

DETERMINAR LA RESISTENCIA FÍSICA Y MECÁNICA DE MORTEROS Y MATERIALES UTILIZADOS EN OBRAS DEL PATRIMONIO CULTURAL EDIFICADO.

María Candelaria Lozano Barrientos
Aleyda Cruz González¹
Hernán Dario López
Mtro. Eloy Juárez Sandoval

Estudiantes de Arquitectura en la Universidad de Guanajuato, mc.lozanobarrientos@ugto.mx,
a.cruz.gonzalez@ugto.mx;

Estudiante de Ingeniería Mecánica en la Universidad Santo Tomás, Colombia,
hernanlopezr@usantotomas.edu.co;

Académico del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Guanajuato, ejuarez@ugto.mx

Introducción

El rescate de recintos del patrimonio cultural edificado es de suma importancia, dado que son la herencia de futuras generaciones y se deben perseverar en óptimas condiciones, salvaguardando la integridad y seguridad tanto de los pobladores como del propio inmueble. En ese sentido, es indispensable conocer las características físicas y mecánicas de los materiales utilizados con el propósito de emplear las mejores soluciones durante el proceso de intervención.

El análisis de la resistencia física y mecánica de los morteros, canteras y tabiques, utilizados en cimentaciones, albañilerías, cubiertas, acabados y recubrimientos en la restauración de obras del patrimonio cultural, estará en función de diversos proporcionamientos y materiales que tienen una conformación química y física diferente, por lo que es necesario tener especímenes para probar en laboratorio de materiales su resistencia a través de compresiones simples y caracterizarlos para el uso eficiente, teniendo en consideración el control de calidad, para que las obras sean seguras y cumplan con los estándares establecidos en las normatividades nacio-

nales e internacionales (INAH, UNESCO, NOM y ASTM).

Objetivo

Determinar la resistencia física y mecánica de morteros y materiales utilizados en obras de restauración de bienes patrimoniales a través de pruebas a la compresión simple con el propósito de definir y caracterizar su mejor uso para estar en posibilidades de emitir criterios técnicos de intervención.

Materiales Y Métodos

La metodología empleada para la elaboración del presente trabajo se realizó en el periodo del 17 de junio al 1 de agosto de 2019 se compuso de los siguientes puntos:

- Contextualización. Se realizó la investigación de conceptos básicos para entender el vocabulario utilizado en la investigación, así como el funcionamiento del equipo técnico de laboratorio y el procedimiento para realizar las pruebas a la compresión simple (INSTRON, 2019) de los diferentes materiales de estudio y determinar el esfuerzo máximo que pueden soportar los materiales bajo una carga. Igualmente se analizaron las diferentes normas

oficiales aplicadas para el uso de materiales.

- Especímenes. Se consiguieron diversas piezas de cantera de la región y tabique elaborado en Guanajuato, además, se elaboraron morteros con diferentes proporcionamientos con relación 1:1, 1:2, 1:3 y 1:4 de cal viva-arena; cal viva-arena-carbonato de calcio, cal viva-arena-baba de nopal; igualmente se hizo la comparación con el mortero comercial.

- Pruebas. Una vez que se tuvo el conocimiento del manejo del equipo técnico de laboratorio, las especificaciones de cada material a utilizar, la preparación de las muestras y la interpretación de las normas oficiales, se llevaron a cabo las pruebas de resistencia a la compresión simple.

- Resultados. De los datos arrojados de las pruebas de laboratorio, se elaboró un cuadernillo con las especificaciones del procedimiento de preparación y moldeado de los diferentes especímenes de materiales utilizados, así como la interpretación de resultados y la conclusión. De dicho cuadernillo se desprende el presente artículo.

Desarrollo

En base a los requerimientos de las normas ASTM C136-01 y N-CMT 201 004/02 se llevaron a cabo las pruebas de granulometría a fin obtener 20 kg de arena bien graduada y limpia que permita establecer la mejor calidad de arenas para proceder a la elaboración de morteros y cumplir con los estándares establecidos en la normatividad.



Imagen 1. Proceso de granulometría de arena.
Fuente: Elaboración propia.

Después de obtener los 20kg de arena bien graduada y limpia, se procedió a la elaboración de morteros con diferentes proporcionamientos con relación 1:1, 1:2, 1:3 y 1:4 de cal viva-arena; cal viva-arena-carbonato de calcio, cal viva-arena-baba de nopal; igualmente se preparó una muestra de mortero comercial, ello con la finalidad de obtener especímenes para ser sometidos a pruebas de compresión simple y determinar sus características físicas y mecánicas.



