

Desempeño mecánico de concretos con agregados RCD, por método ACI y por volumen

Mechanical Performance of Concretos with RCD Additives, by ACI Method and Volume

Resumen

Se diseñó concreto de 150 kg/cm² mediante método ACI y por volumen utilizando agregados reciclados y naturales comparando la resistencia a compresión simple de distintas mezclas, empleando cemento portland tipo II 30r RS y agua de la red como constantes. La mezcla con sustitución de 100% RCD no cumplió, pero sustituciones parciales de agregados gruesos RCD con arenas naturales sí funcionaron. La incorporación de concretos con RCD es menos densa y requiere mayor agua. La interacción de agregados naturales y RCD permite obtener resistencias diferenciadas, pero fue posible lograr resistencia esperada con sustituciones parciales de RCD. Los agregados naturales interactúan de manera diferente con los agregados reciclados. Se propone para concretos RCD utilizar diseño de mezcla por desempeño.

Palabras clave: Agregados RCD, Diseño de mezcla, Concretos reciclados, Relación agua/cemento, Resistencia a compresión simple.

Abstract

150 kg/cm² concrete was designed by ACI method and by volume using recycled and natural aggregates comparing the simple compressive strength of different mixes, using portland cement type II 30r RS and water mains as constants. The mix with 100% RCD substitution did not perform, but partial substitutions of RCD coarse aggregates with natural sands did work. The incorporation of concrete with RCD is less dense and requires more water. The interaction of natural aggregates and RCD allows for differentiated strengths, but it was possible to achieve the expected strength with partial substitutions of RCD. Natural aggregates interact differently with recycled aggregates. It is proposed to use performance mix design for RCD concretos.

Keywords: RCD aggregates, Mix design, Recycled concrete, Water/cement ratio, Simple compressive strength.

Antonio Tahuiton Mora

Universidad Nacional Autónoma de México

Alberto Muciño Vélez

Universidad Nacional Autónoma de México

Cesar Armando Guillén Guillén

Universidad Nacional Autónoma de México

Fecha de recepción:
31 de agosto de 2022

Fecha de aceptación:
26 de septiembre de 2022

<https://doi.org/10.22201/fa.2007252Xp.2022.26.84153>



Este trabajo está amparado por una licencia Creative Commons Atribución-No Comercial, 4.0

Introducción

La elaboración de concreto puede realizarse por diversos métodos con el fin de lograr una resistencia y manejabilidad determinada por condicionantes ambientales y de proyecto, pero en la construcción es habitual proporcionar el cemento, agregados y agua, según lo que indica el fabricante del cemento, sin considerar la variabilidad en los componentes de la mezcla, lo que hace variar la resistencia esperada del concreto. La diferencia en el desempeño mecánico final de un concreto es causada por deficiencia en el control de calidad de elaboración y por desconocimiento de las características físicas de los agregados, principalmente por la relación agua/cemento.¹ El método de diseño de mezclas del American Concrete Institute (ACI) analiza densidad, peso volumétrico, porcentaje de absorción de agua, humedad, módulo de finura y tamaño de los agregados. Mientras, la proporción de mezclas de concreto por volumen, generada por la empresa cementera, no distingue entre los diferentes tipos de agregados posibles a utilizar al elaborar mezclas de concreto, ni su región de procedencia.^{2, 3, 4}

Recientemente se ha comenzado a promover el uso de los agregados provenientes de residuos de la construcción y demolición (RCD),⁵ sin embargo, se cuestiona cómo sus características físicas influyen en las resistencias especificadas y si resultan viables para sustituir a los agregados naturales o si es posible su aplicación como parte de concretos reciclados estructurales.

En este reporte se realizaron diseños de mezclas utilizando agregados naturales de río y triturados, y agregados RCD, los cuales se dosificaron mediante el método del ACI y empleando la proporción por volumen de material. El diseño del ACI evaluó peso específico volumétrico, densidad de la mezcla, porcentaje de absorción y humedad de los agregados para elaborar concretos. Por el método por volumen de material la dosificación se realizó según las especifica-

¹ Neville, Adam M. *Tecnología del concreto*, México, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2013, pp. 84-92.

² Mehta, Kumar y Paulo Monteiro, *Concreto, estructuras, materiales y propiedades*, México, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C, 1ª edición, 1998, pp. 210-220.

³ Gutiérrez de López, Libia, *El concreto y otros materiales para la construcción*, Universidad Nacional de Colombia, 2003, pp. 125-128.

⁴ Kosmatka, Steven, et al., *Diseño y control de mezclas de concreto*, Illinois, Portland Cement Association, 2004, pp. 105-115.

⁵ Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, *Plan de residuos de la construcción y la demolición*, México, CMIC, 2013, <https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Flayer/PM%20RCD%20Completo.pdf> [consulta: 19 de agosto de 2022].

ciones del fabricante. Las probetas realizadas por ambos métodos fueron evaluadas por resistencia a compresión simple.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México, donde se utilizó la máquina de ensayos universales marca Instron® para el ensayo de compresión axial mediante la norma ASTM C-109.⁶ Los materiales empleados en las mezclas fueron cemento tipo II 30R RS, agua de la red, agregados naturales (AN) y agregados provenientes de los residuos de la construcción y demolición (RCD).

