

Elaboración y análisis de esfuerzo axial de bloques constructivos manufacturados con residuos de cantera y arena volcánica

SANTIAGO REYES MARYJOSE, RAMÍREZ MATÍAS ARIADNA MONTSERRAT, JOSÉ LUIS CASTILLO MONTESINOS.

Resumen— La explotación y labrado de la cantera en la comunidad de Magdalena Apasco Etna, Oaxaca, ha sido practicada por más de 100 años, siendo actualmente una de sus principales actividades económicas. Sin embargo, estudios realizados entre los maestros artesanos han demostrado que solo alrededor de un 40% de la cantera que se explota es aprovechada, generando una gran cantidad de residuos. La cantera es una piedra perteneciente a un grupo de minerales denominado zeolitas cuya estructura de aluminio-silicato genera un sistema de poros y canales con diámetros específicos y uniformes, haciéndolas más ligeras que la arena y proporcionando más volumen por tonelada de producto, así como una dureza y resistencia similares.

Existen estudios reportados por Castillo-Montesinos, donde se ha definido ya, la viabilidad para conformar bloques constructivos hechos con cantera triturada con diferentes tamaños de grano; aglutinados con cemento portland compuesto, cuyos valores de resistencia mecánica a la compresión axial es muy parecida o inclusive superior, a la resistencia de los bloques constructivos comunes (tabicones ligeros y pesados). En esta investigación se plantea mezclar residuos de arcilla zeolítica triturada con arena volcánica, para definir su viabilidad para conformar un bloque constructivo estable y útil a través de la determinación de su esfuerzo axial máximo; para esto se realizaron dos lotes de tabicones de cantera-tepezil, con 25 unidades cada uno, con tamaños de grano distintos; se dejaron fraguar durante 28 días y posteriormente fueron sometidos a pruebas mecánicas de compresión bajo la norma NMX-C-036-ONNCCE-2013. Los resultados obtenidos permitieron determinar que al mezclar zeolita triturada con tepezil como material agregado y cemento portland compuesto como aglutinante, se obtiene un bloque constructivo regular y estable usando las técnicas de manufactura de tabicones convencionales. La resistencia mecánica a la compresión registrada durante los ensayos destructivos hace a los tabicones de cantera-tepezil (MaG-I) una opción real para la construcción de edificaciones.

Los autores pertenecen a la carrera INGENIERÍA CIVIL de la ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA, UNIVERSIDAD LA SALLE OAXACA.

El proyecto fue asesorado por: M. EN C. JOSÉ LUIS CASTILLO MONTESINOS.

I. INTRODUCCIÓN

Una de las principales actividades económicas y la de mayor actividad comercial de la comunidad Magdalena Apasco, Etna, Oaxaca, es la explotación de la piedra de cantera, con producciones mensuales de aproximadamente 42.5 m^3 en bloques de piedra llamadas de “medida” ($45 \times 45 \times 65 \text{ cm}$), la cual se vende a los talleres de laminado y labrado. De este material aproximadamente sólo un 40% se aprovecha para la elaboración de esculturas a través del tallado artesanal, por lo que se acumulan grandes concentraciones de residuos sin valor comercial [1].

La zeolita es un mineral compuesto por aluminio, silicio, sodio, hidrógeno y oxígeno, cuya estructura de aluminio – silicato permite que gocen de un sistema de poros y canales con diámetros específicos y uniformes, haciéndola más ligera que la arena y con mayor volumen por tonelada de producto, así como una dureza y resistencia similares, existiendo alrededor de unos 50 tipos de zeolitas naturales y más de 150 sintéticas [2]. El tipo de zeolita presente en el municipio de Magdalena Apasco Etna pertenece a la clinoptilolita [3], la cual además es una de las 4 especies que tienen actualmente gran importancia práctica como: intercambiadores de iones, adsorbentes y catalizadores [4].

El objetivo de este proyecto es evaluar mediante pruebas mecánicas de compresión axial, la viabilidad de reutilizar los residuos de zeolita de tipo clinoptilolita mezclado con tepezil, como material principal (agregado) más cemento Portland compuesto como material aglutinante en la manufactura de bloques de construcción, que permitan su implementación en la industria de la construcción sostenible.

