

Informe Técnico. Propiedades mecánicas de morteros con arenas del centro de México

Technical Report: Mechanical Properties of Mortars with Sands from Central Mexico

Alberto Muciño Vélez
Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales
Facultad de Arquitectura
Universidad Nacional Autónoma de México
a.mucino@unam.mx

Herwing Zeth López Calvo
Cuerpo Académico Tecnología y Sustentabilidad,
Maestría en Ciencias de la Construcción,
Facultad de Arquitectura "5 de Mayo"
Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca
hz.lopez.calvo@gmail.com

César Armando Guillén Guillén
Posgrado en Arquitectura
Universidad Nacional Autónoma de México
cesar.guillen@fa.unam.mx

Cristhian David Carbajal García
Maestría en Arquitectura, Facultad de Arquitectura
Universidad Nacional Autónoma de México
arqcarbajalg@comunidad.unam.mx

INFORME TÉCNICO

Resumen

Se estudió el efecto de los agregados finos en las mezclas de mortero empleando diferentes cementos portland tipo II 30R RS, con el objetivo de lograr resistencias a la compresión óptimas según la normatividad. Se desarrollaron 15 diseños de mezclas relacionando cinco marcas de cemento y tres tipos de arena, con las cuales se elaboraron 75 probetas cúbicas para determinar su resistencia a la compresión. Los resultados demuestran que existen resistencias variables al emplear distintos tipos de arena y cemento. El análisis granulométrico determinó que solo uno de los tipos de tres tipos de arena tiene tamaños de partícula apropiados y la evaluación de pastas con cemento de cinco marcas del tipo II, presentaron diferencias en propiedades mecánicas. Se discute qué marcas de cemento no cumplen con la resistencia especificada, y que la relación arena-cemento debe considerar el origen del agregado fino y la relación con la marca empleada. Se pueden lograr reducciones de cemento al conocer el rendimiento de la arena en la mezcla. La arena sí influye en la resistencia de los morteros y cada agregado presentó un desempeño diferenciado por cada marca de cemento. Se concluye que los bancos de materiales contienen composiciones diferentes influenciando las características y propiedades de las arenas y que entre diferentes marcas de cemento portland tipo II 30R RS se obtuvieron resistencias a la compresión diferentes, aun cuando su especificación los coloca en el mismo tipo.

Palabras clave: agregados finos, cemento portland tipo II 30R RS, resistencia a la compresión, composición

Fecha de recepción: 31 de julio de 2020

Fecha de aceptación: 3 de noviembre de 2020

DOI: 10.22201/fa.2007252Xp.2020.22.77611

Esta investigación forma parte del proyecto PAPIIT IN404218 y del proyecto CONACYT-SENER con No. 260155.

Abstract

The effect of fine aggregates in mortar mixtures was studied using different Portland Type II 30R RS cements, in order to achieve optimal compressive strengths according to regulations. To determine their compressive strength, 75 cubic specimens were made, using 15 mix designs based on five brands of cement and three types of sand. The results show that there is variable resistance when using different types of sand and cement. The granulometric analysis determined that only one of the three types of sand has an appropriate particle size and the evaluation of cement pastes from five Type II brands revealed differing mechanical properties. Those brands of cement that do not meet the specified strength are discussed, as well as how the sand-cement relationship must take into consideration the origin of the fine aggregate and its relationship with the brand used. Reductions of the quantity of cement needed can be achieved by understanding the performance of the sand in the mix. The sand does influence the resistance of the mortars and each aggregate presents a differentiated performance for each brand of cement. The article concludes that these banks of materials have different compositions, influencing the characteristics and properties of the sands, and the different brands of Portland Type II 30R RS cement resulted in differing resistances to compression, even when their specifications would categorize them as being of the same type.

Keywords: *Fine Aggregates, Portland Cement Type II 30R RS, Compressive Strength, Composition*

Introducción

Un mortero es la mezcla uniforme entre el cemento portland como material aglutinante, arenas como agregado fino, y agua. El 30% de las fallas presentes en mezclas de mortero son ocasionadas por una inadecuada selección del agregado desde la etapa de diseño.¹ Por tal motivo el objeto de estudio del presente trabajo son los agregados finos y su relación con el cemento. Se presentan los resultados obtenidos al relacionar diferentes agregados pétreos en mezclas de mortero, empleando distintas marcas de cemento portland tipo II 30R RS, comercializadas en México.

El objetivo fue analizar la influencia de la arena para elaborar morteros para evaluar el comportamiento mecánico de un tipo de cemento utilizando diferentes arenas, y poder determinar cuál de las arenas estudiadas presentó los mejores resultados en la resistencia máxima a la compresión.

Para el caso de México, la industria cementera identifica sus productos mediante la Norma Mexicana NMX C 414.² Los cementos se

1 M.A. Sanjuán y P. Castro, *Acción de los agentes químicos y físicos sobre el concreto* (México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 2001).

2 "Industria de la construcción – cementos hidráulicos– especificaciones y métodos de ensayo", Norma Mexicana NMX C-414-ONNCCE-2017.

seleccionaron de acuerdo con su clasificación, utilizando aquellos con clasificación "Cemento portland tipo II 30R RS". Se trata de un cemento portland compuesto resistente a sulfatos, el cual deberá de presentar una resistencia mínima a los 28 días de 30 MPa y una resistencia máxima de 50 MPa. Se eligió esta clasificación por ser el tipo de cemento con mayor presencia en el mercado.

Las mezclas de mortero tienen un contenido de arena entre un 70 y un 80%; sin embargo, en pocas ocasiones se presta importancia al agregado pétreo. Los morteros son materiales versátiles dentro del mundo de la construcción, en algunos lugares son utilizados como materiales de revoque o repellado y como material para la junta de muros de mampostería.³

El Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF)⁴ los clasifica como: mortero para pegar piezas, que es aquel que se emplea en elementos estructurales de mampostería, buscando utilizar la menor cantidad de agua posible, y cuya resistencia a la compresión no es menor a 40 kg/cm²; y los morteros de relleno, aquellos que son empleados en elementos huecos de mampostería, utilizando la menor cantidad de agua posible, pero a diferencia de los primeros, se permite adicionar aditivos que mejoren la trabajabilidad de la mezcla, con una resistencia no menor a 125 kg/cm²; sin embargo, el reglamento de construcciones no especifica si pueden o no ser considerados como morteros estructurales.

La norma ASTM C-270⁵ y la norma mexicana NMX C-486-ONNCCE-2014⁶ clasifican a los morteros en relación con su resistencia mecánica (véase Tabla 1), donde es posible observar una similitud en los rangos establecidos por dichas normas.