Los requerimientos y datos necesarios de los AN y RCD para el diseño de mezcla definido por la ACI son los descritos en la Figura 1. El tamaño máximo nominal (TMN) de los agregados gruesos se obtuvo acorde a la norma NMX-C-077-ONNCCE-2019;⁷ para la densidad y porcentaje de absorción de agua (% abs) de las gravas se siguió las recomendaciones de la NMX-C-164-ONNCCE-2014,⁸ para el peso específico y porcentaje de absorción de agua (% abs) de las arenas se consultó la NMX-C-165-ONNCCE-2020,⁹ y para el módulo de finura (MF) se siguió la ASTM C-33.¹⁰ Para los agregados RCD se utilizaron las normas que rigen a los AN, ya que no se encontró normatividad para su incorporación en mezclas de concreto.

La densidad de las mezclas se realizó en estado seco a los 28 días de edad, siguiendo las recomendaciones de la normatividad. Para la elaboración del concreto se definió alcanzar una resistencia de 150 kg/cm², utilizando cemento Portland tipo II 30R CPC RS acorde a la clasificación de la NMX- C-414-ONNCCE-2017;¹¹ el agua

⁶ ASTM C-109, *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*, West Conshohocken, ASTM International, 2002.

⁷ NMX-C-077-ONNCCE-2019, *Agregados para concreto – Análisis granulométrico*, México, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C., 2019.

⁸ NMX-C-164-ONNCCE-2014, *Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado grueso*, CDMX, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C., 2014.

⁹ NMX-C-165-ONNCCE-2020, *Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado fino*, CDMX, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C., 2020.

¹⁰ ASTM C-33, *Especificación Estándar para Agregados para Concreto*, ASTM International, 1999.

¹¹ NMX-C-414-ONNCCE-2017, *Industria de la Construcción - Cementantes Hidráulicos - Especificaciones y Métodos de Ensayo*, México, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C., 2017.

incorporada a las mezclas se obtuvo de la red municipal. Estos dos componentes (agua y cemento) fueron constantes en todas las mezclas, sólo variando la dosificación de los agregados.

Propiedad	Arena triturada	Grava triturada	Arena de río	Grava de río	Arena RCD	Grava RCD
Nomenclatura	A1	G1	A2	G2	A3	G3
Peso unitario kg/m ³	1,541	1,352	1,380	1,406	1,213	1,000
Peso específico kg/m ³	2,589	2,732	2,346	2,672	2,049	2,337
Módulo de finura	2.93	N/A	3.58	N/A	2.97	N/A
TMN	N/A	3/4"	N/A	3/4"	N/A	1"
% absorción agua	3.24	0.042	3.54	1.00	15.52	9.712
% de humedad	0.05	0.003	0.58	0.005	4.4	3.144

Preparación de los especímenes y equipo de prueba

Utilizando el procedimiento del ACI se construyeron nueve mezclas, considerando las características de peso específico de los agregados, densidad de la mezcla y porcentaje de absorción de agua de los agregados para 1 m³ de concreto de $f'c$ 150 kg/cm². Y mediante el procedimiento de dosificación por volumen también se realizaron nueve series de mezclas y la dosificación se calculó para 1 m³ de concreto con la misma resistencia que el método del ACI.

Se estableció como muestra de control el espécimen M-1 mediante el método del ACI, manteniendo la dosificación para un concreto de $f'c$ de 150 kg/cm² con una relación agua/cemento de 0.80 como lo establece dicho método. Las mezclas subsecuentes cambiaron la relación agua/cemento con la intención de hacer denotar el papel que juegan los agregados en el diseño de mezclas y cómo intervienen en las propiedades mecánicas, en este caso, al incorporar agregados naturales (piedra caliza triturada y de río) así como reciclados. El revenimiento se seleccionó en 10 cm, con un contenido de aire de 2% para los AN y de un 1.5% para los agregados RCD. El contenido de agua de la mezcla fue de 205 l para los AN y 193 l para los agregados RCD, considerando un concreto sin aire incorporado para AN y RCD. La relación agua/cemento (A/C) para los AN fue de 0.80 y de 0.85 para los agregados RCD. El contenido de cemento se estableció en 256 kg/cm² para el método ACI. La relación A/C (0.80) fue ajustada por el tipo de agregado utilizado en cada muestra según su porcentaje de absorción de agua.

Para la dosificación por volumen se emplearon 230 kg de cemento, 960 kg de arena, 1,000 kg de grava y 190 l de agua. En este procedimiento no se realizaron ajustes por humedad porque no se ca-

Figura 1. Agregados utilizados en las mezclas.

Fuente: Elaboración propia.

racterizan los agregados. En la Figura 3 se describen los materiales componentes de nueve mezclas para los dos métodos.

