

Morteros para revestimiento de muros, utilizando arena zeolítica

Guillermo del Carmen Tiburcio-Munive* / Manuel Sandez-Aguilar** /
Salvador Aguayo-Salinas*** / Dagoberto Burgos-Flores****

RESUMEN

La resistencia a la compresión de los morteros utilizados comúnmente en la industria de la construcción para revestimiento de paredes exteriores utilizando como agregado arena común de banco (AR), puede variar dependiendo de la relación arena/cemento; de 1:3 con una resistencia a la compresión de 90 kg/cm², relación 1:4 con resistencia de 80 kg/cm² o 1:5 con resistencia de 70 kg/cm². En este estudio se utilizaron mezclas de morteros utilizando toba zeolítica molida (ZM) como agregado. Las dosificaciones utilizadas fueron de 1:2 hasta 1:10 de ZM con respecto al cemento Portland (CPO). También se analizaron mezclas de ZM e hidróxido de calcio para formar morteros con relaciones de 1:3:1 a 1:8:2 respecto al CPO. Al realizar comparaciones de ambos casos, los resultados encontrados concluyen que la muestra de ZM utilizada en este estudio se puede equiparar a la AR, e inclusive se comporta de manera superior, debido su elevada actividad pozzolánica, que conforma un mortero particularmente resistente. Además, referente a las propiedades térmicas se concluyó que dentro de los rangos estudiados, la ZM en los morteros tiene una mayor eficacia al presentar conductividades térmicas considerablemente menores en comparación con AR.

Palabras clave: morteros, arena, zeolítica, mampostería.

MORTARS FOR COATING OF WALLS USING ZEOLITIC SAND

ABSTRACT

The compression strength of mortars commonly used in the construction industry for coating outer walls, using common sand of bank (AR) as an aggregate, may vary depending on the relation sand/cement; of 1:3 with a strength of 90 Kg/cm², 1:4 with 80 Kg/cm² or 1:5 with 70 Kg/cm². In this study, mortar mixtures using grounded zeolitic sand (ZM) as an aggregate were used. The proportions used varied from 1:2 to 1:10 of ZM regarding Portland cement (CPO). Also mixtures of calcium hydroxide and ZM were analyzed to make mortars with relations of 1:3:1 to 1:8:2 in relation to the CPO. When comparing both cases, the results concluded that the sample of ZM used in this study its superior compared to the AR due to its high pozzolanic activity making so a particularly resistant mortar. In addition, regarding thermal properties it was concluded that, within the studied ranks, the ZM in mortars has a greater effectiveness by presenting a considerably smaller thermal conductivities in comparison with AR.

Key words: Mortars, sand, zeolitic, masonry.

* Profesor investigador. Universidad de Sonora, Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia. Sonora, México.
Correo electrónico: gtmunive@iq.uson.mx

** Profesor investigador. Universidad de Sonora, Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia. Sonora, México.
Correo electrónico: avalens@iq.uson.mx

*** Profesor investigador. Universidad de Sonora, Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia. Sonora, México.
Correo electrónico: saguayo@iq.uson.mx

**** Profesor investigador. Universidad de Sonora, Departamento de Ingeniería Civil y Minas. Sonora, México.
Correo electrónico: dburgos@dicym.uson.mx

Fecha de recepción: 15 de agosto de 2007.

Fecha de aceptación: 16 de enero de 2008.

INTRODUCCIÓN

En el estado de Sonora, México, y en México durante mucho tiempo se ha utilizado la arena de banco de río cribada a -4 mallas para su uso en mampostería, elaboración de morteros de revestimiento o enjarre de paredes y acabados, así como para pegar bloques y ladrillos. Debido a la necesidades particulares y al agotamiento paulatino de las arenas finas más apropiadas para estos usos, normalmente el material disponible se pasa por la malla 16 (1,19 mm) o menor, según sean las necesidades que se requieran obteniendo un acabado fino.

Por otro lado, las arenas tradicionales pueden presentar el problema de altos contenidos en sales como lo son sulfatos, cloruros e inclusive nitratos, las cuales podrían ser eliminadas mediante lavado de la arena. Esta práctica es poco factible en la actualidad considerando la escasez mundial de agua, máxime en zonas áridas como lo es el estado de Sonora.