ASTM C-270	NMX C-486-ONNCCE-2014		
tipo M	17.2 MPa	tipo I	18.0 MPa
tipo S	12.4 MPa	tipo II	11.0 MPa
tipo N	5.2 MPa	tipo III	6.0 MPa

Tabla 1. Clasificación de los morteros de acuerdo con la norma ASTM C-270 y la norma mexicana NMX C-486-ONNCCE-2014. Elaboración: Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales (LMSE).

- 3 L. Gutiérrez de López, *El concreto y otros materiales para la construcción* (Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, 2003 [2° edición]), 114.
- 4 L. Arnal Simón, *Reglamento de construcciones para el Distrito Federal: reglamento, normas técnicas, Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal, Reglamento de la Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal, ilustraciones y comentarios, gráficas, planos y lineamientos* (México: Trillas s.a. de c.v., 2005).
- 5 "Standard Specification for Mortar for Unit Masonry", American Society for Testing and Materials.
- 6 "Industria de la construcción – mampostería – mortero para uso estructural – especificaciones y métodos de ensayo", Norma Mexicana NMX C-486-ONNCCE-2014.

En lo que respecta a las arenas, el objetivo particular fue identificar si aquellas empleadas para la construcción cumplen con los lineamientos de granulometría establecidos en la normativa, y cómo esta podría favorecer o perjudicar en la resistencia de las mezclas de mortero. Se consideraron a las arenas cuyo tamaño de partícula se encuentra entre los 0.15mm y los 4.75mm⁷ y con una densidad que va desde los 1,520 kg/m³ hasta los 1,680 kg/m³.⁸

Una de las principales funciones de las arenas en las mezclas de mortero es disminuir el costo de producción, al representar entre un 70% y un 80% del volumen de las mezclas,⁹ al ser estas de un costo menor en comparación al cemento. Por la cantidad de arena utilizada en la dosificación de las mezclas, es necesario conocer el grado de absorción del material y la granulometría, ya que dichas características tienen una gran influencia en la resistencia de las mezclas por medio de la relación agua cemento.¹⁰

La granulometría de las arenas determina aspectos de las mezclas, como la trabajabilidad, la durabilidad y la resistencia.¹¹ Los parámetros de cumplimiento para obtener la granulometría de los agregados pétreos están determinados por la norma ASTM C-33.¹² Una adecuada granulometría de la arena permite la óptima distribución de las partículas, derivando en un incremento en la resistencia a la compresión simple¹³ y mejorando el uso del cemento.¹⁴ Las dimensiones de los agregados determinarán las cualidades de la mezcla; no obstante, las arenas muy finas no son costeables por demandar una mayor cantidad de cemento, mientras que las arenas gruesas pueden ocasionar una mezcla de baja trabajabilidad.¹⁵

Materiales y método

Preparación de los especímenes y equipo de prueba

Para la elaboración del mortero, se utilizaron cinco diferentes marcas de cemento, comercializadas en la zona centro del país, todos bajo la

- 7 Adam M. Neville, *Tecnología del concreto* (México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 2013), 75.
- 8 K. Mehta y P. Monteiro, *Concreto, estructuras, materiales y propiedades* (México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C., 1998), 165.
- 9 R. Muciño Castañeda, *Concreto para técnicos de la construcción* (México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 2013), 14.
- 10 IMCYC, *Guía para seleccionar las proporciones para concretos de alta resistencia con cemento Portland y ceniza volante* (México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 2013), 5.
- 11 R. Muciño Castañeda, *Concreto para técnicos de la construcción*, 17. L. Gutiérrez de López, *El concreto y otros materiales para la construcción*, 117.
- 12 "Standard Specification for Concrete Aggregates", American Society for Testing and Materials.
- 13 L. Gutiérrez de López, *El concreto y otros materiales para la construcción*, 29.
- 14 B. Mather y C. Ozyildirim, *Cartilla del concreto* (México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 2004), 14.
- 15 K. Mehta y P. Monteiro. *Concreto, estructuras, materiales y propiedades*, 178.

clasificación “Cemento portland tipo II 30R RS”, verificando que la fecha de fabricación no excediera 30 días. Se seleccionaron estos tipos de cementos ya que son los que se comercializan habitualmente en el centro del país y su consumo es empleado en la mayoría de las construcciones. Si se deseara implementar otro tipo de cemento, este deberá de cumplir con la Norma Mexicana NMX-X-414 ONNCCCE¹⁶ y la Norma Estadounidense ASTM C-595.¹⁷

En el caso de las arenas se seleccionaron tres tipos, las cuales fueron tamizadas siguiendo los parámetros establecidos por la norma ASTM C-33¹⁸ para obtener su granulometría y módulo de finura. Las arenas implementadas son: arena de río de la región de Zaniza en el estado de Oaxaca; arena de “arena triturada”, proveniente del municipio de Apaxco, Estado de México, y arena de mina del municipio de Calimaya, también del Estado de México, denominada para este trabajo como arena azul, de las cuales, la arena triturada es el resultado de la trituración de la piedra.

Se utilizó agua libre de sales y fosfatos como lo establece la norma, con la finalidad de descartar el agua como una variable en la experimentación. Lo anterior debido a que, si el agua contiene un exceso de impurezas, se ve afectado el tiempo de fraguado y la resistencia de la mezcla.¹⁹

Para la dosificación y las proporciones de los agregados en las mezclas, se utilizaron los parámetros establecidos en la norma ASTM C-109,²⁰ con una relación cemento/arena de 1:2.75 y una relación cemento/agua de 1:0.485.

La norma ASTM C-109²¹ indica tres probetas como mínimo para las pruebas a compresión; sin embargo, para disminuir la desviación estándar y la incertidumbre en los resultados, se elaboraron cinco probetas por cada diseño de mezcla (véase Tabla 2), las cuales se dejaron secar a temperatura ambiente a la sombra. Las probetas fueron sometidas a una prueba de compresión simple a los 28 días bajo los lineamientos de la norma ASTM C-109.²²

Se optó por utilizar moldes cúbicos de cinco centímetros sobre los cilíndricos, ya que estos no requieren un proceso de cabeceo para garantizar la uniformidad de las caras.

16 “Industria de la construcción – cementos hidráulicos– especificaciones y métodos de ensayo”, Norma Mexicana NMX C-414-ONNCCCE-2017.

17 “Standard Specification for Blended Hydraulic Cements”, American Society for Testing and Materials.