Diseños de mezclas para 150 kg/cm ²								
A1: arena triturada; G1: Grava triturada; A2: arena río; G2: grava río; A3: arena RCD; G3: grava RCD								
Mezcla M-1	Mezcla M-2	Mezcla M-3	Mezcla M-4	Mezcla M-5	Mezcla M-6	Mezcla M-7	Mezcla M-8	Mezcla M-9
C	C	C	C	C	C	C	C	C
A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3
G1	G2	G3	G2	G1	G1	G3	G3	G2
A	A	A	A	A	A	A	A	A

Experimentación

En la Figura 1 se describe la diferencia en la proporción de los agregados finos y gruesos por ACI y por volumen para obtener una resistencia de un $f'c$ 150 kg/cm², considerando 1 m³ de concreto. Se observa que la cantidad de agregados es distinta, aunque la solicitud de resistencia sea la misma.

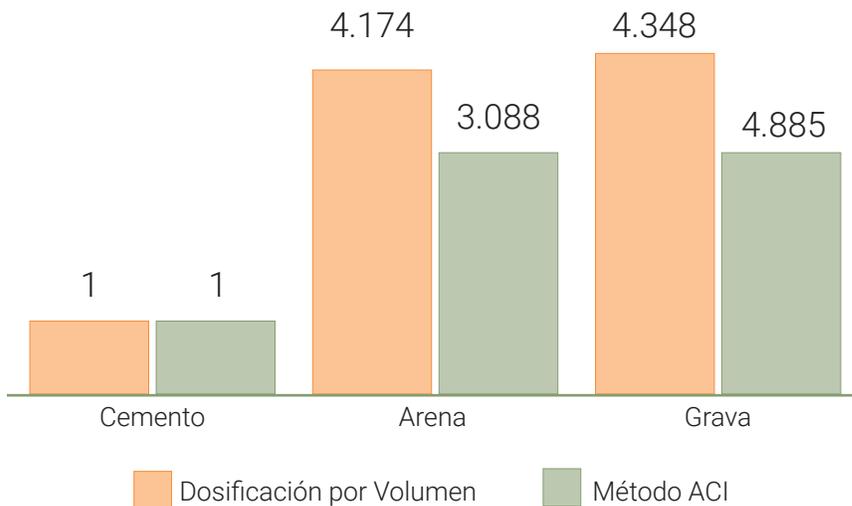


Figura 2. Componentes de los diseños de mezclas para dos tipos de dosificación.

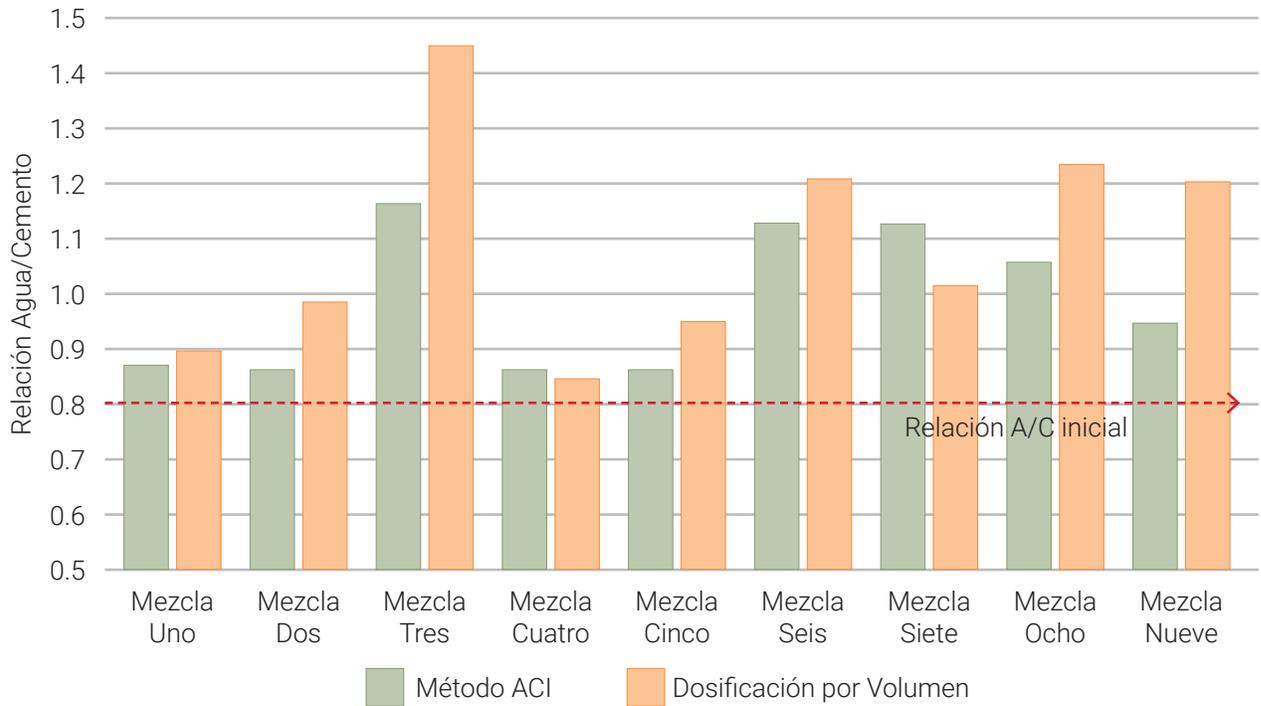
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Comparación de dos dosificaciones para 1 m³ de concreto para 150 kg/cm²

Fuente: Elaboración propia.