De hecho otro problema en la arena tradicional son los efectos nocivos de la explotación de estos depósitos naturales puede provocar en ecosistemas y el paisaje. Por citar un ejemplo, se estima que la sobreexplotación de los bancos de arena de ríos y arroyos puede afectar negativamente el ciclo hidrológico de varias maneras, resultando en la contaminación, erosión o desecación de humedales y afectando la movilidad del agua superficial y freática entre otros aspectos, aunque es necesario estudios más profundos al respecto. La magnitud de las consecuencias de la explotación irracional de estos recursos a través de las décadas apenas comienzan a vislumbrarse (Pantoja y Lugo, 2000; De León, 2003).

En el presente trabajo se propone la sustitución de la arena de bancos naturales por una zeolita molida. Se estudiaron sus características de adherencia, re-

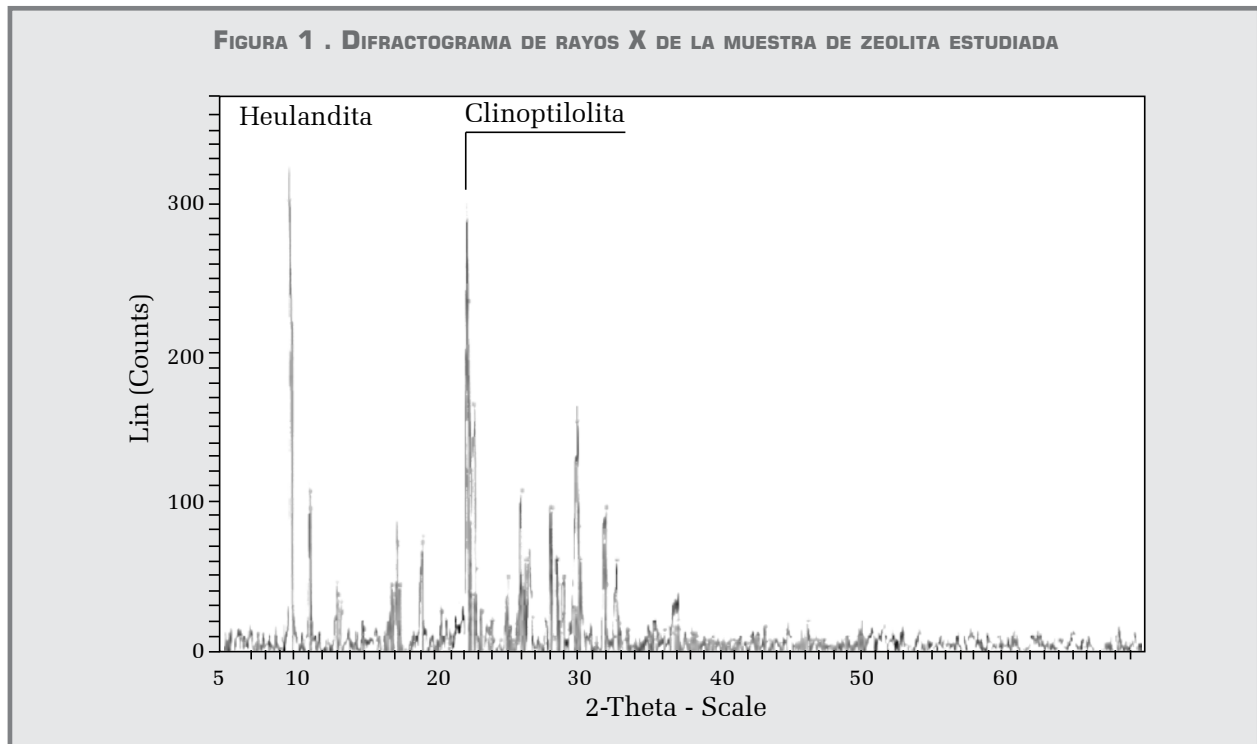
sistencia a la flexión, compresión y al intemperismo, así como su conductividad térmica, respecto a la arena tradicional, lo cual ha sido estudiado en diferentes investigaciones (Ganoso y Rosell, 2003; Fragoulis *et al.*, 1997; Garboczi y Bentz, 1996).

CARACTERIZACIÓN Y PREPARACIÓN DEL MATERIAL

El yacimiento de zeolita utilizado en este trabajo se encuentra localizado al noroeste de la República Mexicana en el Municipio de Guaymas, al centro-oeste del estado de Sonora. Se estudió su composición química y mineralógica mediante diversas técnicas de análisis químico e instrumental (Tabla 1). La composición química es característica de una toba zeolítica. Así mismo, la suma de los óxidos SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 sobrepasa 70%, con posibilidades de exhibir puzolanidad. También se caracterizó mediante difracción de rayos X (XRD) en polvos (Figura 1). Los resultados confirman que el material es una zeolita con predominancia de Heulandita y Clinoptilolita.

