



Comunicación Corta

El concreto con árido reciclado: una opción de material para construcción con criterio de sostenibilidad

Concrete with recycled aggregate: a construction material with sustainability criteria

Andrea Melissa Flores Fernández,¹ Aldo Josué Villafranca Castillo, Jorge Arturo Reconco Amaya

Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica Centroamericana, San Pedro Sula, Honduras

Historia del artículo:

Recibido: 26 junio 2019

Revisado: 13 septiembre 2019

Aceptado: 13 noviembre 2019

Publicado: 30 diciembre 2019

Palabras clave

Agregado grueso

Compresión

Construcción

Concreto

Sostenibilidad

Keywords

Coarse aggregate

Construction

Compression

Concrete

Sustainability

RESUMEN. Introducción: Hay desafíos por la creciente acumulación de residuos de construcción y demolición (RCD) en vertederos, ríos y rellenos sanitarios, que causan un impacto negativo en el ambiente. El objetivo del estudio fue evaluar las propiedades físicas y mecánicas de un agregado grueso reciclado proveniente de partículas de adoquines, testigos y escombros de concreto triturado mediante una trituradora de impacto. **Métodos:** Se realizó estudio de casos-controles, con diseño experimental. **Resultados:** Se diseñó dos mezclas de control y tres mezclas utilizando RCD como agregado grueso siendo sustituidos: el 100% del tamaño máximo nominal, el 35% de agregado grueso y el 100% de agregado grueso. La muestra contó con 36 testigos de concreto, de los cuales 18 eran cilíndricos de 6" de base por 12" de altura puestos a prueba de compresión bajo la normativa ASTM-C39 y 18 prismáticos de 6"x6"x21" evaluados a flexión. **Conclusión:** La mezcla #3 con 100% de sustitución es óptima, ya que cumple con propiedades físicas y mecánicas. Este tipo de concreto tiene criterio de sostenibilidad con potencial de protección al medio ambiente.

ABSTRACT. Introduction: There are challenges due to the increasing accumulation of construction and demolition waste (RCD), since all are deposited in waste dumps, rivers and landfills that cause a negative impact on the environment. The study aim was to evaluate the physical and mechanical properties of a coarse recycled aggregate from particles of cobblestones, witnesses and debris of crushed concrete by means of an impact crusher. **Methods:** The study is a case-control, with experimental design. **Results:** With the support of a national company, two control mixtures and three mixtures were designed using RCD as coarse aggregate being replaced: 100% of the maximum nominal size, 35% of coarse aggregate and 100% of coarse aggregate. The sample had 36 concrete witnesses, of which 18 were cylindrical 6" base by 12" high, tested for compression under the ASTM-C39 standard and 18 6"x6"x21" binoculars evaluated to flex according to ASTM-C78 regulations. **Conclusion:** Mix #3 with 100% substitution is optimal, since it meets physical and mechanical properties. This type of concrete has sustainability criteria with potential for environmental protection.

1. Introducción

El concreto hidráulico es el segundo material más consumido en el mundo después del agua. En el sector construcción, es uno de los principales elementos para ejecutar obras que generan una creciente acumulación de residuos los cuales son manejados comúnmente en rellenos sanitarios (FHWA, 2004). Los residuos provenientes de construcción y demolición (RCD) pueden implementarse como un porcentaje de agregado en una mezcla de concreto hidráulico completamente nueva, cumpliendo con las

especificaciones de diseño del ACI-211.1 "Diseño de Mezcla de Concreto".