18 “Standard Specification for Concrete Aggregates”, American Society for Testing and Materials.

19 A. Muciño Vélez, *Endurecimiento de cementos tipo portland inducido por fosfatos y/o silicatos*, tesis de doctorado en Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, 2015, 52.

20 “Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars”, American Society for Testing and Materials.

21 “Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars”, American Society for Testing and Materials.

22 “Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars”, American Society for Testing and Materials.

Cemento (marca comercial)	Arena	Mezcla
Cemento uno	Arena de río	Mezcla 01
	Arena azul	Mezcla 02
	Arena triturada	Mezcla 03
Cemento dos	Arena de río	Mezcla 04
	Arena azul	Mezcla 05
	Arena triturada	Mezcla 06
Cemento tres	Arena de río	Mezcla 07
	Arena azul	Mezcla 08
	Arena triturada	Mezcla 09
Cemento cuatro	Arena de río	Mezcla 10
	Arena azul	Mezcla 11
	Arena triturada	Mezcla 12
Cemento cinco	Arena de río	Mezcla 13
	Arena azul	Mezcla 14
	Arena triturada	Mezcla 15

Tabla 2. Diferentes diseños de mezclas. Elaboración: LMSE.



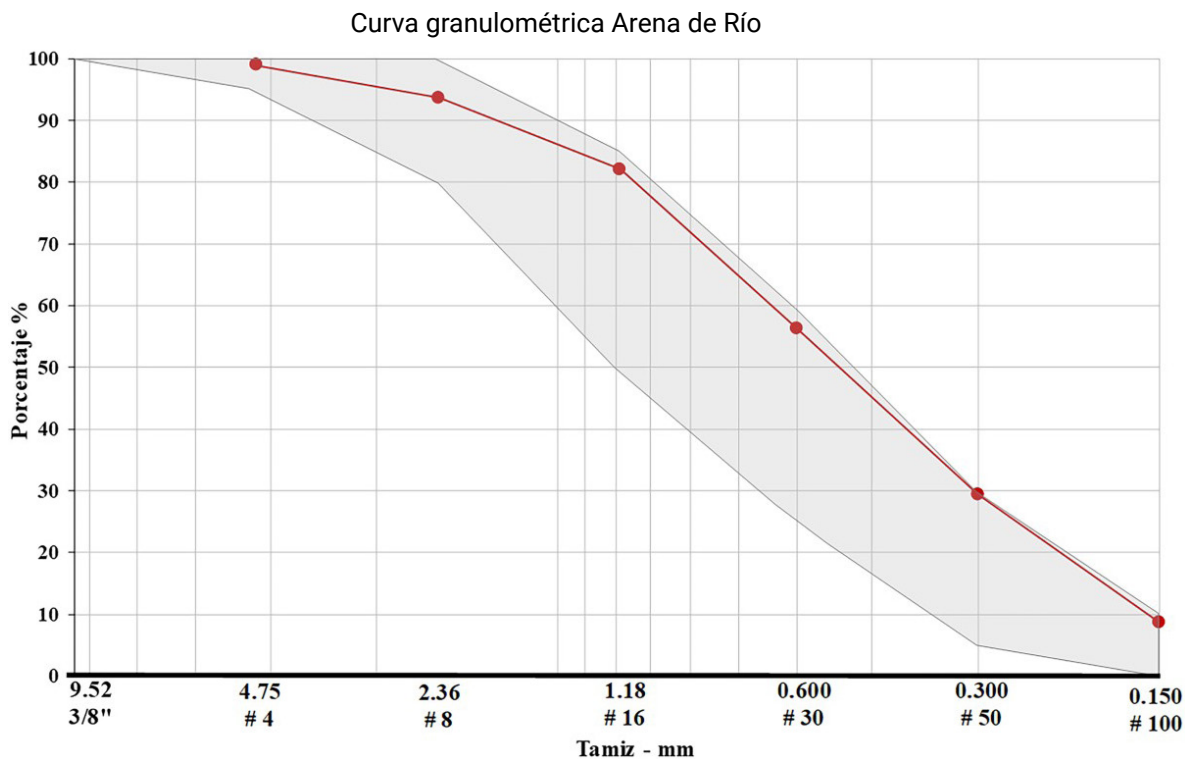
Máquina de pruebas universales y ensayo mecánico.

Experimentación

La granulometría de la arena de río se encuentra dentro de los parámetros de la ASTM c-33,²³ apenas por debajo de los límites máximos, indicando que los tamaños de partícula la vuelven una arena fina (véase Gráfica 1).

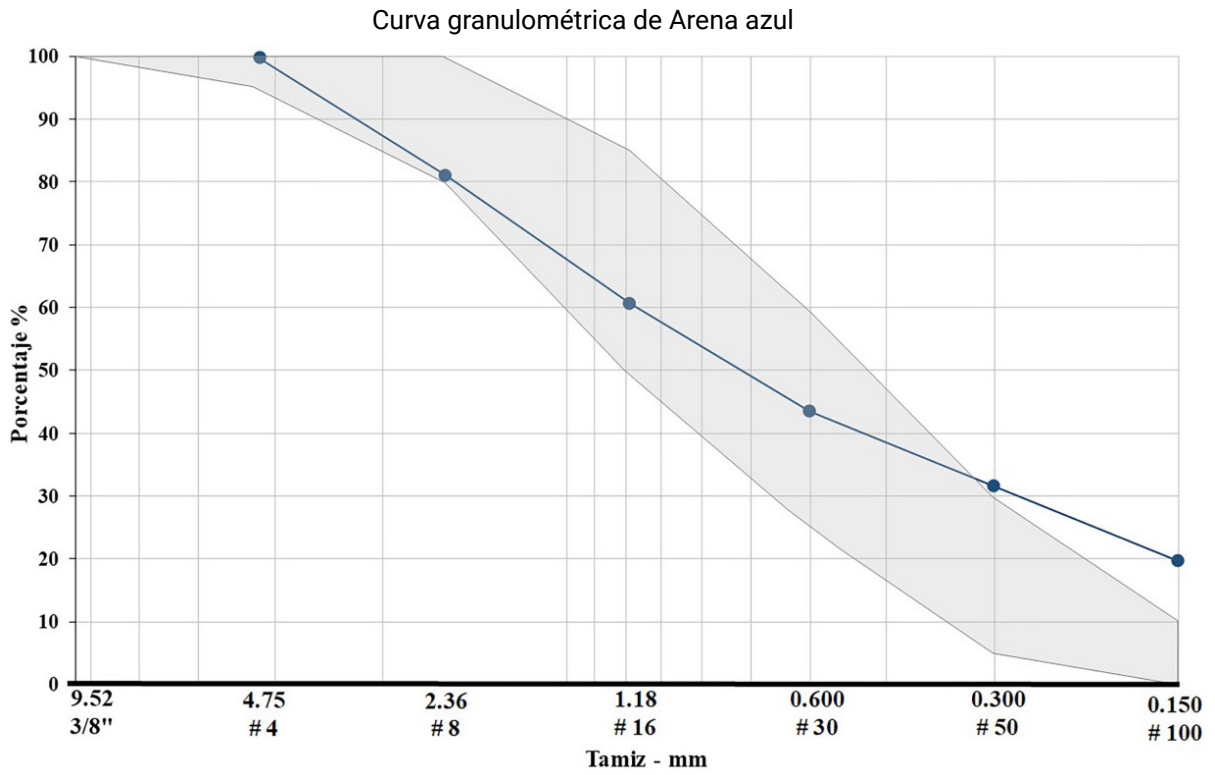
La curva granulométrica de la arena azul cumple con la cantidad de partículas retenida en los tamices números 4, 8, 16 y 30, excediendo los límites máximos de los tamices números 50 y 100 (véase Gráfica 2), es decir, es una arena que cuenta con un porcentaje mayor de finos, pero con una adecuada cantidad de gruesos y medios; estas dos arenas fueron extraídas de bancos de materiales.