Para el método del ACI se ajustó la relación A/C al considerar la variación en los porcentajes de humedad en cada agregado. Por el método de dosificación por volumen no se realizó ajuste de agua en el cálculo, sin embargo, fue necesario adicionar agua para lograr una manejabilidad de la mezcla (Figura 2). En la Figura 4 se observa que las mezclas que utilizaron agregados RCD (M-3, M-6, M-7, M-8, M-9) demandan una mayor cantidad de agua, mientras que las mezclas

que emplearon agregados naturales tienen menor consumo de agua (M-1, M-2, M-4, M-5). En la Figura 2 también se observa la cantidad de agua utilizada por cada mezcla y el incremento de la relación A/C en las mezclas que involucran RCD (M-3, M-6, M-7, M-8, M-9).

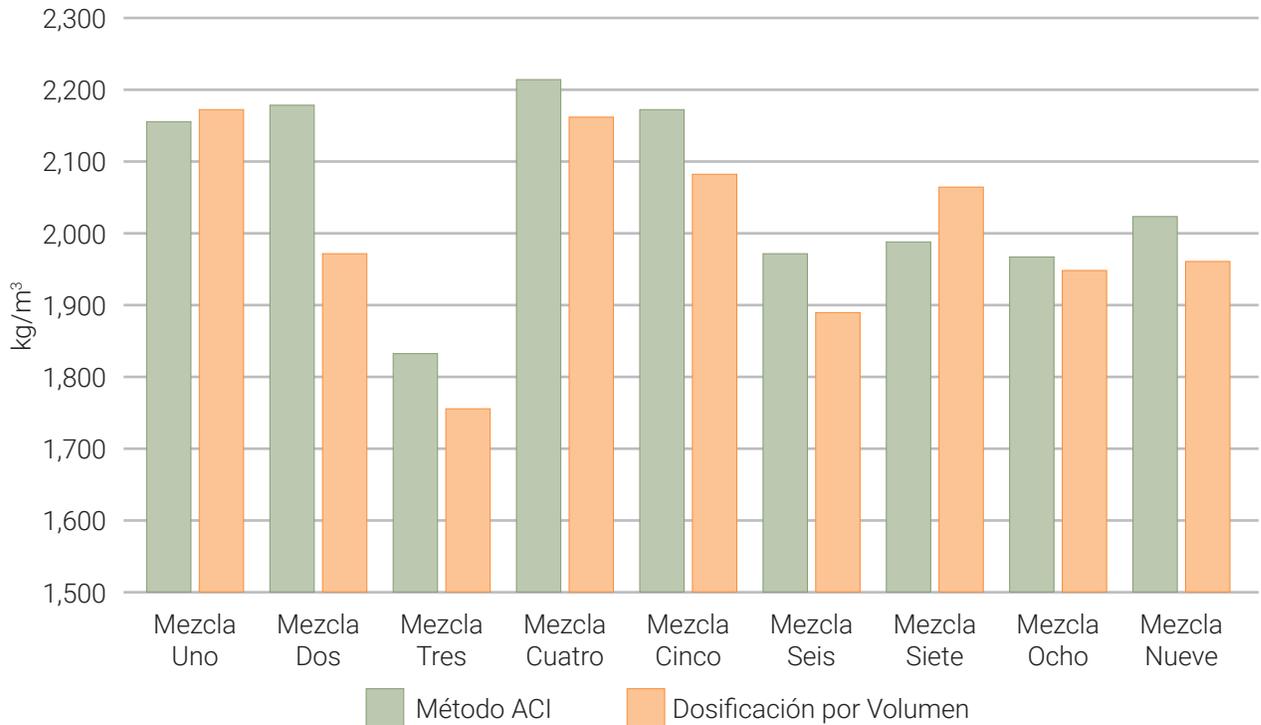


La densidad de las mezclas en estado seco a los 28 días muestra que los valores obtenidos donde se usó RCD (M-3; M-6; M-7; M-8; M-9) son menos densas y existe una correlación con la característica de una mayor demanda de agua. La M-3 tiene 100% de agregados RCD finos y gruesos, siendo la menos densa y con mayor relación A/C. Las mezclas con AN presentan mayor densidad, pero sólo la M-1 (triturados) y M-4 (arena triturada con grava de río) se aproximan a la relación A/C inicial. El peso específico (kg/m^3) de los agregados no es el mismo, los agregados triturados y de río tienden a ser más pesados que los agregados reciclados, lo que se refleja en la capacidad de absorción de agua, que condiciona la relación A/C y el peso de la mezcla; por tal motivo no se puede emplear la misma relación A/C en las distintas mezclas. El peso específico de la arena reciclada es 20% menor a la caliza y 13% menor a la de río. El peso específico de la grava reciclada es 14% menor a la arena caliza y 13% menor a la grava de río. El % de absorción de los RCD es 7.7 veces mayor a los agregados calizos y 5.5 veces mayor a los agregados de río. Por tal motivo la relación A/C de 0.80 se ajustó

Figura 4. Variación de la relación A/C por dosificación en cada mezcla.