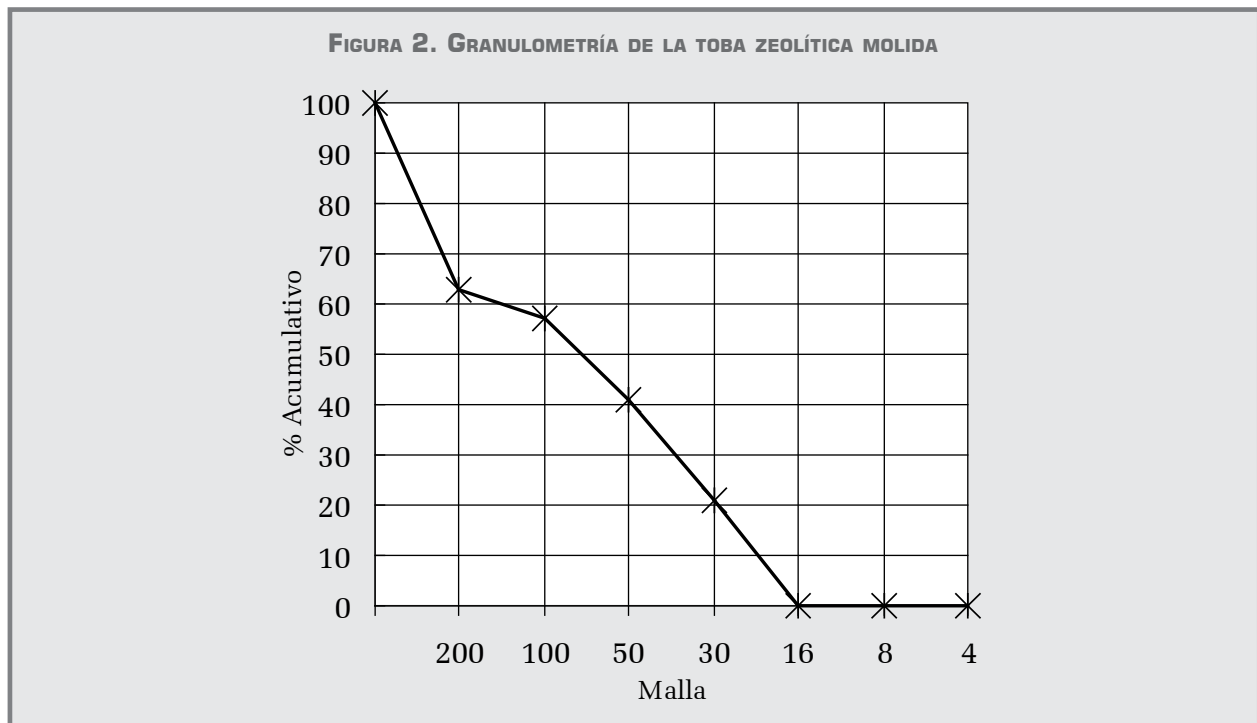
TABLA 1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MUESTRA DE TOBA ZEOLÍTICA BAJO ESTUDIO

Compuesto	%
SiO_2	64,91
Al_2O_3	11,8
Fe_2O_3	2,94
CaO	4,21
MgO	1,43
K_2O	2
Na_2O	1,58
SO_3	0,05
TiO_2	0,3
P_2O_5	0,03
PI.	10,7
Total	99,95
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	79,65



La muestra de zeolita fue triturada en un quebrador de quijada tipo Blake de 5 pulgadas de tamaño de alimentación a $-\frac{1}{4}$ de pulgada. El producto obtenido fue

molido en un molino de martillos. El material es cribado en mallas No.16 a 200 obteniendo el análisis de tamaño de partícula que se muestra en la Figura 2.



Este mineral está compuesto por espacios huecos semejante a la piedra pómez (volcánica). Su densidad es de 2,01 g/cm³ y es de color beige claro al ser molido.

Para la elaboración de los agregados se utilizó cemento Portland CPO. La Tabla 2 presenta un análisis químico realizado sobre este material. Sus características físicas son: Superficie específica Blaine 3900cm²/g; Resistencia a la flexión a los 28 días de 62 kg/cm²; Resistencia a la compresión a los 28 días 360 kg/cm² con una densidad de 3,08 g/cm³.