II. DESARROLLO DE PROBETAS

Para contar con parámetros de comparación válidos, se desarrollaron en la tabiquera “los ríos” 2 lotes de tabicón comercial, 10 piezas de tabicón ligero y 10 piezas de tabicón pesado. En estos lotes de tabicón, se utilizó cemento Portland compuesto marca tolteca. Es conveniente destacar que la tabiquera “los ríos” es una empresa certificada con más de 15 años de experiencia y trabaja bajo los estándares de la norma NMX-C-441-ONNCCE-2005, lo que garantiza la estabilidad, el tamaño de grano y la resistencia mecánica de los tabicones que en ella se elaboran.

La trituración de la cantera, se desarrolló de modo manual, para después realizar un proceso de cribado hasta conseguir un tamaño de grano aproximado de 3 mm, en [Fig 1]. Con la piedra

ya triturada se elaboraron dos lotes de 25 bloques constructivos cada uno, hechos con una mezcla de 50 % de arcilla zeolítica triturada con un tamaño de grano de 3 mm y 50 % de tepezil. La elaboración de tabicones comerciales de arena y tepezil se llevaron a cabo bajo los procedimientos establecidos en la Norma NMX-C-441-ONNCE-2005.

Los tabicones comerciales tienen las siguientes características [1]:

- I. Tabicón ligero
 - Materiales: Mezcla de tepezil y cemento, en una proporción en masa de aproximadamente 3:1
 - Medidas: 10x14x28 cm
 - Resistencia estándar: 40 kg/cm²
 - Peso promedio: 3.5 kg
- II. Tabicón pesado
 - Materiales: Mezcla de arena de río y cemento, en una proporción en masa de aproximadamente 6:1
 - Medidas: 10x14x28 cm
 - Resistencia estándar: 80 kg/cm²
 - Peso promedio: 7.5 kg



Fig. 1. Cribado de la cantera triturada

Para la elaboración de los tabicones que tienen como material agrado una mezcla 1:1 de cantera y tepezil, denominados tabicones MaG-I, se siguió exactamente el mismo proceso de manufactura que los tabicones convencionales. Se utilizó una revolvedora comercial para mezclar los agregados con cemento portland compuesto y agua, posteriormente, la mezcla homogénea y con una consistencia adecuada se introdujo dentro de los moldes de una vibro compactadora, en [Fig. 2], esto para asegurar reducir el tamaño de los intersticios de la mezcla, asegurando su resistencia mecánica.

Las características mecánicas físicas de los tabicones MaG-I son:

- ✓ Materiales:
 - Agregados: cantera/tepezil a una proporción de 1:1
 - Aglutinante: Cemento Portland compuesto en una proporción en masa con los agregados de aproximadamente 5:1
- ✓ Medidas: 10 × 14 × 28 cm
- ✓ Tamaño de grano: 3 mm
- ✓ Peso promedio: 4.98 kg

Una vez realizados todos los bloques constructivos, tanto los lotes de tabicones convencionales, como los tabicones MaG-I se dejaron fraguar durante 28 días, asegurando así que todo el cemento reaccione químicamente y se pueda alcanzar el 95 %

de la resistencia mecánica. El proceso de secado de los tabicones MaG-I es hace temperatura y humedad del medio ambiente, solamente se usa el calor de la radiación solar, esto con el fin de mantener una paridad con el proceso tradicional de manufactura de los tabicones convencionales, en [Fig. 3].



Fig. 2 Revolvedora y vibrocompactadora para la manufactura de tabicones.



Fig. 3 Proceso de secado y fraguado de tabicones.

III. ENSAYOS MECÁNICOS DE COMPRESIÓN

Las pruebas experimentales se llevaron a cabo bajo la Norma Mexicana NMX-C-036-ONNCE-2013, La norma indica que deberán probarse al menos 5 unidades completas, sin fallas ni fisuras y con sus caras razonablemente paralelas, debidamente marcadas para su identificación [1].

Los ensayos de fractura a la compresión se realizaron utilizando la máquina de ensayos universales WAW-1000C CMS, con capacidad de 1000 kN, en [Fig. 4].



Fig. 4. Máquina de ensayos universales CMS

Cada lote de pruebas está constituido por 10 probetas, las cuales presentan una geometría regular y no se observaban poros, así mismo, todas las caras son paralelas, en [Fig. 5].



Fig. 5. Lote de probetas MaG-I para prueba de compresión simple.

La geometría de todas las probetas es regular, y a cada una de ellas se les midió la masa mediante una báscula digital con una exactitud de 0.001 kg, en [Fig. 6].