La Unión Europea genera alrededor de 850 millones de toneladas de residuos de construcción y demolición al año, el cual representa un 31% del total de residuos a nivel mundial (Fisher & Werge, 2009). Por otro lado, la producción y demanda de concreto premezclado es creciente, lo cual tiene como consecuencia un alto consumo de agregado natural al ser el componente de más volumen en la dosificación (Malesev, Radonjanin, & Marinkovic, 2010). Como un ejemplo, se tiene como referencia el puente entre Manises y Paterna en España, donde utilizaron los

¹ Autor correspondiente: andrea_flores96@unitec.edu, UNITEC, Campus San Pedro Sula, Km. 5 carretera a Puerto Cortés San Pedro Sula, Honduras

Disponible en <https://doi.org/10.5377/innovare.v8i2.9023>

© 2019 Autores y UNITEC. Este es un artículo de acceso abierto según licencia <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>

desperdicios de concreto del antiguo puente sobre el Río Turia en la carretera CV-371 (VV-6117) que constituye el acceso desde Manises y Paterna hacia la construcción de un nuevo puente atirantado. Para este caso, se tuvieron dos opciones: (1) depositar los residuos del puente antiguo en vertederos o (2) reciclar los mismos en la ejecución del nuevo puente.

Los autores de otro estudio sugirieron que la última opción brindaría diversas ventajas, como la mitigación del impacto ambiental por evitar el desecho de 1600 m³ de concreto de buena calidad como son los RCD (Monleón, Alejos, Domingo, Lázaro, & Sánchez, 2011). Además, el impacto ecológico sería alto por reciclar materias primas que pueden ser reutilizadas.

Otros ejemplos de reciclado son los proyectos desarrollados en el aeropuerto de Atlanta y en la carretera hacia Illinois, Estados Unidos donde se reutilizó concreto, como material para mejorar las bases y subbases. Otro caso específico fue el uso del agregado como subbase en el aeropuerto de Jacksonville, Florida en 1977. Cabe mencionar que fue Oklahoma el primer estado en reciclar los escombros de un proyecto en Estados Unidos. No obstante, poco a poco estos proyectos fueron siendo replicados en países como Japón, China y La Unión Europea, con aplicaciones similares en carreteras, vías de aeropuerto y estructuras básicas (Bobadilla, 2012). Estos materiales provenían principalmente de hormigones, morteros, áridos naturales e impurezas (Jiménez, Agrela, Ayuso, & López, 2011).

El presente estudio tuvo como objetivo probar la factibilidad de usar concreto reciclado cumpliendo con normativas y difiriendo entre las propiedades de los agregados reciclados con respecto a las gravas comunes de San Pedro Sula, Honduras. Cabe resaltar que el proceso de reciclado según el ACI-555 "Remoción y Reutilización de Concreto Endurecido" comienza con el triturado de escombros, especímenes o cualquier fuente de concreto endurecido con el objetivo de obtener un agregado de tamaño específico.

Tomando en cuenta lo anterior, se realizaron pruebas a los áridos reciclados para el diseño de una mezcla, con una resistencia a compresión y tracción deseada. Los materiales de construcción en Honduras están constantemente al alza. La implementación de este proceso a un nivel industrial puede ofrecer beneficios económicos en productos derivados del reciclado de RCD como bloques, pavimentos, adoquines, gaviones, muros y obras civiles de menor escala.

2. Métodos

El diseño del estudio fue de casos-controles y cuantitativos. Los datos obtenidos fueron numéricos, como la resistencia a la compresión ($F'c$), según la Norma ASTM C-39 y módulo de ruptura (MR) según Norma ASTM C-78.

El estudio evaluó una muestra no probabilística, ya que el 100% de la población (cilindros y vigas) fueron evaluados y cumplieron con los requisitos de aceptación en las pruebas.

La muestra incluyó 36 probetas, de las cuales 18 fueron testigos cilíndricos y 18 fueron vigas simples. La mezcla incluyó 4 cilindros y 4 vigas por diseño de mezcla, 2 mezclas de concreto ordinario y 3 mezclas con RCD de concreto, con la finalidad de ensayar rupturas a los 7 y 28 días de edad. Las hipótesis empleadas se pueden solicitar a los autores.

3. Resultados

Las propiedades físicas para cada mezcla de concreto reciclado contra su respectivo control. Cabe mencionar, que el agregado tamaño #4 corresponde a tamaños de partículas que van desde 1 1/2" hasta 3/4". El agregado #6 es compuesto por partículas de 3/4" hasta 3/8". Por último, y siendo estos los resultados de interés, el agregado #467 contiene partículas desde 1/2" hasta el tamiz #4 (Cuadros 1 y 2).