Por otro lado, para la formulación de las mezclas con cal, se utilizó hidróxido de calcio comercial con una composición de 68,60% de CaO, 2,0% de SiO₂ y 1,20% de FeO.

TABLA 2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEMENTO PORTLAND UTILIZADO EN ESTE ESTUDIO (CPO)

Compuesto	%
SiO ₂	22,50
Al ₂ O ₃	6,56
Fe ₂ O ₃	4,20
CaO	61,00
MgO	1,73
PF.	2,00
Sulfitos	2,00

PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

El estudio de las propiedades del mortero se realizó de acuerdo a los procedimientos y requerimientos establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas (NMX-C).

En la Tabla 3 se presentan las dosificaciones volumétricas y gravimétricas utilizadas, así como la relación agua/cemento. En todas las dosificaciones se utilizó

una fluidez de 110 - 115 mm en una mesa de sacudidas (UNE-EN-1015-3, 1999; NMX-C-144-ONNCCE, 2002).

Para todos los experimentos la cantidad de CPO se mantuvo constante, variando las cantidades de agregados. Al incrementarse la cantidad de agregados, se aumenta la cantidad de agua para obtener igual fluidez en la mesa de sacudidas. Al agregar el hidróxido de calcio, hay un ligero incremento en la relación agua/cemento respecto a su dosificación equivalente cemento/agregado, como por ejemplo los experimentos con relaciones CPO:ZM:Ca(OH)₂ de 1:4:0 y 1:3:1.

La retención de agua, expresada en porcentaje, es una de las propiedades importantes para morteros en estado fresco ya que indica sus características de endurecimiento y fraguado. Para los morteros de construcción, la retención de agua debe ser mayor o igual a 90% (NMX-C-304, 1980). Como se muestra en la Figura 3, todas las mezclas cumplen con este requisito. La mezcla dosificada con hidróxido de calcio exhibe mayor retención de agua, lo cual puede atribuirse a la característica hidratación de este ingrediente.

Las figuras 4 y 5 muestran los resultados promedios de tres réplicas de la resistencia mecánica a flexión y compresión de los diferentes mezclas de morteros para enjarre utilizando la toba zeolítica como agregado fino y en algunos casos cal. Las pruebas fueron realizadas de acuerdo a los protocolos de las normas mexicanas aplicables (NMX-C-057-ONNCCE, 1997; NMX-C-021-ONNCCE, 2004; NMX-C-037-ONNCCE, 2005).

Las resistencias a la flexión y compresión naturalmente disminuyen a medida que se incrementa el material molido de zeolita como agregado, pero se puede decir que dentro de los rangos estudiados, todos los valores de resistencia a la compresión son satisfactorios para este tipo de mortero, ya que las normas exigen una resistencia a los 28 días no menor de 35 kg/cm². La adición de cal no parece tener un efecto positivo sobre estas propiedades.

TABLA 3. DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN Y EN PESO

Muestra No.	CPO	ZM	Ca(OH) ₂	Ca(OH) ₂ (Kg)	CPO (Kg)	Agua (lt)	R: a/c	ZM (Kg)
Z-1	1	2			520	325	0,62	950
Z-2	1	4			520	580	1,11	1900
Z-3	1	6			520	810	1,55	2800
Z-4	1	8			520	920	1,76	3700
Z-5	1	10			520	1200	2,30	4600
Z-6	1	3	1	250	520	610	1,17	1400
Z-7	1	5	1	250	520	850	1,63	2300
Z-8	1	7	1	250	520	1050	2,01	3200
Z-9	1	8	2	500	520	1200	2,30	3700