La granulometría de la arena triturada (véase Gráfica 3) tiene una cantidad adecuada de partículas retenidas en el tamiz número 4, pero se sale de los límites mínimos de los tamices números 8 y 16, ajustándose a las proporciones aceptadas para los tamices número 30 y 50 y saliéndose del límite máximo para el tamiz número 100. Al ser una arena resultante de un proceso de trituración, se podría corregir su curva granulométrica al triturar las partículas con tamaño entre 2.36 y 1.18 mm, y retirando una mayor cantidad de partículas con diámetro menor a 0.15mm.

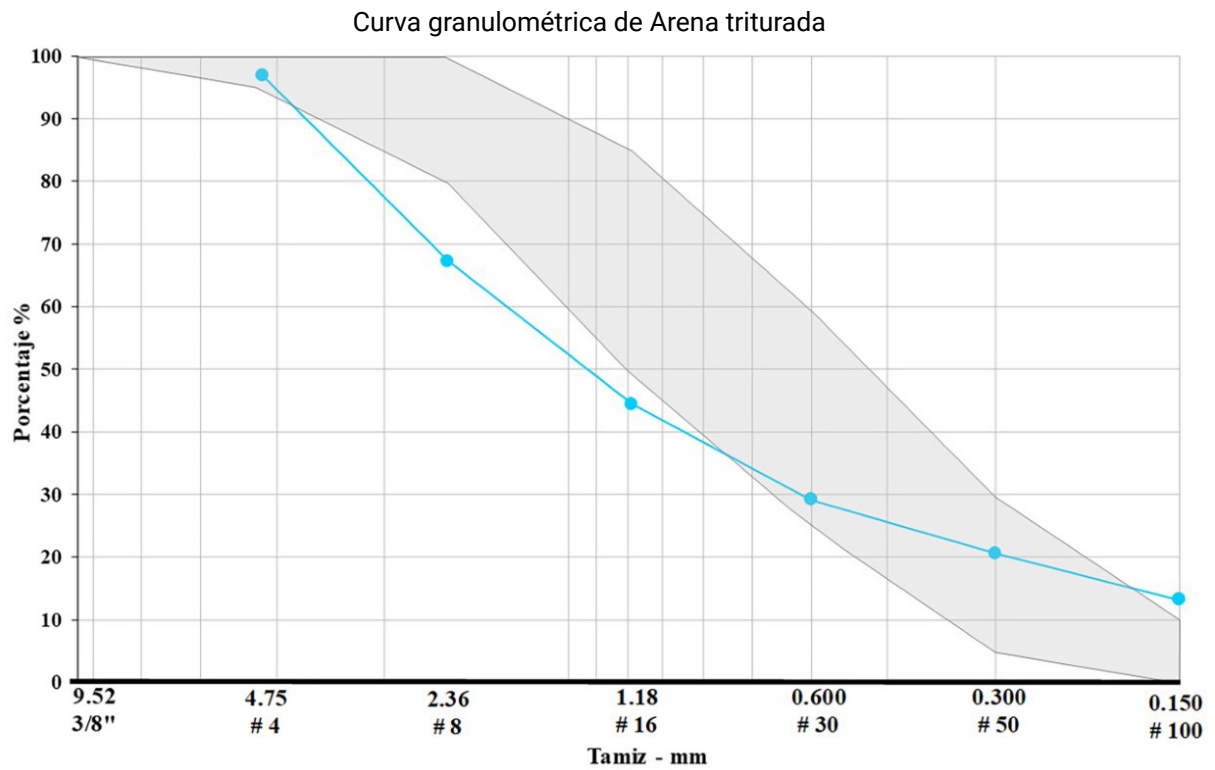


Gráfica 1. Curva granulométrica de la arena del río. Elaboración: LMSE.

23 "Standard Specification for Concrete Aggregates", American Society for Testing and Materials.



Gráfica 2. Curva granulométrica de la arena azul. Elaboración: LMSE.



Gráfica 3. Curva granulométrica de la arena triturada. Elaboración: LMSE.

Para el caso de las tres arenas, no se estabilizó ni corrigió su curva granulométrica, con la finalidad de observar las características que poseen de origen. La literatura establece que, al tener un promedio adecuado de su tamaño de partículas, la resistencia a la compresión aumenta,²⁴ ya que existen menores cavidades. En esta investigación se determinó analizar las características in situ de las arenas, ya que difícilmente en la construcción pueden corregirse dichas características granulométricas.

En relación con el módulo de finura de las arenas, la Tabla 3 indica que la arena triturada es la única que se sale de este parámetro. Debe recordarse que el módulo de finura (MF) es un índice de la finura de los agregados, el cual se calcula siguiendo los lineamientos de la norma ASTM C-125.²⁵ Este consiste en sumar los porcentajes de material acumulado y retenido en cada uno de los tamices y dividiendo la suma entre 100. Para el caso de los agregados finos, la norma ASTM C-33²⁶ determina que el módulo de finura deberá ser mayor a 2.3 y menor a 3.1.²⁷

Arena	Arena de río	Arena azul	Arena triturada
Módulo de finura	2.31	2.64	3.18

Tabla 3. Módulo de finura de las arenas caracterizadas. Elaboración: LMSE.