Las pruebas destructivas de compresión axial simple se desarrollaron en la máquina de ensayos mecánicos universales CMS bajo el método de compresión plana a una velocidad de avance del embolo de 10 mm/min y un diferencial de carga de 10 kN/s.



Fig. 6. Medición de la masa de probetas MaG-I.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fue posible la manufactura de los tabicones de cantera/tepezil siguiendo el proceso tradicional para la fabricación de tabicones ligeros y pesados, modificando únicamente la cantidad de agua utilizada. Se obtuvieron bloques constructivos con geometría regular y estables (no se desmoronaban). La tabla 1 muestra las características físicas tanto de los tabicones convencionales, como de los tabicones de cantera MaG-I.

Tabla 1. Comparativa de características físicas de los bloques constructivos.

	Masa [kg]	Peso [N]	Peso Volumétrico (kg/m ³)
Ligero	3.1	30.45	790.81
Pesado	7.5	73.68	1913.26
MaG-I	4.98	48.9235	1224.48

Al concluir los ensayos de compresión mecánica, tanto de los tabicones de referencia, como de los tabicones de cantera, se obtuvieron los resultados promedio que se resumen en la Tabla 2:

Tabla 2. Comparativa de características mecánicas de los bloques constructivos.

	Carga máxima promedio [kN]	Área transversal de carga [m ²]	Esfuerzo máximo [MPa] (kg/cm ²)
Ligero	48.6	0.014	3.4714 (35.3362)
Pesado	56.2	0.014	4.014 (40.8620)
MaG-I	90.253	0.014	6.446 (65.5464)

Observando la tabla anterior, se puede advertir que los tabicones MaG-I, superan por mucho en la carga máxima de fractura, tanto a los tabicones ligeros como a los tabicones pesados que se ensayaron.

La grafica de la figura 7, muestra la relación de la carga soportada por la probeta número 10 del lote II de los tabicones de cantera/tepezil, se puede observar que la carga de fractura asciende a 87.43 kN tras una deformación de 6.5 mm del tabicón.

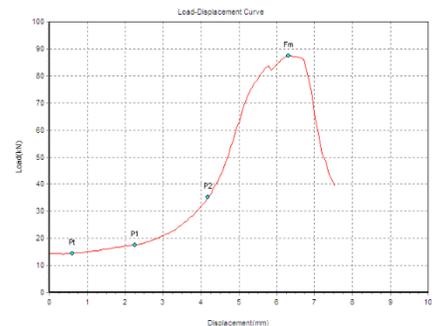


Figura 7. Grafica de carga-deformación de la probetas MaG-I número 10.

Al analizar los tabicones comerciales, se puede observar que soportan cargas menores, pero sobre todo resalta el hecho de que solo se deforman entre 1 y 2 mm antes de llegar al punto de rotura, en [Fig. 8 y Fig. 9]

En el caso del tabicón pesado, en los ensayos comparativos que se realizaron, no se alcanza el esfuerzo máximo a la compresión que marca la norma NMX-C-036-ONNCCE-2013 que es 80 kg/cm² y su deformación promedio antes de la fractura es menor a 2 mm.

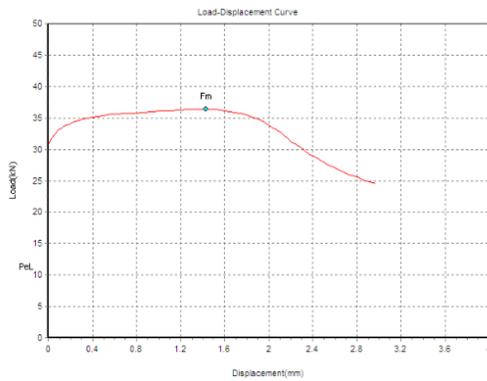


Figura 8. Gráfica de carga-deformación de un tabicón ligero comercial.

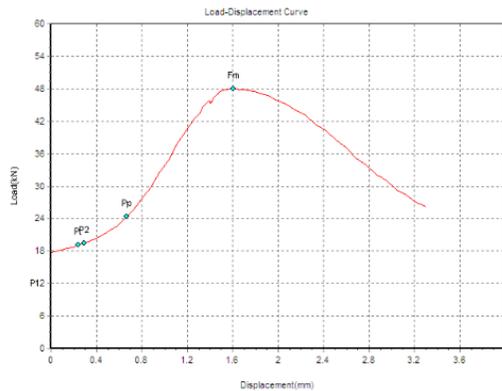


Figura 9. Gráfica de carga-deformación de un tabicón pesado comercial.