La mezcla de concreto hidráulico se diseñó para la resistencia esperada a los 28 días, con los datos para ensayos de granulometría, peso volumétrico, gravedad específica y gradación de los agregados. Como lo afirmó Kostmatka (2004), "la calidad del concreto depende de la unión entre la pasta y el agregado." Los pavimentos rígidos comunes se diseñaron para obtener módulos de ruptura iguales a 600 PSI. Esto equivale a una resistencia a la compresión de aproximadamente 3600 PSI, siendo el diseño final un 4000 PSI, aplicando el factor de seguridad de la norma del American Concrete Institute (ASTM 211.1) (Cuadro 3).

El revenimiento del material #4 con #6 ordinario fue de 4" y respondió correctamente al diseño de mezcla para pavimentos. Adicionalmente, el revenimiento para el agregado #4 reciclado se mantuvo en el rango de revenimiento adecuado para el diseño de mezcla. El análisis de las propiedades indicó que el agregado ordinario se puede emplear de manera segura, ya que el agregado reciclado no cumplió con los requisitos de resistencia al desgaste por la máquina de los Ángeles. Se hizo pruebas para los agregados 467 ordinario y 467 reciclado. Para la prueba de absorción del material 467 ordinario, se obtuvo un porcentaje adecuado. Por otro lado, el agregado 467 reciclado tuvo un porcentaje desfavorablemente alto.

Cuadro 1

Resumen de propiedades físicas para agregado 467 ordinario vs 467 Reciclado.

Datos	Mezcla 2 y 3 467 RCD	Control 2 467 ordinario
% Absorción	3.1%	1.7%
Gravedad específica	2.75	2.74
Peso volumétrico	1,578.32 kg/m ³	1,697.01 kg/m ³
Desgaste de los Ángeles	26%	22%

Revenimiento en mezcla	4"	3"
------------------------	----	----

Cuadro 2

Resumen de propiedades físicas para agregado #4 ordinario vs #4 Reciclado.

Datos	Mezcla 2 y 3 467 RCD	Control 2 467 ordinario
% Absorción	3.1%	1.7%
Gravedad específica	2.75	2.74
Peso volumétrico	1,578.32 kg/m ³	1,697.01 kg/m ³
Desgaste de los Ángeles	26%	22%
Revenimiento en mezcla	4"	3"

El peso volumétrico del agregado ordinario es mayor que el agregado 467 reciclado. Adicionalmente, las clasificaciones del agregado ordinario y agregado 467 reciclado fueron de excelente y bueno, respectivamente (cuando se realizó la prueba de desgaste de los Ángeles). En la prueba de gravedad específica, se obtuvo un valor menor para el agregado 467 ordinario, que el agregado 467 reciclado. El revenimiento del material #4 con #6 ordinario fue de 3" y respondió correctamente al diseño de mezcla para pavimentos. El revenimiento para el agregado #4 reciclado fue de 4", dentro del rango de revenimiento para el diseño de mezcla. Los 206 últimos dos agregados (467 ordinario y 467 reciclado) fueron aceptables al cumplir con las propiedades requeridas para un buen concreto.

Cuadro 3

Pesos finales para mezclado de tipos de muestras.

Pesos para mezclado de MC-1	Unidad	
Pesos finales para mezclado de muestra Control-1		
Cemento HE	30.2	Kg
Agregado Grueso #4	53.51	Kg
Agregado Grueso #6	66.32	Kg
Arena	79.83	Kg
Agua	13.52	It
Aditivo R100	4	Oz
Pesos finales de mezclado para mezcla 1 con RCD		
Pesos para mezclado de MC-1		
Cemento HE	30.2	kg
Agregado Grueso #4 RCD	53.47	kg
Agregado Grueso #6	64.95	kg
Arena	80.97	kg
Agua	13.51	it
Aditivo R100	4	oz
Pesos Finales de mezclado para mezcla 3 con RCD		
Pesos para mezclado de MC-1		
Cemento HE	30.2	kg
Agregado Grueso 467 RCD	128.82	kg
Arena	78.14	kg

Agua	8.39	it
Aditivo R100	4	oz

En términos de los 206 últimos dos agregados (467 ordinario y 467 reciclado), fueron aceptables al cumplir con las propiedades requeridas para un buen concreto.