Fuente: Elaboración propia

en relación con la capacidad de absorción de agua de los agregados (Figura 4) y la densidad de las mezclas varía según la capacidad de absorción de agua del agregado (Figura 5).

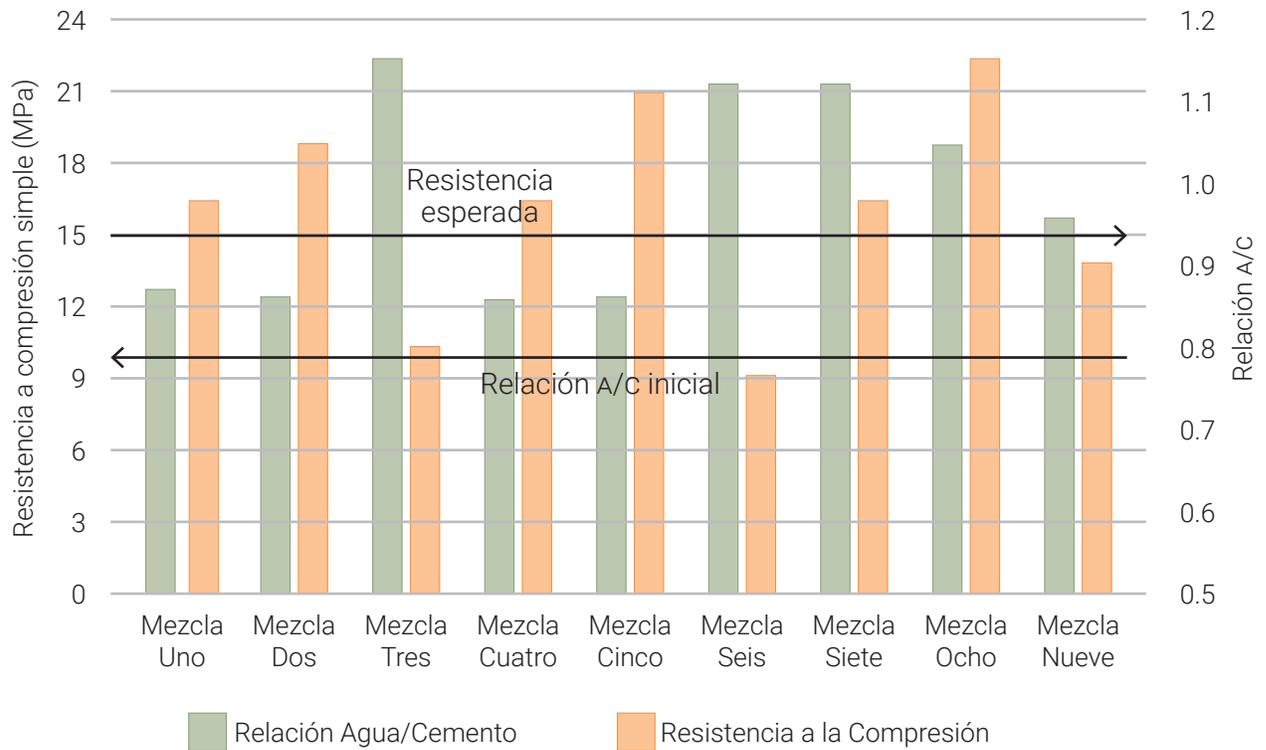


En la Figura 6 se corresponden la relación A/C con la resistencia en MPa en la dosificación ACI empleada en las nueve mezclas. Se observa que las mezclas con agregados naturales 100% (M-1, M-2, M-4, M-5) cumplen y superan la resistencia de 15 MPa y son las que presentan una menor relación A/C. La serie M-3 100% sustitución con agregados RCD presentó la relación A/C mas elevada y no alcanzó los 15 MPa. Con un desempeño similar se encuentra la mezcla M-6 (arena RCD con grava triturada), las mezclas M-7 (arena triturada con grava RCD), M-8 (arena río con grava RCD) y M-9 (arena RCD con grava de río) con sustitución parcial de AN por RCD, que alcanzaron los 15 MPa, pero requieren elevar la relación A/C. La M-6 utilizó combinación de AN triturado con RCD y fue la mezcla con menor resistencia, las mezclas M-7, M-8 y M-9 combinaron agregados naturales de río y triturados con RCD y consiguieron los 15 MPa.

En la Figura 7 se analiza las resistencias obtenidas con la relación A/C por dosificación por volumen, la M-1 (sólo agregados triturados), M-5 (agregados triturados y de río), M-7 (grava RCD con arena triturados) y M-8 (grava RCD y arena de río) cumplen con la re-

Figura 5. Análisis de la diferencia en densidad al usar distintos agregados en la dosificación.

Fuente: Elaboración propia.



sistencia esperada y las mezclas M-2 (agregados de río), M-3 (agregados 100% RCD), M-4 (arena de río y grava triturada), M-6 (arena RCD y grava triturada) y M-9 (arena RCD con grava de río) no lograron la resistencia esperada (15MPa).