Imagen 2. Elaboración de morteros.
Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se prepararon los especímenes de cantera en forma cúbica de 5cm por lado y tabique para ser sometidos a pruebas a la compresión simple y determinar su resistencia en base a la norma mexicana NMX-C-061. La cantera se obtuvo de dos bancos de materiales, por lo que fue necesario clasificarlas en dos grupos: A (Santa Teresa, Guanajuato), cuyas muestras contienen cantera procedente de los Estados de Hidalgo y Zacatecas; y B (Presa de la Olla, Guanajuato), con muestras procedentes del municipio de Guanajuato. El tabique de barro rojo recocido también fue adquirido de un banco de materiales del municipio de Guanajuato.



Imagen 3. Muestras de cantera y tabique de barro rojo recocido. Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenidos los especímenes de morteros, cantera y tabiques, se llevaron a cabo las pruebas de compresión simple para determinar la resistencia de los materiales con el propósito de interpretar resultados y emitir conclusiones.

Pruebas de compresión simple de morteros
 Para realizar las pruebas de compresión de los morteros fue necesario realizar el descimbrado hasta el día 19, respecto al día de su fabricación. Se pudo observar que al agregar aditivos (baba de nopal) el proceso de fraguado es lento por ser un retardante de fraguado y las pruebas de esfuerzo se llevaron a cabo después del día 20.

Este proceso permitirá conocer la resistencia a la compresión de morteros con las siguientes proporciones en peso:

Proporción	Cantidades
1:1	600gr cal, 600gr arena
1:1	600gr cal, 60gr marmolina, 540gr arena
1:1	600gr cal, 600gr arena, 30ml baba de nopal
1:2	300gr cal, 600gr arena
1:2	300gr cal, 600gr arena, 51.15ml baba de nopal
1:2	300gr cal, 60gr marmolina, 540gr arena
1:3	200gr cal, 600gr arena
1:3	200gr cal, 60gr marmolina, 540gr arena
1:3	200gr cal, 600gr arena, 10ml baba de nopal
1:4	150gr cal, 600gr arena
1:4	150gr cal, 60gr marmolina, 540gr arena
Mortero comercial	1200 de mortero, 400ml agua

Tabla 1. Proporciones realizadas.
 Fuente: Elaboración propia



Imagen 4. Muestras de cantera y tabique de barro rojo recocido. Fuente: Elaboración propia.

Pruebas de compresión simple de cantera
 Debido a que las muestras de cantera se obtuvieron de dos bancos de materiales, se hicieron dos clasificaciones grupo A (1-15) y grupo B (1-20), obteniendo un total de 35 cubos de 5cm por lado, de las cuales se determinó su peso (kg) y las dimensiones (cm²) con el propósito de determinar el esfuerzo máximo a la falla.

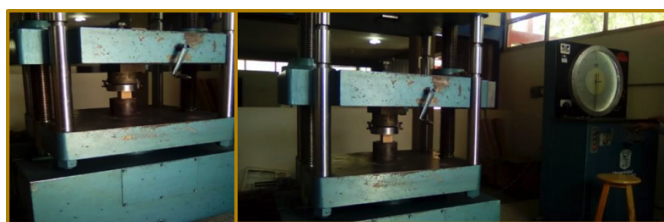


Imagen 5. Pruebas a la compresión simple de la cantera. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 6. Muestras de cantera, posteriores a la prueba GRUPO A. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 7. Muestras de cantera, posteriores a la prueba GRUPO B. Fuente: Elaboración propia.

Pruebas de compresión simple de tabique de barro rojo recocido

El proceso mencionado en la norma mexicana NMX-C-061 permite obtener la fuerza de compresión soportada en cada uno de los especímenes de tabiques obtenidos en la localidad.

Para la prueba de compresión simple del tabique se obtuvieron el peso (kg) y las dimensiones (cm²), a fin de saber el peso volumétrico y las áreas de contacto, para que al aplicar la carga se determine el esfuerzo máximo a la compresión de acuerdo con la norma NMX-C-036.



Imagen 8. Prueba de compresión simple del tabique de barro rojo recocido. Fuente: Elaboración propia.