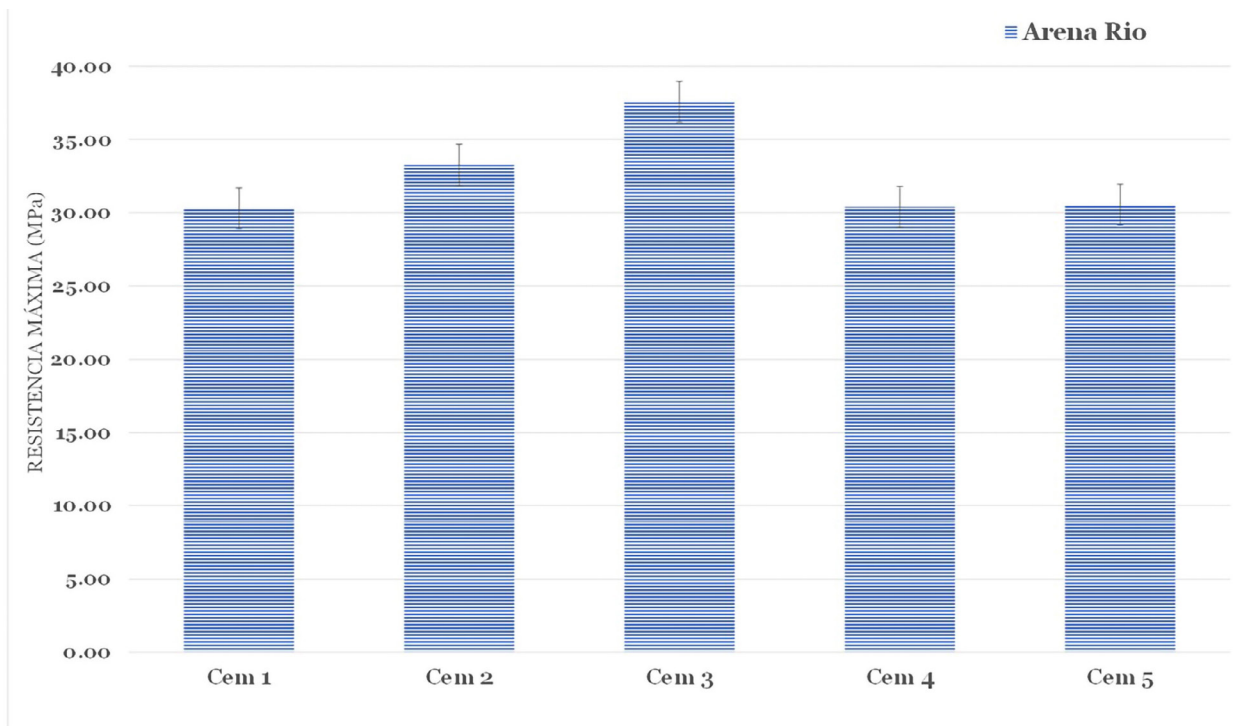
De los resultados obtenidos en las pruebas a compresión simple a los 28 días en morteros, se observan diferentes resistencias, es decir que una misma arena presentó diferentes resistencias según el cemento utilizado. Para el caso de la arena de río, la resistencia del mortero con el cemento uno fue de 30.31 MPa, para el cemento dos fue de 33.25 MPa, para el cemento tres fue de 37.57 MPa, para el cemento cuatro fue de 30.42 MPa y para el cemento cinco, la resistencia obtenida fue de 30.56 MPa (véase Gráfica 4). Lo anterior implica que existe una diferencia entre el valor mínimo del cemento uno y el máximo obtenido con el cemento tres de un 23.95%. Esto indica que, al utilizar la arena de río en mezclas de mortero, el cemento tres otorga una mayor resistencia a la compresión, por encima de los cementos uno, cuatro y cinco por presentar los valores más bajos, mientras que el cemento dos tiene un comportamiento intermedio.

24 Arthur H. Nilson, *Diseño de Estructuras de Concreto* (Colombia: Mc Graw Hill, 2001).

25 "Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates", American Society for Testing and Materials.

26 "Standard Specification for Concrete Aggregates", American Society for Testing and Materials.