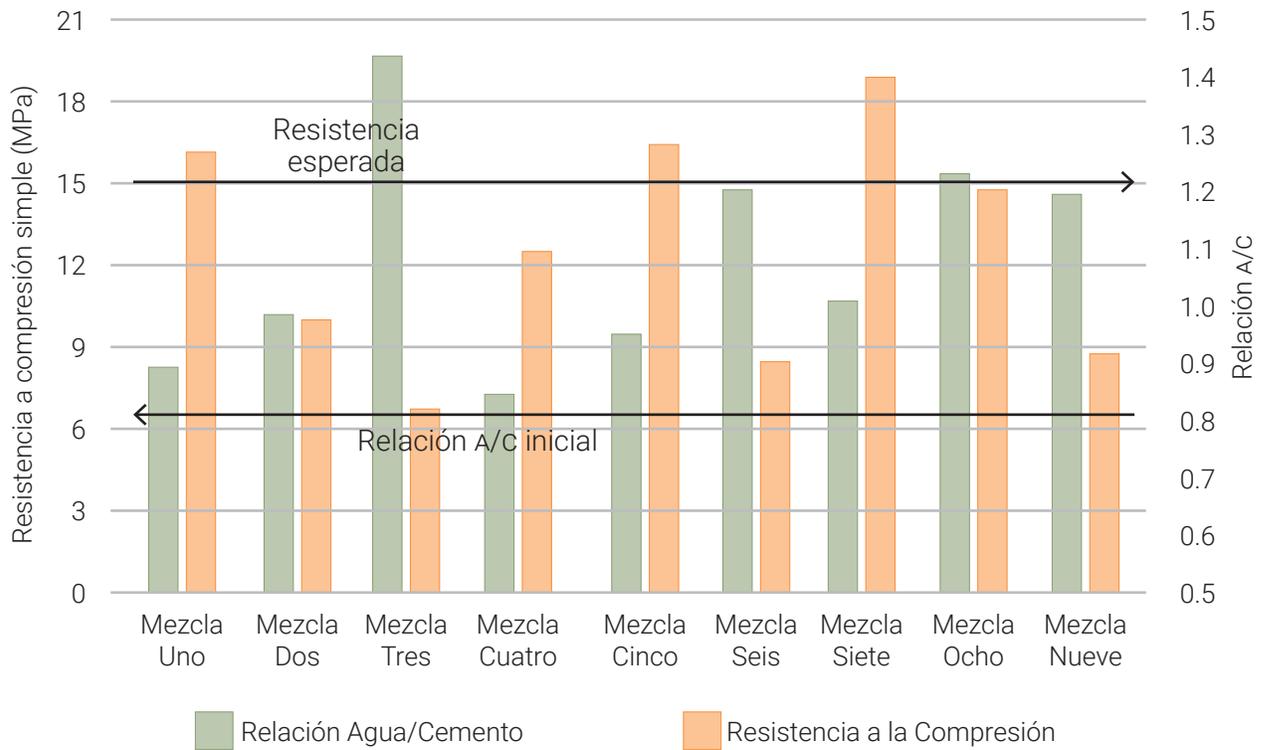
En la Figura 8 se muestran los resultados de la resistencia a compresión en MPa de las mezclas por dosificación por volumen y por el método del ACI. La M-1 fue la mezcla que mantuvo una constante en ambos métodos, los agregados gruesos y finos fueron triturados de piedra caliza; con esta mezcla se desarrolló el método ACI que sirvió para el desarrollo de las mezclas subsecuentes, y existe una similitud en las mezclas M-4 (agregados triturados y de río), M-7 (agregados triturados y RCD) y M9 (agregados triturados y RCD). Utilizando agregados triturados o de río, sin RCD, se logra la resistencia requerida por el método del ACI. Por la dosificación mediante volumen sólo se lograron resistencias adecuadas en la M-1 (agregados triturados), M-5 (arena de río con grava triturada), M-7 (arena triturada con grava RCD) y M-8 (arena de río con grava triturada).

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente programa experimental, se pueden emitir las siguientes conclusiones generales:

Figura 6. Resistencia a la compresión axial de las mezclas y la relación A/C de las nueve series con diseños de mezcla por el método del ACI.

Fuente: Elaboración propia.



La densidad de las nueve mezclas resultó variable entre la clasificación de un concreto convencional ($2,200-2,400 \text{ kg/cm}^3$) y los rangos establecidos para un concreto ligero ($1,440-1,850 \text{ kg/cm}^3$) por causa de las características de los agregados.

Los agregados RCD requieren ajustar la relación A/C y tienen una adecuada correlación con agregados triturados calizos, y con agregados de río, pero no para una sustitución del 100% de agregados naturales.

