comparativo de la resistencia a compresión y flexión del hormigón.

Finalmente se realizó un análisis con los resultados experimentales, donde se muestra que el comportamiento del hormigón con áridos reciclados, en ciertos ensayos, tiene similares resultados que un hormigón convencional, lo que sugiere que puede ser utilizado como un hormigón no estructural.

El material se acopia de diferentes puntos de la ciudad donde se encuentran estos hormigones demolidos para poder proceder a reciclar los áridos. Se procedió a la trituración de los bloques de hormigón para poder extraer los áridos y hacer limpieza, cribado y procesado, para poder reutilizarlos en nuevos hormigones.

Una vez triturado el material, se seleccionan los áridos reciclables de acuerdo al tamaño máximo dado por granulometría. Se removió el mortero adherido a los áridos reciclables lavándose el material.

Para determinar la cantidad de humedad de los áridos reciclables provenientes de las demoliciones, se realizó el ensayo del contenido de humedad basado en la norma ASTM C-566, siguiendo los procedimientos y cálculos estipulados.

El ensayo de granulometría se realizó cumpliendo con la norma ASTM C-136, para determinar la granulometría de los materiales propuestos que serán utilizados como áridos gruesos.

El peso específico del material es un valor importante para hacer la corrección por el peso del material al momento de calcular la dosificación. Para determinar el peso específico del agregado grueso debe realizarse el ensayo indicado en la norma ASTM C-127.

Se realizó el Ensayo de Desgaste de los Ángeles en los áridos reciclados a diferentes edades para poder medir el desgaste del material o fatiga que inciden en ellos.

La metodología de la dosificación del hormigón con el método ACI, comprende el seguimiento de 9 pasos que son necesarios para determinar las cantidades de materiales para un metro cúbico de hormigón fresco y compactado.

Para la evaluación de la consistencia del hormigón se utilizó un ensayo estandarizado por la norma ASTM C-143, cuyo procedimiento permite medir el asentamiento utilizando para el método de Cono de Abrams.

Se realizó la determinación de la resistencia a compresión de los distintos hormigones patrones (25%, 50% y 100 % áridos reciclados) de acuerdo a la norma ASTM C-39, rompiendo las probetas cilíndricas, de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, en las edades de 7, 14 y 28 días, siguiendo los parámetros y procedimientos establecidos por la norma.

La rotura de ensayos se llevó a cabo en base a las especificaciones de la norma ASTM C 78, Rotura por Flexo tracción, que consiste en elegir una viga prismática estandarizada, cuyas medidas dependen del tamaño máximo del agregado grueso. En este caso, se utilizan las medidas de 15 x 15 x 60 cm, colocándola en una prensa donde es sometida a carga de compresión hasta el momento de romperse.

RESULTADOS

La caracterización de los áridos reciclables según las normas correspondientes mostró las siguientes cualidades:

Contenido de humedad según norma ASTM C 566: 0,91%.

Ensayo de granulometría según norma ASTM C 136: En el tamiz de 1" con 96,53 %.

Peso específico y absorción de los áridos reciclados: Peso Específico Aparente de 2,8 g/cm³.

Peso unitario del árido grueso reciclado según norma ASTM C-29: Peso Unitario Varillado: 1,684 g/cm³;

Peso Unitario Suelto: 1,594 g/cm³;

Vacios: 0,26 %.

Equivalente de arena según norma ASTM D 2419: 86%.

Ensayo desgaste de los Ángeles ASTM C 13:

Áridos reciclables con vida útil ≥ 10 años: 41,15; áridos reciclables con vida útil ≤ 10 años: 39,94.

La dosificación del hormigón fue como la que se indica en la tabla 1.

Tabla 1. Dosificación final del hormigón luego de la corrección por humedad de los agregados

Materiales	Dosificación Kg/m ³
Cemento	300,00
Agregado Fino(seco)	824,85
Agregado Grueso	1045,53
Agua	195,00

La consistencia del hormigón, según el ensayo estandarizado por la norma ASTM C-143, permitió medir el asentamiento utilizando el método de Cono de Abrams, siendo una mezcla plástica, con un asentamiento de 8 cm, cumpliendo con la consistencia basada en la norma ACI.