Resultados Y Discusión

Para el análisis de resultados de las pruebas de compresión simple de los morteros, el tabique de barro rojo recocido y las canteras se utilizaron las siguientes expresiones:

$R = \frac{F}{A}$	$V = L \cdot a \cdot h$
<p>R=Resistencia a la compresión en MPa (kgf/cm²)</p> <p>F=Carga máxima en N (kgf)</p> <p>A=Área transversal del espécimen (cm²)</p>	<p>P.V = $\frac{\text{Peso kg}}{\text{Volumen de muestra}}$</p> <p>V = Volumen</p> <p>P.V = Peso Volumétrico</p> <p>L = Largo</p> <p>h = Altura</p> <p>a = Ancho</p>

Morteros

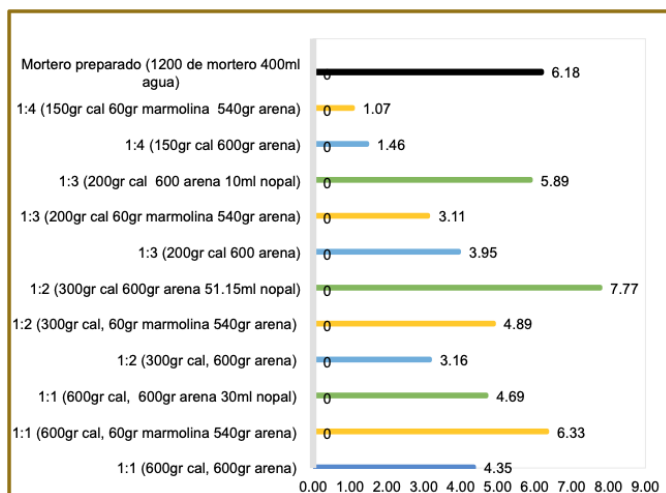
En los morteros con proporción 1:1 la mayor resistencia se logró en los que contienen marmolina 6.33 kg/cm², seguida por la que se agregó la baba de nopal 4.69 kg/cm² y la más baja la que no lleva aditivos 4.35 kg/cm². En los morteros con proporción 1:2 la mayor resistencia se obtuvo en las muestras que contenían baba de nopal 7.77 kg/cm², seguida de las que contenían marmolina 4.89 kg/cm² y la última que no lleva aditivos 3.16kg/cm². En los morteros 1:3 la mayor resistencia se obtuvo en las muestras que contenían baba de nopal 5.89 kg/cm², seguida de las que no contienen aditivos 3.95 kg/cm² y al final las que contenían marmolina 3.11/cm². En los morteros 1:4 la mayor resistencia se obtuvo en las muestras que no lleva aditivos 1.46 kg/cm² y las de menor resistencia las que contenían marmolina 1.07 kg/cm². El mortero comercial alcanzó un f'c máximo (esfuerzo a compresión del material)

de 6.18 kg/cm².

Los morteros con baba de nopal a los 20 días, se estima que deberían estar a un $f'c = 40\%$ de su $f'c$ máxima resistencia, aclarando que el fraguado de los morteros es por carbonatación y no por sulfatación como es el caso de los que contienen cemento, asimismo la baba de nopal funciona como un retardante de fraguado por tratarse de una glucosa.

Los morteros sin baba de nopal, se estima, tendrían a los 20 días un $f'c = 60\%$ del $f'c$ máxima, dichos resultados se pueden observar en la gráfica 1.

Los morteros a base de cal viva son de resistencia menor a los que contienen cemento, sin embargo, se ha visto que funcionan adecuadamente en obras de restauración seguramente por tener mayor plasticidad y maleabilidad ante esfuerzos de compresión, además, de que son morteros que transpiran, lo que implica la disminución de humedades en las estructuras.



Gráfica 1. Resistencia de morteros a la compresión máxima (Kg/cm²). Fuente: Elaboración propia.

Cantera

De los resultados obtenidos de las muestras de cantera, se observó que la de mayor resistencia a la compresión es la de color amarillo con 473kg/cm² en las muestras obtenidas de Santa Teresa y el rosa oscuro con 633kg/cm² de las obtenidas de la Presa de la Olla, la segunda con mayor resistencia es la verde con 553kg/cm².

En cuanto a las resistencias más bajas se obtuvieron en las muestras de color naranja de ambos lugares, con 138kg/cm² para las de Santa Teresa y 30.40kg/cm² para las de la Presa de la Olla. Ver gráfica 2.



Gráfica 2. Comparación de pruebas de resistencia en canteras de los 2 bancos de materiales.

Fuente: Elaboración propia.

En ese sentido, la cantera con mayor resistencia a la compresión simple es la de color rosa, originaria de Guanajuato, en cambio, las pruebas clasifican a la cantera color naranja como la de menor resistencia y por lo tanto la más deleznable ante los agentes externos de deterioro.

La cantera tiene varios aspectos físicos, químicos y morfológicos que influyen en su resistencia, se pudo observar que aquellas muestras que visualmente tenían más uniformidad en su color y estructura resistieron mayor esfuerzo a la compresión, sin embargo, es recomendable siempre mandar muestras del material para ser analizadas por los laboratorios y así tener una mayor certeza de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que se están empleando en las obras de restauración.