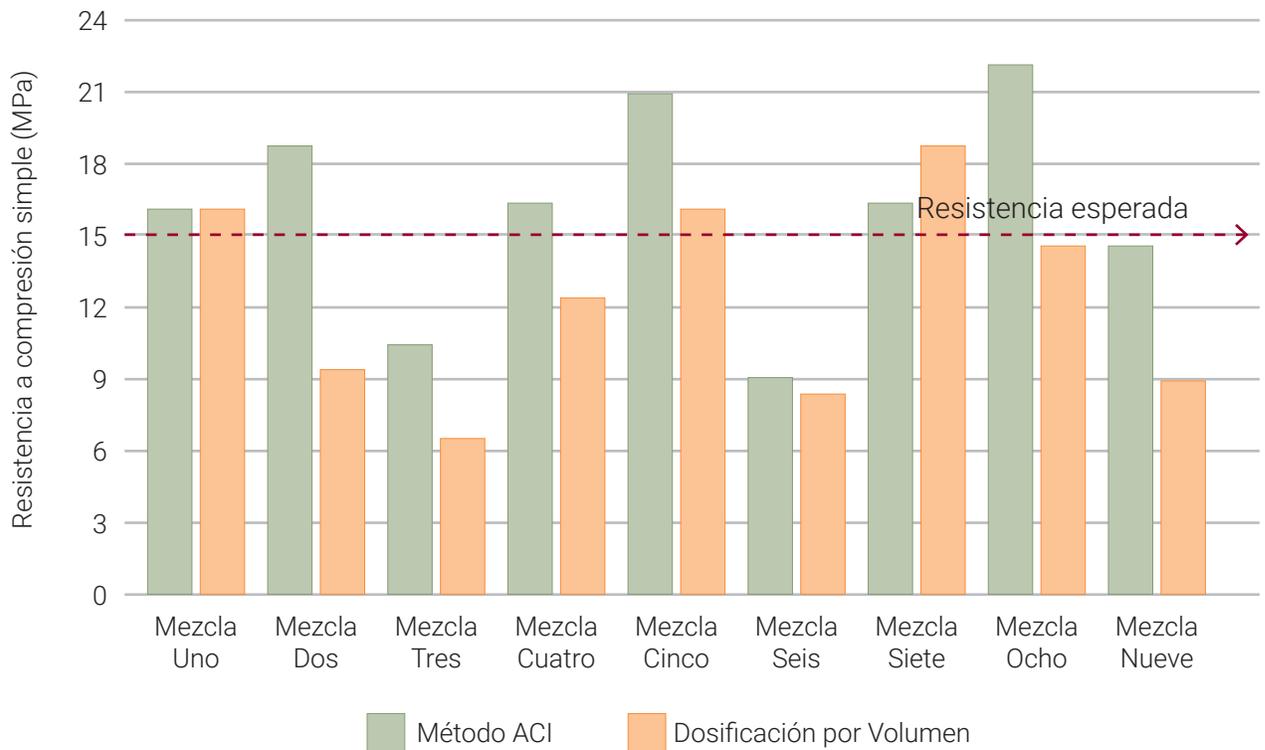
Los agregados naturales son más densos, por lo que ocupan una menor cantidad de agua y, al realizar un diseño de mezcla mediante el ACI, la mezcla M-1 con agregados triturados logró la resistencia de 15 MPa esperada pero no supero a la M-8 que utilizó arena de río con grava triturada. También la M-2 con agregados de río supero a la M-1, así como la M-5 (arena de río con grava triturada).

Mediante el diseño de mezcla ACI es posible lograr la resistencia esperada, ya que la M-1 se aproximó a 15 MPa, no obstante, las mezclas M-4, de arenas trituradas con grava de río, la M-7, de arenas trituradas con grava RCD, y la M-9, de arenas trituradas con grava de río, tienen similar comportamiento, aunque M-2, M-5 y M-8 sobredimensionan la resistencia del elemento de concreto.

En el diseño de mezcla por ACI la combinación de gravas RCD con arena de río presenta mejor desempeño que con las arenas trituradas, aunque ambas mezclas superan los 15 MPa. La combinación

Figura 7. Resistencia a la compresión axial de las mezclas y la relación A/C de las nueve series con diseños de mezcla por dosificación por volumen.

Fuente: Elaboración propia.



de arenas RCD con gravas de río presentó una adecuada mezcla, y no resulta apropiado utilizar arenas RCD con gravas trituradas.

Usar sólo agregados RCD por método ACI no permite lograr una resistencia de 15 MPa, pero combinar gravas y arenas RCD con arena y grava de río resulta en adecuadas resistencias a compresión axial.

La M-1 por dosificación de volumen permite obtener resistencias esperadas. También la M-5, M-7 y M-8 obtienen diseños de mezclas según lo predispuesto, las demás dosificaciones M-2, M-3, M-4, M-6 y M-9 no cumplieron con lo esperado. Por dosificación por volumen las gravas RCD se combinan mejor con arenas trituradas que con arenas de río, contrario a lo visto con el método del ACI. En ambos procedimientos combinar agregados triturados y de río permiten lograr resistencias esperadas, eliminando la M-4 por volumen. Sólo la M-7 por volumen superó a las mezclas realizadas por ACI.

Al utilizar los RCD como recurso que sustituya 100% de los agregados naturales y mediante el método del ACI o por dosificación de volumen no fue posible lograr la resistencia esperada.

Los agregados RCD con 100% de sustitución de AN en mezclas de concreto reciclado deben ser aplicados con otro método de diseño.