27 H. K. Steven et al., *Diseño y control de mezclas de concreto* (Portland Cement Association, 2004), 17.

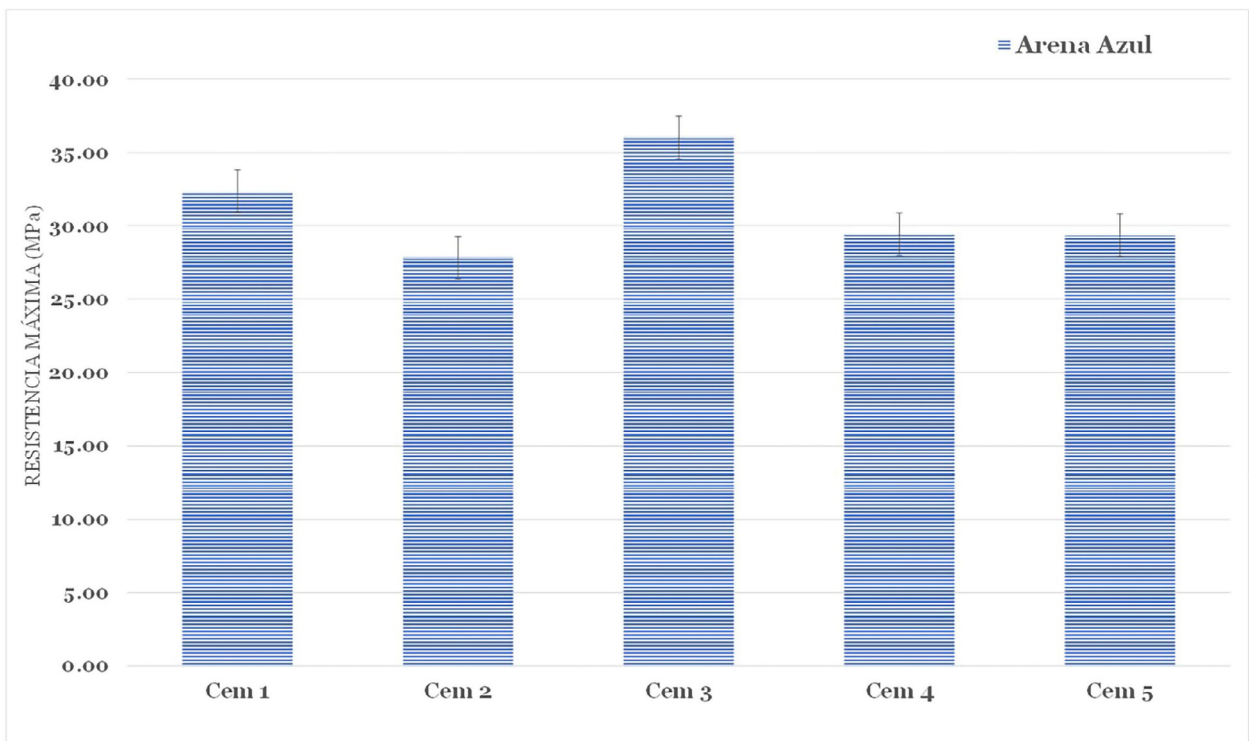


Gráfica 4. Resistencia a la compresión de morteros elaborados con arena de río y cinco marcas de cemento. Elaboración: LMSE.

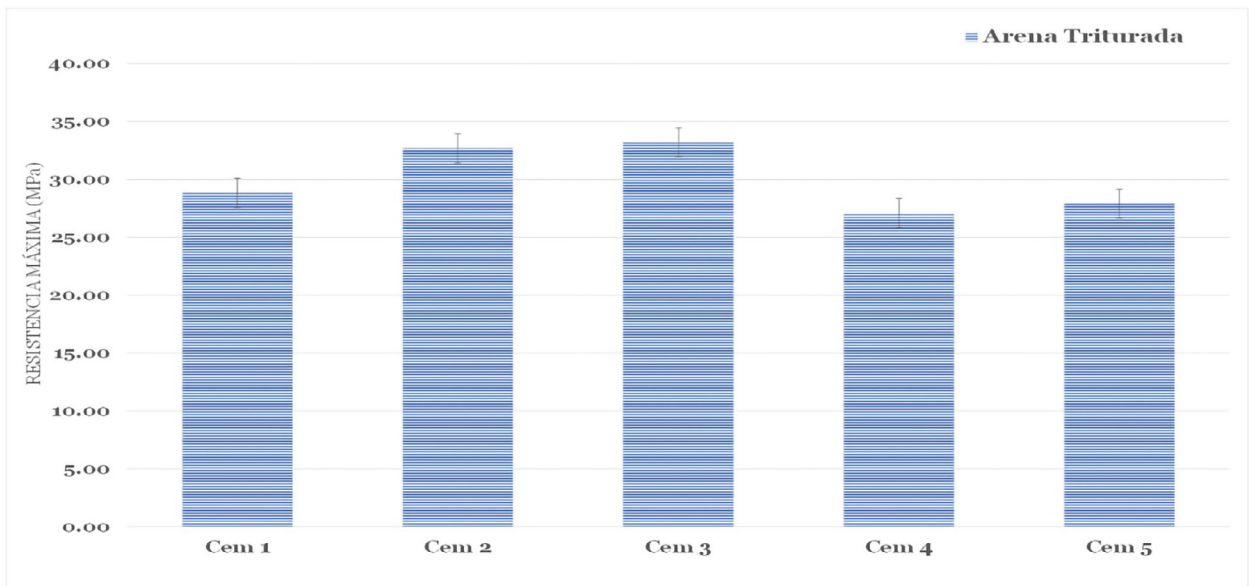
Para el caso de la arena azul, la resistencia del mortero utilizando el cemento uno fue de 32.36 MPa, para el cemento dos fue de 27.83 MPa, para el cemento tres fue de 36.02 MPa, para el cemento cuatro fue de 29.42 MPa, y para el cemento cinco la resistencia obtenida fue de 29.37 MPa (véase Gráfica 5). Se obtuvo una diferencia entre el valor mínimo del cemento dos y el máximo obtenido con el cemento tres de un 29.43%. Determinando que, al utilizar arena azul, el cemento tres obtiene mayor resistencia a la compresión, con la arena azul, el cemento uno tuvo una resistencia media y los cementos dos, cuatro y cinco fueron los que, en combinación con la arena azul, tuvieron los valores más bajos en la resistencia.

Para el caso de la arena triturada, la resistencia del mortero utilizando el cemento uno fue de 28.82 MPa, para el cemento dos fue de 32.68 MPa, para el cemento tres fue de 33.19 MPa, para el cemento cuatro fue de 27.08 MPa, y para el cemento cinco la resistencia obtenida fue de 27.89 MPa (véase Gráfica 6). Se obtuvo una diferencia entre el valor mínimo del cemento cuatro y el máximo obtenido con el cemento tres, de un 22.56%. Al igual que pasó con la arena de río y la arena azul, el cemento tres es el que tiene una mayor resistencia al implementar la arena triturada, seguido del cemento dos; el cemento cuatro y cinco presentaron los valores más bajos.

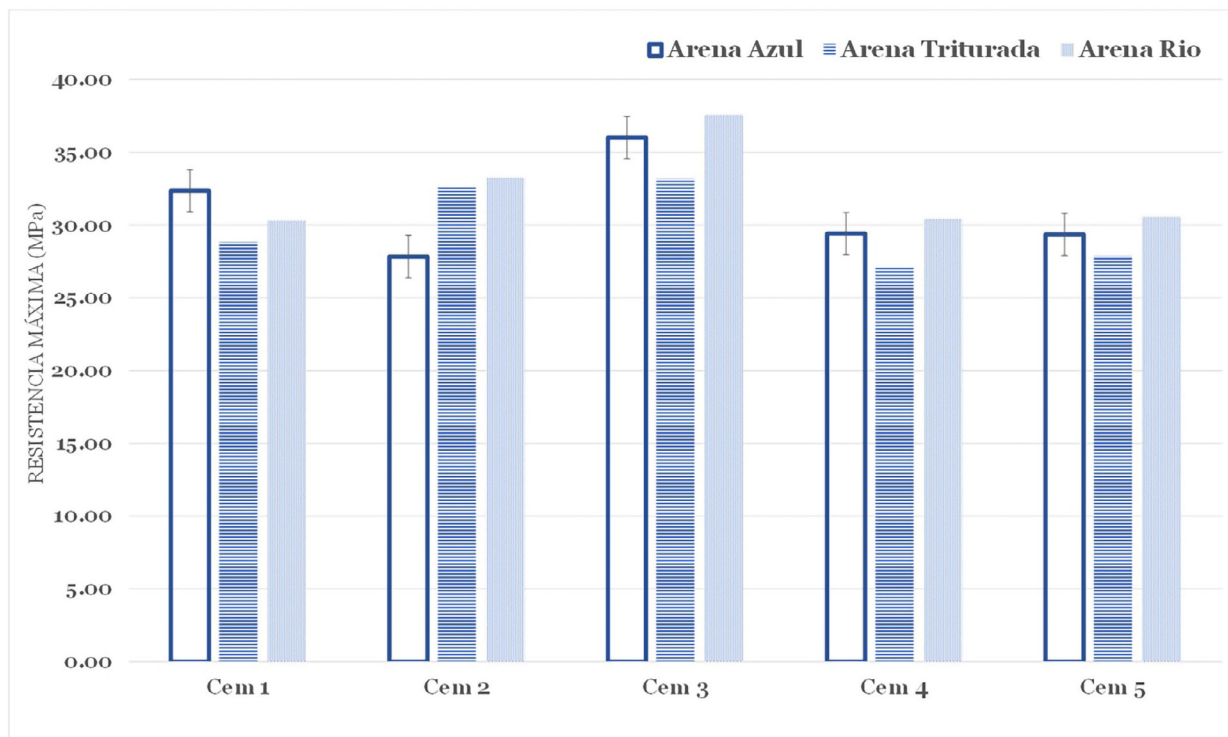
Al contrastar los valores de las 15 mezclas (véase Gráfica 7) podemos determinar que el cemento uno tendrá un mejor desempeño si se utiliza en conjunto con la arena azul, el cemento dos tendrá una mayor resistencia si se emplea en conjunto con la arena de río, al igual que el cemento tres, cuatro y cinco. Lo anterior tiene una correlación con la granulometría de las arenas, al determinar que la arena de río es la única