FIGURA 3. RETENCIÓN DE AGUA PARA LAS DISTINTAS FORMULACIONES DE MORTEROS

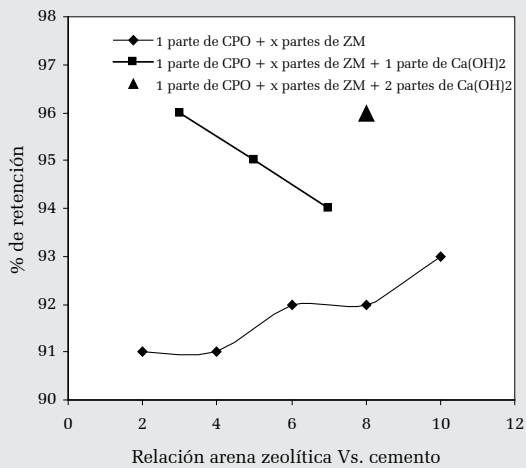


FIGURA 4. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS DE LOS MORTEROS FORMULADOS CON ZEOLITA

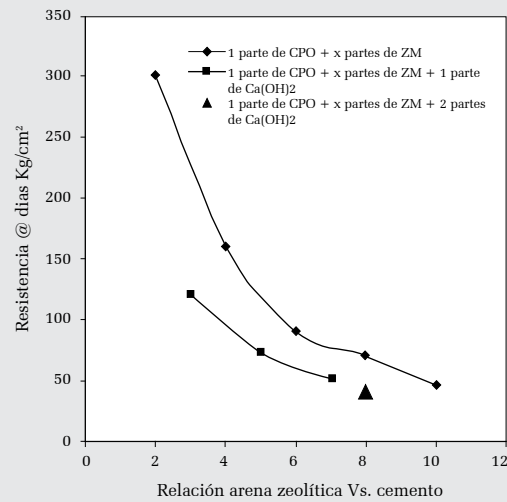
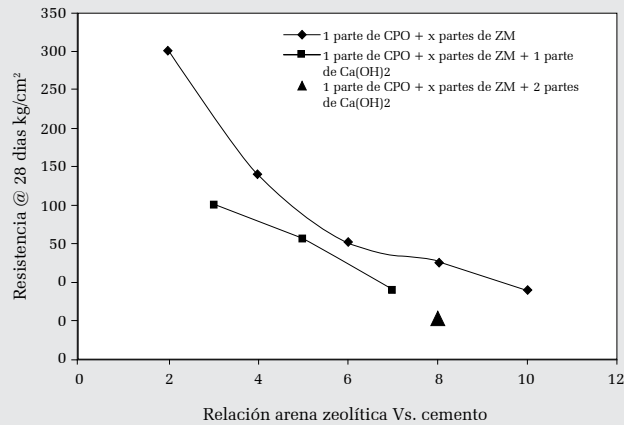
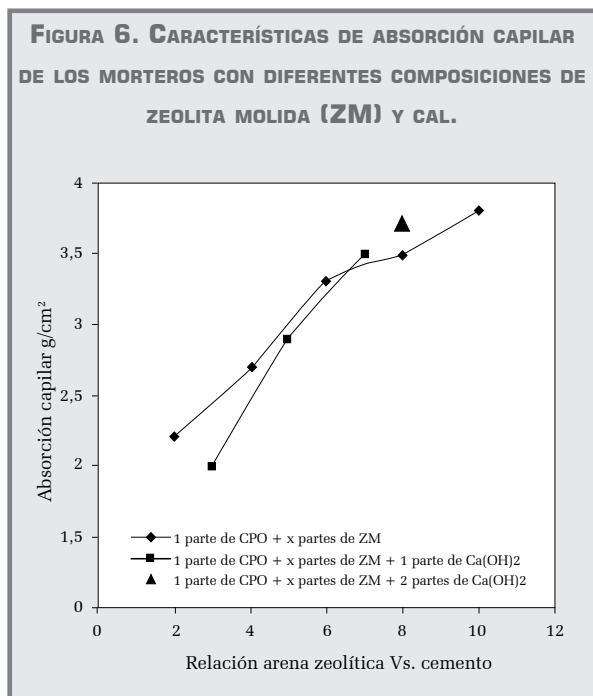


FIGURA 5. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN A LOS 28 DÍAS DE LOS MORTEROS FORMULADOS CON ZEOLITA



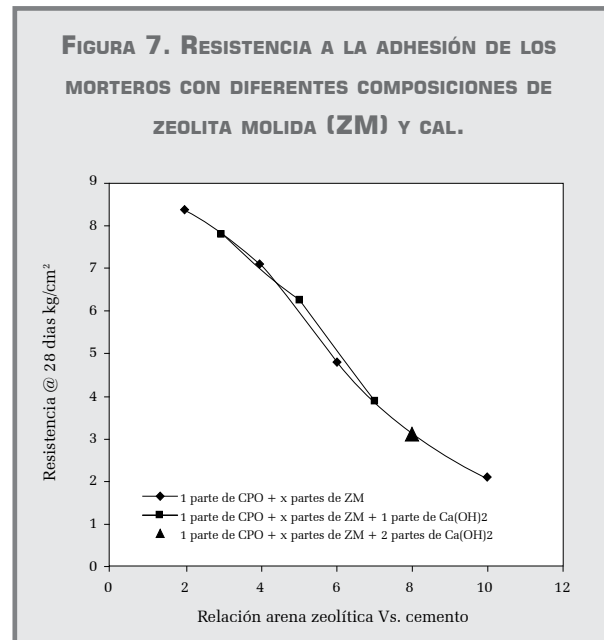


En la Figura 6 se presentan los resultados del análisis de absorción capilar a las 72 horas. Como se puede observar, la absorción capilar aumenta a medida que se incrementa en las mezclas el agregado de zeolita molida y disminuye ligeramente cuando agregamos hidróxido de calcio.