En las tablas 2, 3 y 4 se muestran los resultados de los análisis de resistencia por compresión de probetas de hormigón H21 con 25% de áridos reciclados con 7, 14 y 28 días de edad.

Tabla 2. Resistencia a la compresión de probetas de hormigón H21 con 25% áridos reciclados con 7 días de edad.

Prueba	Tensión de rotura, Kg/cm ²
1	110,351
2	110,351
3	110,492
4	111,143
5	111,256
6	111,285
7	111,426
8	111,568
9	111,596
10	112,218
Promedio	111,169

Tabla 3. Resistencia a la compresión de probetas de hormigón H21 con 25% áridos reciclados con 14 días de edad.

Prueba	Tensión de rotura, Kg/cm ²
1	175,826
2	176,109
3	180,976
4	182,956
5	183,069
6	183,465
7	184,314
8	184,852
9	185,333
10	186,069
Promedio	182,297

Tabla 4. Resistencia a la compresión de probetas de hormigón H21 con 25% áridos reciclados con 28 días de edad.

Prueba	Tensión de rotura, Kg/cm ²
1	211,930
2	213,119
3	214,477
4	215,043
5	215,609
6	217,589
7	220,136
8	221,387
9	225,229
10	225,625
Promedio	218,014

En las tablas 5, 6 y 7 se exponen los resultados de los análisis de resistencia por compresión de probetas de hormigón H21 con 50% de áridos reciclados con 7, 14 y 28 días de edad.

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE HORMIGONES CON ÁRIDOS RECICLADOS PROVENIENTES DE DEMOLICIONES

Tabla 5. Resistencia a la compresión de probetas de hormigón H21 con 50% áridos reciclados con 7 días de edad.

Prueba	Tensión de rotura, Kg/cm ²
1	105,597
2	105,824
3	106,871
4	107,465
5	107,493
6	107,578
7	107,804
8	108,144
9	108,795
10	108,936
Promedio	107,451

Tabla 6. Resistencia a la compresión de probetas de hormigón H21 con 50% áridos reciclados con 14 días de edad.

Prueba	Tensión de rotura, Kg/cm ²
1	165,470
2	165,809
3	166,375
4	167,111
5	167,224
6	167,903
7	169,035
8	169,176
9	169,714
10	169,742
Promedio	167,756

Tabla 7. Resistencia a la compresión de probetas de hormigón H21 con 50% áridos reciclados con 28 días de edad.

Prueba	Tensión de rotura, Kg/cm ²
1	204,376
2	205,705
3	206,441
4	208,648
5	209,169
6	211,647
7	212,496
8	212,779
9	214,732
10	214,816
Promedio	210,081

En las tablas 8, 9 y 10 se indican los resultados de los análisis de resistencia por compresión de probetas de hormigón H21 con 100% de áridos reciclados con 7, 14 y 28 días de edad.

Tabla 8. Resistencia a la compresión de probetas de hormigón H21 con 100% áridos reciclados con 7 días de edad.

Prueba	Tensión de rotura, Kg/cm ²
1	96,826
2	98,750
3	99,372
4	99,882
5	100,136
6	100,391
7	101,806
8	100,731
9	101,240
10	101,523
Promedio	100,066

Tabla 9. Resistencia a la compresión de probetas de hormigón H21 con 100% áridos reciclados con 14 días de edad.

Prueba	Tensión de rotura, Kg/cm ²
1	151,662
2	153,416
3	154,208
4	154,435
5	154,661
6	155,368
7	155,510
8	155,680
9	155,906
10	156,472
Promedio	154,732

Tabla 10. Resistencia a la compresión de probetas de hormigón H21 con 100% áridos reciclados con 28 días de edad.

Prueba	Tensión de rotura, Kg/cm ²
1	195,293
2	195,632
3	197,500
4	198,677
5	199,198
6	199,933
7	199,962
8	199,962
9	199,962
10	200,443
Promedio	198,656

En las tablas 11, 12 y 13 se presentan los resultados de los ensayos de flexo compresión de probetas de viga prismática

estandarizada de 60 x 14,9 x 15 cm de hormigón, H-21, de 28 días de edad, con 25%, 50% y 100% de árido reciclado.