Gráfica 5. Resistencia a la compresión de morteros elaborados con arena azul y cinco marcas de cemento. Elaboración: LMSE.



Gráfica 6. Resistencia a la compresión de morteros elaborados con arena triturada y cinco marcas de cemento. Elaboración: LMSE.



Gráfica 7. Resistencia a la compresión de tres arenas y cinco cementos. Elaboración: LMSE.

que cumple con los parámetros de distribución de partículas establecidos por la norma ASTM C-33²⁸ (véase Gráfica 1). Ello significa que la granulometría de las arenas favorece o perjudica la resistencia mecánica de las mezclas.

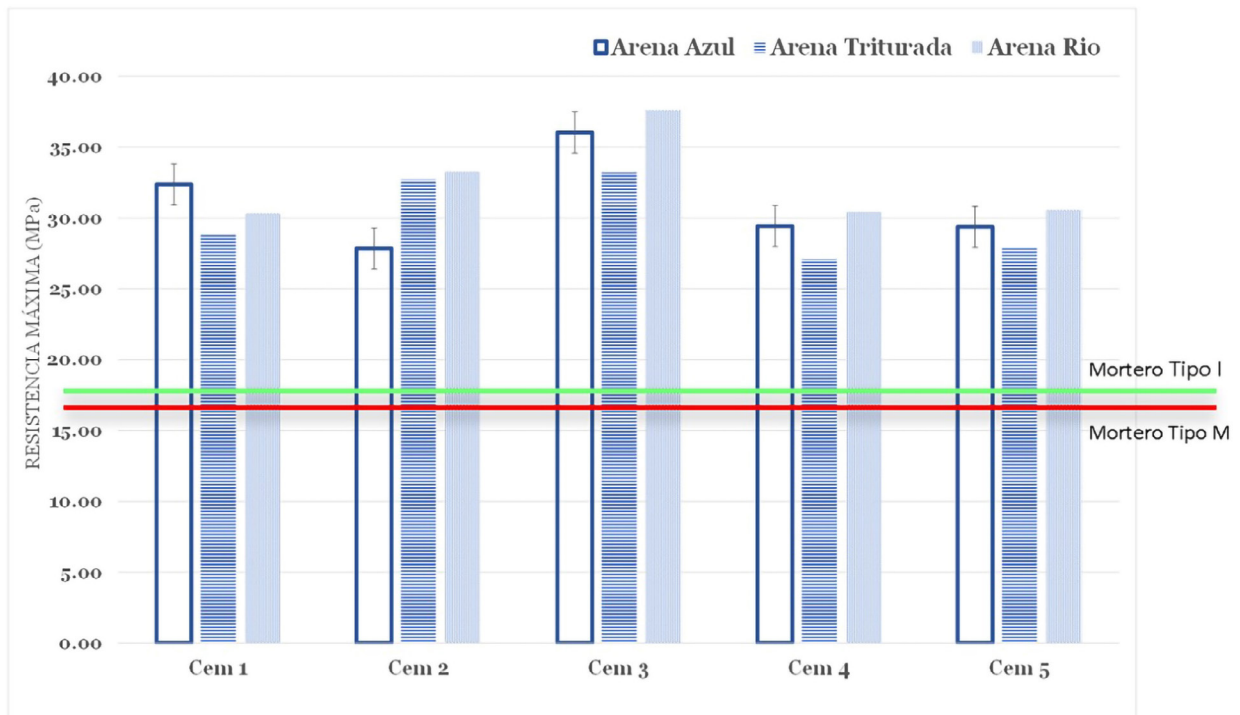
En la gráfica podemos observar que, si se utiliza el cemento uno, lo ideal es buscar una arena cuya granulometría se asemeje a las condiciones de la arena azul (véase Gráfica 2), pero esta granulometría será la más desfavorable si se utiliza el cemento dos. El cemento tres tendrá su menor desempeño al utilizar arena triturada, cuya granulometría mostró una ausencia de grueso, manteniendo la misma tendencia con el cemento cuatro y cinco.

Los valores de resistencia para los morteros establecidos por la norma ASTM C-270²⁹ es de un máximo de 17.2 MPa para un mortero tipo M, o de 18.0 MPa para un mortero tipo I si se utiliza la norma mexicana NMX C-486-ONNCCE-2014³⁰ (véase Tabla 1); estos son los de mayor desempeño mecánico clasificados por las normas, y en donde todos los diseños de mezcla sobrepasan esos parámetros (véase Gráfica 8).

28 "Standard Specification for Concrete Aggregates", American Society for Testing and Materials.

29 "Standard Specification for Mortar for Unit Masonry", American Society for Testing and Materials.

30 "Industria de la construcción – mampostería - mortero para uso estructural – especificaciones y métodos de ensayo", Norma Mexicana nmx c-486-onncce-2014.



Gráfica 8. Resistencia a la compresión de tres arenas y cinco cementos. Elaboración: LMSE.