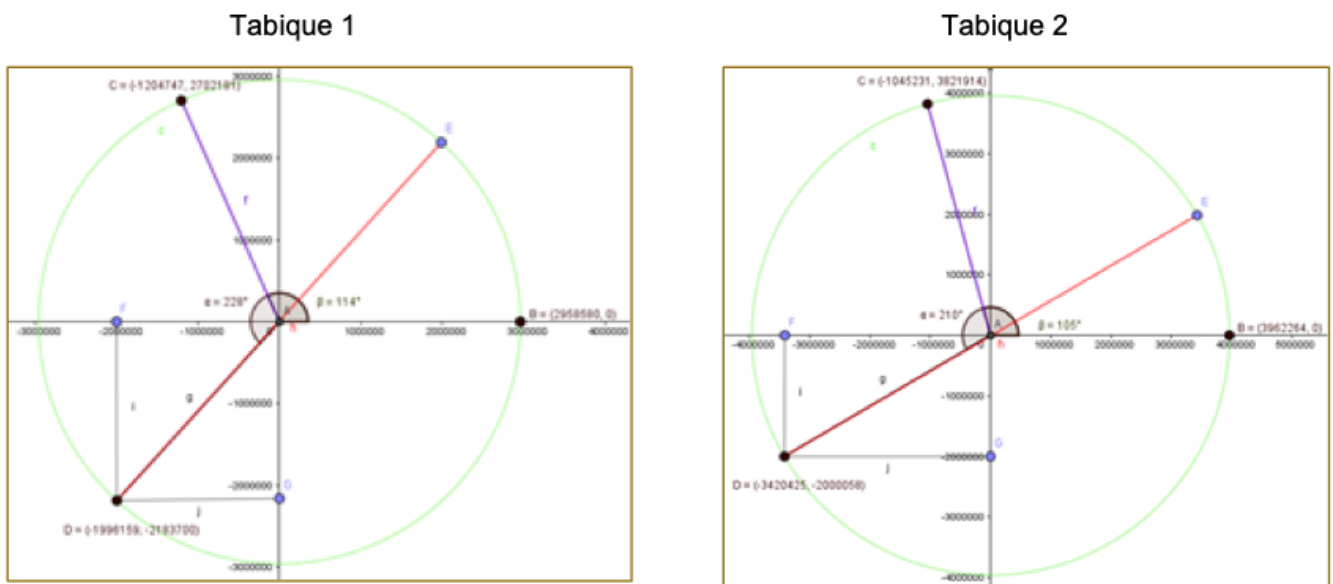
Tabique de barro rojo recocido

De las pruebas realizadas a los tabiques se determinó que tienen una variación de acuerdo con la calidad de fabricación y su resistencia varía entre 25-40 kg/cm².

Ladrillo	Ancho (cm)	Largo (cm)	Alto (cm)	Peso (Kg)	Volumen (cm ³)	P. Volumétrico (Kg/cm ³)	Área (cm ²)	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Ángulo de la grieta (°)	2θ	Radianes	σ _x	τ _y	σ _x	τ _y	σ _x %	τ _y %
1	13.00	26.00	6.50															
	13.00	26.00	6.50	3.2555	2197.00	0.001481793	338.00	10000	29.59	114	228	3.979350695	-	-	-	-	100.00	100.00
	13.00	26.00	6.50										19.80	21.99	1996159	2183700		
	13.00	26.00	6.50															
2	13.00	26.50	6.50															
	13.50	26.50	6.70	3.2595	2320.22	0.001404822	353.33	14000	39.62	105	210	3.665191429	-	-	-	-	100.00	100.00
	13.50	26.50	6.50										34.31	19.81	3420425	2000058		
	13.33	26.50	6.57															

Tabla 2. Resultados de pruebas de compresión simple del tabique (kg/cm²).
Fuente: Elaboración propia

Círculo de Mohr para identificar en el tabique de barro rojo recocido los esfuerzos principales, normal y tangencial. (Antico, 2008)



Gráfica 3. Círculo de Mohr para los tabiques.

Conclusiones

Considerando los análisis realizados, es recomendable que en todas las obras de construcción y restauración se incluya dentro del catálogo de conceptos de obra, el concepto de pruebas de laboratorio de materiales, con el propósito de tener un control de calidad de los proporcionamientos y los materiales que específicamente se utilizarán a fin de garantizar la calidad de las obras.