Tabla 11. Ensayo de flexo compresión de probetas de hormigón, H-21, con 25% de árido reciclado de 28 días de edad, con peso entre 31112 a 31260 g y dimensión de 60 x 14,9 x 15 cm.

Prueba	Tensión de rotura, Kg/cm ²
1	34,004
2	34,094
3	34,273
4	34,541
5	34,631
6	34,810
7	34,899
8	35,347
9	36,004
10	36,095
Promedio	34,870

Tabla 12. Ensayo de flexo compresión de probetas de hormigón, H-21, con 50% de árido reciclado de 28 días de edad, con peso entre 31650 a 31800 g y dimensión de 60 x 14,9 x 15 cm.

Prueba	Tensión de rotura, Kg/cm ²
1	32,662
2	32,752
3	32,931
4	33,020
5	33,088
6	33,289
7	33,557
8	33,647
9	34,281
10	34,257
Promedio	33,348

Tabla 13. Ensayo de flexo compresión de probetas de hormigón, H-21, con 100% de árido reciclado de 28 días de edad, con peso entre 31650 a 31800 g y dimensión de 60 x 14,9 x 15 cm.

Prueba	Tensión de rotura, Kg/cm ²
1	31,857
2	32,036
3	32,125
4	31,857
5	32,107
6	32,394
7	32,394
8	32,483
9	33,011
10	32,991
Promedio	33,348

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en laboratorio, confirman que existe una varianza en la resistencia mecánica utilizando las diferentes proporciones de áridos reciclados (25%, 50%, 100%). Para realizar la evaluación y control de los ensayos, la media más común de la tendencia central de un conjunto de datos es el promedio.

De acuerdo con los datos de resistencia a compresión obtenidos de los ensayos, se determinó la resistencia característica, donde se evidencia que ninguna dosificación 115 con árido reciclado cumple con la resistencia característica de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$; solamente cumple el hormigón convencional, conforme se demuestra en la tabla 14 y figura 1.

Tabla 14. Ensayos a compresión hormigón H21 con 25%, 50% y 100% de áridos reciclados en probetas de 28 días de edad.

Hormigón H21	Resistencia Promedio, Kg/cm ²	Desviación Estándar	Resistencia Característica f'c kg/cm ²
Convencional	228,789	3,086	223,23
Con 25%	198,656	2,200	194,14
Con 50%	210,081	3,760	203,30
Con 100%	218,014	4,877	209,16

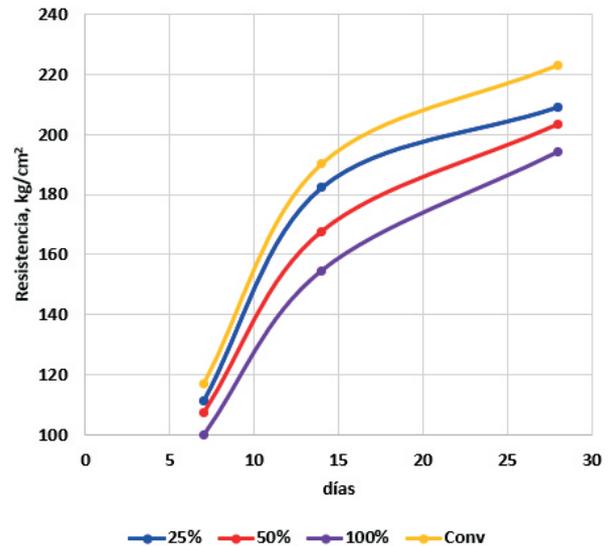


Figura 1. Relación de ensayos a compresión hormigón H21 con 25%, 50% y 100% de áridos reciclados en probetas de 28 días de edad.

Las resistencias a flexión hallada a los 28 días dan los siguientes resultados, que fueron resumidos en la figura 2, comparando los datos del módulo de rotura de un hormigón convencional con los

hormigones patrones con sustitución de áridos de reciclados en 25%, 50% y 100%.