4. Discusión

El presente estudio aporta datos iniciales sobre la factibilidad de usar concreto reciclado en Honduras. Los datos de las pruebas de resistencia a compresión y flexión a los 7 y 28 días mostraron la calidad final del concreto, con resistencias que cumplieron con el diseño esperado para 4111 PSI a compresión y 600 PSI a flexión. A los 28 días de edad, los testigos cilíndricos probados a compresión para la mezcla de 100% de sustitución alcanzaron un porcentaje mayor relativo a la resistencia esperada. Para la prueba de flexión a los 28 días de edad, los testigos prismáticos excedieron el porcentaje relativo al diseño para la mezcla de 100% de sustitución. Como lo afirmó Blamur (2011), "la resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto por la importancia que reviste esta propiedad."

Según los resultados obtenidos en la prueba de desgaste de los Ángeles, el material reciclado #4 con el que se realizó la mezcla 1, no cumple con la resistencia a la abrasión recomendada por la norma ASTM C-131. Dicho lo anterior, el tamaño del material en cuestión no debe utilizarse para un pavimento de concreto hidráulico. Sin embargo, el agregado reciclado #4 cumple con todas las demás propiedades de un concreto estructural. Cuando se determinó el porcentaje óptimo de sustitución, se escogió la mezcla que presentó propiedades físicas y mecánicas iguales o similares a las de una mezcla de concreto hidráulico ordinario.

5. Conclusión

La mezcla #3 con 100% de sustitución de tamaño #467 es óptima por cumplir con todas las propiedades estudiadas. Adicionalmente, la mezcla fue fácil de elaborar por ser la totalidad del agregado grueso sustituido. Los resultados indican que es recomendable analizar el porcentaje de caras fracturadas para cada agregado, con el fin de relacionarlo directamente con la resistencia a compresión obtenida. Se requieren más estudios para recomendar materiales de construcción con principio de sostenibilidad en Honduras.

6. Contribuciones de los Autores

Todos los autores contribuyeron a revisar la literatura, realizar el estudio, analizar los datos y a escribir el manuscrito.

7. Reconocimientos

A los Ingenieros Héctor Bustillo y Michael Pineda por su apoyo para el desarrollo de esta investigación.

8. Conflictos de Interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

9. Referencias Bibliográficas

- American Concrete Institute (2014). Práctica estándar para proporcionamiento de concreto de peso normal, pesado y masivo. In ACI 211.1 p. 7.
- Blamur, J. M. (2011). *Ensayo a comprensión de cilindricos de concreto*. Obtenido de Ingeniería Civil.
- Bobadilla, R. (2012). Estado del arte del aprovechamiento del concreto reciclado. *Reciclado*, p. 237.
- FHWA, U. (2004). *Transportation applications of recycled concrete aggregate*. State of the Practice National Review. Washington, DC, USA:
- Fisher, C. & Werge, M. (2009). EU as a recycling society. Obtenido de: Eionet: scp.eionet.europa.eu.int.
- Jiménez, J., Agrela, F., Ayuso, J., & López, M. (2011). *Estudio comparativo de los áridos reciclados de hormigón y mixtos como material para subbases de carreteras*. Córdoba, España: Universidad de Córdoba.
- Kosmatka, S. H. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto.
- Malesev, M., Radonjanin, V., & Marinkovic, S. (2010). Recycled concrete as aggregate for structural concrete production. *Sustainability*, 2, p. 1204-1225.
- Monleón, S., Alejos, P., Domingo, A., Lázaro, C., & Sánchez, M. (2011). Puente reciclado sobre el Río Turia en Manises (Valencia). III Congreso de Ache de Puentes y Estructuras, p. 2.
- Sampieri, R. H. (2010). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill. Mexico. 2004.