Agradecimientos

Reconocemos la colaboración y apoyo en el proyecto a: Mtra. Alejandra Carrillo Barrón * Ing. Jaime Uriel Balderas Torres * Mtra. Silvia Yadira Montesinos Zúñiga * T.A. Cesar Leonardo Ruiz Jaime * T.A. Alberto Alejandro Martínez Rodríguez * T.A. Antonio Castro Lozano * C. Karla Cecilia Gallegos Ramos * C. Jessica Edith Rea Martínez.

Referencias

Amador, J. L. (12 de julio de 2018). ARQUITECTURA Y EDUCACIÓN . Obtenido de usos de la cal en la restauración: http://aducarte.weebly.com/uploads/5/1/2/7/5127290/usos_de_la_cal_en_la_restauraci%C3%B3n.pdf

Andrés A. Torres Acosta, P. F. (octubre de 2007). Las bondades del nopa . Obtenido de Construcción y Tecnología: <http://www.imcyc.com/ct2007/oct07/tecnologia.htm>

Antico, F. a. (2008). Circulo de Mohr Para El Cálculo de Tensiones Principales En El Plano y El Espacio.

Antropología. Revista Interdisciplinaria Del INAH, (99), 92-114. (ABRIL de 2015). Torres Soria, P., Cruz Flores, S., Peña Pelaéz, N., Fernández Mendiola, S., Rodríguez Ibarra, M., & Cruz Becerril,. Obtenido de La baba y el mucílago de nopal, una alternativa natural para la conservación de acabados arquitectónicos de tierra: <https://revistas.inah.gob.mx/index.php/antropologia/issue/view/591/658>

ASTM. (1995). D 2938. Obtenido de Método de Ensayo Estándar para Resistencia de Compresión No Confinada de Especímenes de Núcleo de Roca Intacto: https://www.academia.edu/16527227/ATSM_Compresi%C3%B3n_Simple

ASTM C 136. (2001). Método de Prueba para el Análisis de Tamizado de Agregados Finos y Gruesos. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/328614344/ASTM-C-136-01-doc>

ASTM C 144. (2004). Especificación Normalizada para Agregados para Morteros de Albañilería. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/351665754/C144-04-Agregados-Para-Morteros-de-Alban-ileri-a>

ASTM C 40. (2004). Método de Prueba para las Impurezas Orgánicas en los Agregados Finos para Concreto. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/73880774/9-ASTM-C40-04>

ASTM C33. (2003). Especificación estándar para Agregados Para Concreto. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/363156459/ASTM-C33-03-Espanol>

ASTM D 75. (1997). Práctica para Muestreo de Agregados. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/62854937/ASTM-D-75-97>

ASTM D143-94 . (2000). Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber (Strip Method).

MINERALES DEL SUR. (2016). MARMOLINAS . Obtenido de MINERALES DEL SUR: https://mineralesdelsur.com/portfolio_page/marmolinas/

NMX-C-036-ONNCCE. (2004). Industria de la Construcción-Bloques, tabique o ladrillos, tabicones y adoquines- Resistencia a la compresión- Metodo de pueba. Organismo Nacional de Normalizacion y Certificacion de la Construcción y la edificacion, S.C.

NMX-C-061-ONNCCE. (2010). Industria de la Construcción-Cementos Hidraulicos-Determinacion de la Resistencia a la Compresion de Cementantes Hidraulicos.

NMX-C-111-ONNCCE. (2014). Agregados para concreto hidráulico -especificaciones y métodos de ensayo. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/373668516/Nmx-c-111-Onncce-2014-Agregados-Para-Concreto-Hidraulico>

NMX-C-404-ONNCCE. (2012). INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN – MAMPOSTERÍA – BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS Y TABICONES. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/275508628/Nmx-c-404-Onncce-2012>

NMX-C-486-ONNCCE. (2014). Industria de la Construcción-Mortero para uso estructural-Especificaciones y metodo de esnsayo. Organismo Nacional de Normalizacion y Certifinacion de la Construcción y la Edificacion, S.C.

NMX-C-508-ONNCCE. (2014). Industeia de la Construcción-Bloques de tierra Comprimida estabilizados con cal-especificaciones y metodo

de ensayo. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C.

UNAN. (24 de octubre de 2014). UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA. FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS, DEPARTAMENTO DE CONTRUCCION. Obtenido de LABORATORIO DE MATERIALES Y SUELOS: <https://es.slideshare.net/EnriqueUnan9/laboratorio-3-pvsc-pvsc>

Universidad Nacional de La Plata . (2008). Facultad de Ingeniería. Obtenido de CIRCULO DE MOHR para el cálculo de tensiones principales en el plano y el espacio: <http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Circulo%20de%20Mohr2.pdf>