Lo anterior nos lleva a suponer que para una mezcla de mortero donde se utilice el cemento tres con arena de río, la relación cemento-agregado podría ser mayor si se comparara con una mezcla que utiliza cemento cuatro con arena triturada. Resultando en una disminución en el consumo de cemento, sin que ello comprometa la resistencia mecánica final.

Conclusiones

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

Dos de las tres arenas utilizadas por la industria de la construcción en la zona centro del país no cumplen con los parámetros de granulometría establecida por la norma ASTM C-33.

Los cementos se desempeñan diferente en función de las arenas, incrementando su resistencia o perjudicándola, según sea el caso.

La arena de río tiene su mejor desempeño en combinación con el cemento tres y su valor más bajo al mezclarlo con el cemento uno.

La arena azul tiene su mejor desempeño en combinación con el cemento tres y su valor más bajo al mezclarlo con el cemento dos.

La arena triturada tiene su mejor desempeño en combinación con el cemento tres y su valor más bajo al mezclarlo con el cemento cuatro.

El cemento tres es el que presentó los valores más altos con las tres arenas.

La arena de río fue la que presentó los mejores resultados en cuatro de los cinco cementos. Lo anterior tiene correlación por ser la única arena que entra en los parámetros granulométricos de la norma ASTM C-33.

Una adecuada selección de los materiales optimiza las propiedades mecánicas de los morteros, lo que podría derivar en una disminución del volumen de cemento sin modificar la resistencia del material.

Agradecimientos

Al Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales (LMSE) de la Universidad Nacional Autónoma de México. Mtro. Antonio Tahuiton Mora, técnico académico del LMSE. El Dr. Muciño Vélez y Dr. López-Calvo agradecen el apoyo del Sistema Nacional de Investigadores de México (SNI-CONACYT).

Referencias

- SANJUÁN, M.A. y P. Castro. *Acción de los agentes químicos y físicos sobre el concreto*. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 2001.
- “INDUSTRIA de la construcción – cementos hidráulicos– especificaciones y métodos de ensayo”. Norma Mexicana NMX C-414-ONNCCCE-2017.
- GUTIÉRREZ de López, L. *El concreto y otros materiales para la construcción*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, 2003 [2° edición].
- ARNAL Simón, L. *Reglamento de construcciones para el Distrito Federal: reglamento, normas técnicas, Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal, Reglamento de la Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal, ilustraciones y comentarios, gráficas, planos y lineamientos*. México: Trillas S.A. de C.V., 2005.
- “STANDARD Specification for Mortar for Unit Masonry”, ASTM C – 270. American Society for Testing and Materials.
- “INDUSTRIA de la construcción – mampostería - mortero para uso estructural – especificaciones y métodos de ensayo”. Norma Mexicana NMX C-486-ONNCCCE-2014.
- NEVILLE, Adam M. *Tecnología del concreto*. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 2013.
- MEHTA, K. y P. Monteiro. *Concreto, estructuras, materiales y propiedades*. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C., 1998.
- MUCIÑO Castañeda, R. *Concreto para técnicos de la construcción*. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 2013.
- IMCYC. *Guía para seleccionar las proporciones para concretos de alta resistencia con cemento Portland y ceniza volante*. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 2013.
- “STANDARD Specification for Concrete Aggregates”, ASTM C – 33. American Society for Testing and Materials.
- MATHER, B. y Ozyildirim, C. *Cartilla del concreto*. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 2004.
- “STANDARD Specification for Blended Hydraulic Cements”, ASTM C – 595. American Society for Testing and Materials.
- MUCIÑO Vélez, A. *Endurecimiento de cementos tipo portland inducido por fosfatos y/o silicatos*. Tesis de doctorado en Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, 2015.
- “STANDARD Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars”, ASTM C-109. American Society for Testing and Materials.
- NILSON, Arthur H. *Diseño de Estructuras de Concreto*. Colombia: Mc Graw Hill, 2001.
- “STANDARD Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates”, ASTM C-125. American Society for Testing and Materials.
- STEVEN, H. K. et al. *Diseño y control de mezclas de concreto*. Portland Cement Association, 2004.

Alberto Muciño Vélez

Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales (LMSE), Centro de Investigaciones en Arquitectura, Urbanismo y Paisaje (CIAUP), Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México
amucino@unam.mx

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 recientemente se le otorgó la distinción Universidad Nacional para Jóvenes Académicos en el área de Arquitectura y Diseño por su labor en la 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 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.
<http://orcid.org/0000-0002-6386-0249>

Herwing Zeth López Calvo

Cuerpo Académico Tecnología y Sustentabilidad, Maestría en Ciencias de la Construcción, Facultad de Arquitectura “5 de Mayo”, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca
hz.lopez.calvo@gmail.com

Maestro en Ingeniería Civil, con especialidad en construcción y doctor en Ingeniería Civil, con especialidad en durabilidad en concretos de alto desempeño, por la Universidad de New Brunswick, Canadá. Desde el año 2012 es profesor-investigador de tiempo completo y profesor en la “Maestría en Ciencias de la Construcción”, que se imparte en la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca (UABJO). Actualmente se desempeña como coordinador de Investigación Posgrado y director fundador del laboratorio Materiales, Edificación y Medio Ambiente en la Facultad de Arquitectura “5 de Mayo” de la UABJO. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores de México (SNI-CONACYT) y consultor técnico de diversas empresas.
<http://orcid.org/0000-0001-6058-0981>

César Armando Guillén Guillén

Unidad de Posgrado, Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México
cesar.guillen@fa.unam.mx

Arquitecto por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); 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-Tecnológica 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) Región Centro. Profesor Asociado 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.

<https://orcid.org/0000-0002-2596-6122>

Cristhian David Carbajal García

Maestría en Arquitectura, Facultad de Arquitectura UNAM
arqcarbajalg@comunidad.unam.mx

Maestrante en Arquitectura en Pensamiento y Producción Científico-Tecnológica en la UNAM. Arquitecto por la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMEX), con mención honorífica en el diseño del Centro de capacitación y actualización docente en la zona centro de Toluca. Es colaborador del Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables (CONACYT) de la Facultad de Arquitectura de la UNAM. Actualmente se desempeña como director general en ARVICA, Arquitectura de Vivienda y Construcción Aplicada S.A. de C.V. y director general de Ma-Block, (Sistemas de Mampostería Modular). Sus líneas de investigación son el análisis de las propiedades mecánicas del mortero durante su proceso de secado y análisis de fisuración y retracción en morteros.