V. CONCLUSIONES

Utilizando técnicas comunes de fabricación de tabicónes comerciales, fue posible manufacturar un tabicón híbrido que utiliza como material agregado, una mezcla de cantera triturada a un tamaño de 3 mm y tepezil comercial, en una proporción 1:1. Se obtuvo un tabicón estable y geométricamente regular, que es una opción real para ser usado como bloque constructivo.

Con respecto a la resistencia última al esfuerzo de compresión promedio, el tabicón MaG-I superó la resistencia del tabicón ligero en un 46 %, sin embargo, su masa es 35 % mayor. Así mismo, este tabicón superó la resistencia mecánica al esfuerzo axial del tabicón pesado en 37 %, y además su masa 32 % menor.

Si bien la viabilidad de manufactura exitosa de bloques constructivos ya había sido reportada [1], esta alternativa de fusión de materiales agregados, se comporta mejor respecto a la resistencia mecánica a la compresión axial y la relación de las masas mejora considerablemente debido a la presencia de la arena volcánica, cuyo peso volumétrico es bajo.

El esfuerzo máximo a la compresión que se reporta en las pruebas experimentales, 65.5464 kg/cm^2 , para el tabicón MaG-I supera a los 40 kg/cm^2 que pide la norma NMX-C-441_ONNCCE_2005 para tabicónes ligeros; sin embargo, su masa es 1.6 kg mayor. Así mismo, el esfuerzo de compresión

de los tabicónes MaG-I está por debajo de la resistencia mínima que la norma pide para los tabicónes pesados que debe ser de 80 kg/cm^2 pero la masa es considerablemente menor, 2.7 kg en promedio.

Con base a lo anterior, el equipo de investigación va a dirigir sus esfuerzos a encontrar una proporción adecuada y un tamaño de grano óptimo de la cantera triturada, para generar dos tabicónes nuevos provenientes del MaG-I de modo que sus cargas máximas puedan competir con los tabicónes ligeros y pesados. Sin embargo, se espera que las masas de estos nuevos tabicónes sean mucho menores, lo que representa una enorme ventaja para los sistemas constructivos actuales y abre una posibilidad real a la reducción en los tamaños de los elementos estructurales y, en consecuencia, una reducción de los costos de la obra.

Así mismo, en una etapa posterior a la definición del tamaño óptimo de grano, se va a completar la caracterización mecánica de los tabicónes Mag-I, realizando pruebas de esfuerzo axial y esfuerzo cortante en muretes elaborados con este nuevo material constructivo. También se tiene planeado realizar caracterización térmica y de absorción de humedad.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras y el asesor agradecen a los lacayos y su sindicato de trituradores, por su invaluable trabajo en el desarrollo experimental de este proyecto. Gracias muchachos, sin su esfuerzo hubiera sido imposible desarrollar esta investigación y las que la anteceden. Nos vemos en la tabiquería.

REFERENCIAS

- [1] J.L. Castillo-Montesinos, D. Martínez-Mora, G. Silva-Montes, P. Jerónimo-Achiquen y R. A. García García "Utilización de residuos de zeolita como material agregado en la elaboración de bloques constructivos", *Contribución al conocimiento científico y tecnológico en Oaxaca*, vol. 2, pp. 6-12, 2018.
- [2] C.A. Bascañan y E. Campos, "Zeolitas naturales y sintéticas para la industria petroquímica y agropecuaria", *Elementos*, Vol. 2(12), pp.13-18, 1987.
- [3] M.A. Cano García y C. Arredondo Velásquez, "Zeolitas de Oaxaca: características mineralógicas y morfológicas", *INIFAP. CIRPAS. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca*. Publicación Técnica No. 1, p.63, 2004
- [4] F. M. Ostrooumov, L. E. Ortiz y C. P. Corona. "Zeolitas de México: Diversidad mineralógica y aplicaciones", Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo, [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Mikhail_Ostrooumov/publication/235924910_Zeolitas_de_Mexico_Diversidad_Mineralogica_y_aplicaciones/links/00463536d0669caab4000000/Zeolitas-de-Mexico-Diversidad-Mineralogica-y-aplicaciones.pdf . 2005