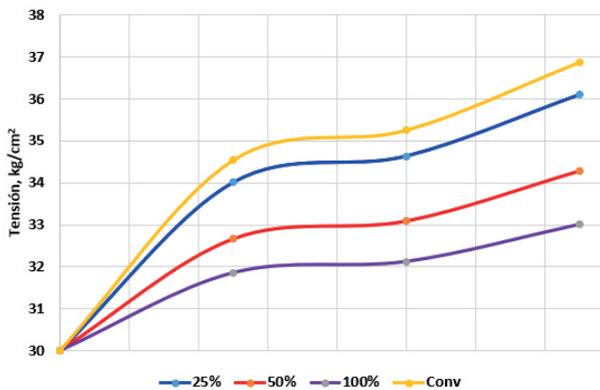


Figura 2. Relación de la resistencia a flexión en hormigón H21 con 25%, 50% y 100% de áridos reciclados en probetas de 28 días de edad.

Comparando los resultados, se puede observar más claramente en la anterior gráfica, que la mayor resistencia a flexión la obtuvo la mezcla del hormigón convencional, con una diferencia de 6,71% por encima de la muestra patrón con 100% de sustitución de áridos reciclados; mientras que la muestra patrón con el 50% de sustitución de áridos reciclados estuvo con una diferencia por debajo de 4,76% y la muestra menor obtenida fue la del hormigón patrón con el 25% de sustitución de áridos reciclados, con una disminución de su módulo de rotura en 2,74%.

Se puede observar entonces que, al añadir mayor porcentaje de áridos reciclados en el hormigón, se desfavorece el aumento del módulo de rotura, provocando que este pierda resistencia y produzca rotura al aplicar menor carga de presión.

La rotura de las probetas fue realizada a los 7,14 y 28 días y se pudo determinar que para la resistencia a compresión no se logró llegar a la resistencia característica requerida utilizando los hormigones patrones, ya que los resultados para un hormigón con 25% de áridos reciclados dio un valor medio de 209,16 kg/cm², usando 50% de áridos reciclados dio un valor medio de 203,30 kg/cm² y el 100% dio un valor medio de 194,14 kg/cm².

Entonces se pudo determinar que la resistencia característica disminuye a mayor porcentaje de áridos reciclados.

Con respecto al ensayo a flexión, en los resultados se determinó que las mezclas con áridos reciclados obtuvieron una leve disminución en su módulo de rotura versus un hormigón convencional ya que estos causaron un efecto de reducción en tan solo un 6,71% en comparación de la resistencia a compresión.

Debido a los resultados obtenidos en la campaña experimental, no se logró obtener un hormigón H-21.

Se recomienda que estos tipos de hormigones con diferentes dosificaciones de áridos reciclados, se pudieran utilizar para hormigones no estructurales, según la Norma Boliviana del Hormigón Estructural NB 1225001.

Un hormigón no estructural tiene una resistencia a compresión de $f'c < 175 \text{ Kg/cm}^2$.

Por medio de los resultados obtenidos se determinó, también, que el uso de áridos reciclados incrementa en un 6,45% su tiempo de fabricación, debido a los mayores procesos que lleva su elaboración.

Sin embargo, es una nueva alternativa para la fabricación de hormigones para sus distintos usos y aplicaciones.

REFERENCIAS

- Aguilar, C., Muñoz, M.P. Y Loyola O. (2005). Uso de hormigón reciclado para la fabricación de hormigones, Revista Ingeniería de Construcción.
- Ambiental, S. P. D. G. (2004). Monografía sobre residuos de Construcción y demolición.
- Fernández Cánovas Manuel. (2005). PATOLOGÍA Y TERAPEUTICA DEL HORMIGON ARMADO.
- Manual ACI 214, Método recomendado para evaluar los resultados de los ensayos de compresión del hormigón en obra. ACI 214-65. ACI
- Manual Del Hormigón (1968). American Concrete Institute, Detroit, Michigan, USA.
- Manual de ensayos de suelos y materiales hormigones ABC. (2009). LA PAZ.
- MOJICA, J. C. (2010). Hormigón Armado I. Santa Cruz, Bolivia.
- SANCHEZ, M. (2004). Estudio sobre la utilización del árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural, in Departamento de Ingeniería Civil. 129
- GONZALES FONTEBOA B. (2002). - Hormigones con áridos reciclados procedentes de demoliciones: dosificaciones propiedades mecánicas y comportamiento estructural a demoliciones, Tesis doctoral.

CITA