La dosificación por volumen, al no caracterizar a los agregados, debe ajustar la cantidad de agua que requiere la mezcla, por lo tanto, las proporciones varían, así como los resultados en las resistencias

Figura 8. Comparación de resistencias por dosificación por volumen.

Fuente: Elaboración propia.

esperadas. Lo que puede provocar no alcanzar la resistencia esperada o sobredimensionar la mezcla de concreto.

Se concluye que para mejorar el uso de los RCD en las mezclas de concreto debe realizarse su caracterización, pero debe ajustarse la cantidad de cemento para lograr mejores resistencias. Se recomienda su valoración mediante procesos que estimen el desempeño.

Agradecimientos

Al Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales –LMSE– de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México. Al Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables Conacyt. Los autores agradecen el apoyo del Sistema Nacional de Investigadores de México (SNI-Conacyt).

Referencias

- ASTM C-33
1999 *Especificación Estándar para Agregados para Concreto*, ASTM International, www.astm.org.
- ASTM C – 109
2002 *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*, West Conohocken, ASTM International, www.astm.org.
- CÁMARA MEXICA DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN
2013 *Plan de residuos de la construcción y la demolición. México, CMIC*, <https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Flayer/PM%20RCD%20Completo.pdf>, consulta: 19 de agosto de 2022.
- GUTIÉRREZ DE LÓPEZ, LIBIA
2003 *El concreto y otros materiales para la construcción*, Universidad Nacional de Colombia.
- KOSMATKA, STEVEN, ET AL.
2004 *Diseño y control de mezclas de concreto*, Illinois, Portland Cement Association.
- MEHTA, KUMAR Y PAULO MONTEIRO
1998 *Concreto, estructuras, materiales y propiedades*, México, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 1a ed.
- NEVILLE, ADAM M.
2013 *Tecnología del concreto*, México, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, www.imcyc.com.
- NMX-C-077-ONNCCE-2019
2019 *Agregados para concreto – Análisis granulométrico*, México, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
- NMX-C-164-ONNCCE-2014
2014 *Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado grueso*, CDMX, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.

NMX-C-165-ONNCCE-2020

2020 *Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado fino*, CDMX, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.

NMX-C-414-ONNCCE-2017

2017 *Industria de la Construcción - Cementantes Hidráulicos - Especificaciones y Métodos de Ensayo*, México, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.

Antonio Tahuiton Mora

Facultad de Arquitectura
Universidad Nacional Autónoma de México
atahuiton@unam.mx
<https://orcid.org/0000-0003-0475-7097>

Maestro en Arquitectura por la UNAM; arquitecto por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. Colaborador del Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales (LMSE) de la Facultad de Arquitectura de la UNAM y del Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables (LNVCS), sede Centro. Técnico Académico de Tiempo Completo de la Facultad de Arquitectura de la UNAM. Actualmente cursa el doctorado en la línea de Pensamiento Científico Tecnológico de la Arquitectura, y sus líneas de investigación se concentran en la evaluación de las capacidades mecánicas de los materiales, el manejo de residuos de la construcción y evaluar el comportamiento de sistemas constructivos mediante pruebas complementarias.

Alberto Muciño Vélez

Facultad de Arquitectura
Universidad Nacional Autónoma de México
amucino@fa.unam.mx
<http://orcid.org/0000-0002-6386-0249>

Doctor y maestro en Arquitectura por la Universidad Nacional Autónoma de México. Recibió la medalla Alfonso Caso por haber sido el graduado más distinguido del Programa de Doctorado en Arquitectura y obtuvo la distinción Universidad Nacional para Jóvenes Académicos en el área de Arquitectura y Diseño por su labor en investigación. Actualmente se encuentra adscrito al Centro de Investigaciones en Arquitectura, Urbanismo y Paisaje de la Facultad de Arquitectura de la UNAM. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores de México (SNI-Conacyt), así como responsable del Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales, sede Centro, del Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables del Conacyt, donde desarrolla estudios de manera multidisciplinaria. Su investigación se centra en estudiar, caracterizar y diseñar materiales regionales y su aplicación en la arquitectura, así como analizar sistemas constructivos para la generación de tecnologías alternativas en contextos rurales o emergentes.

César Armando Guillén Guillén

Facultad de Arquitectura
Universidad Nacional Autónoma de México
cesar.guillen@fa.unam.mx
<https://orcid.org/0000-0002-2596-6122>

Arquitecto por la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH); maestro en Arquitectura y Urbanismo, con especialidad en Arquitectura Sustentable, por la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas (FA-UNACH); doctor en Arquitectura en Pensamiento y Producción Científico Tecnológico por la UNAM. Colaborador del Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales (LMSE) de la Facultad de Arquitectura de la UNAM y del Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables (LNVCS), sede Centro. Profesor Asociado de Tiempo Completo. Actualmente es profesor investigador adscrito a la Unidad de Posgrado de Arquitectura por la Universidad Nacional Autónoma de México. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores de México (SNI-Conacyt), y desarrolla trabajos de investigación en materiales regionales y sistemas estructurales evaluando propiedades físicas, mecánicas y térmicas.