En el caso de morteros cuya aplicación particular sea para unión de elementos o revestimiento; la resistencia a la adherencia es una propiedad bastante importante. La norma NMX-C-082 (1974) exige que los morteros deben alcanzar por lo menos 2,1 kg/cm² a los 28 días (NMX-C-329-ONNCCE. 2002). En la Figura 7 se han graficado los resultados de los experimentos de los morteros a los 28 días formulados con zeolita molida (ZM) a modo de agregado fino y en algunos casos con adición de cal.

Como se observa, la adherencia disminuye directamente con la proporción de cemento, aunque prácticamente todas las formulaciones bajo estudio cumplen los requerimientos establecidos.

La adición de cal no parece tener un efecto significativo sobre la propiedad de adherencia a los niveles manejados.



En la Tabla 5 se muestran los resultados de los análisis de permeabilidad realizados entre los 15 y 30 minutos con probetas sin pintar y con pintura vinílica para exteriores. En el primer caso, para dosificaciones de cemento portland y zeolita molida a los 15 minutos la absorción de agua es de 1,2 cm³ y a 30 minutos fue de 5,9 cm³. Para zeolita molida, cemento portland e hidróxido de calcio a los 30 minutos dan resultados de la permeabilidad entre 1,6 y 6,8 cm³ a los 30 minutos.

Cuando a las probetas con iguales dosificaciones se les aplica pintura vinílica de exteriores, los resultados muestran un claro decremento en su permeabilidad, resultando de 0,5 a 0,9 cm³.

Durante las construcciones, para mayor comodidad y eficiencia energética se desea la menor conductividad térmica posible en los materiales. Con el fin de evaluar las propiedades térmicas de los morteros formulados con arena zeolítica en comparación a la

arena común de banco, se realizó adicionalmente una serie de experimentos (Casas *et al.*, 1996; UNE-EN-1015-3, 1999) comparativos para dos relaciones de arena-común:cemento y arena-zeolítica:cemento. Los resultados a tres diferentes niveles de tempera-

tura, presentados en la Tabla 6, muestran que existen efectos en la conductividad térmica importantes tanto por la composición del mortero como por el tipo de agregado utilizado.

TABLA 5. ANÁLISIS DE ABSORCIÓN DE AGUA (CM³/MIN)

No. de Muestra	Tiempo inicial (min)	Probeta sin pintura		Probeta con pintura	
		15 min	30 min	15 min	30 min
Z-1	0	1,2	1,6	0,7	0,65
Z-2	0	2,8	4,8	0,71	0,67
Z-3	0	4,3	6,4	0,78	0,64
Z-4	0	5,2	6,8	0,72	0,68
Z-5	0	6,1	6,9	0,8	0,75
Z-6	0	2	3,5	0,62	0,78
Z-7	0	2,4	4,4	0,64	0,79
Z-8	0	2,9	5,5	0,65	0,78
Z-9	0	3,6	6,8	0,62	0,79

TABLA 6. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA COMPARATIVA DE LOS MORTEROS A DIFERENTES FORMULACIONES (W/M°C)

TEMP. °C	ZEOLITA MOLIDA (ZM)	ZM + 10%CPO	ZM + 20%CPO	AR + 10%CPO	AR + 20%CPO
40	0,34	0,39	0,56	0,75	0,78
50	0,37	0,43	0,58	0,78	0,82
60	0,39	0,45	0,62	0,84	0,87
Promedio	0,37	0,42	0,59	0,79	0,82

CONCLUSIONES

Se estudiaron mezclas de morteros para revestimiento de paredes de exteriores, utilizando toba zeolítica molida (ZM) como agregado. Las dosificaciones utilizadas fueron de 1:2 hasta 1:10 de zeolita con respecto al cemento portland (CPO). También se analizaron mezclas de zeolita molida (ZM) e hidróxido de calcio para formar morteros con relaciones de 1:3:1 a 1:8:2 respecto al cemento portland.

Las probetas elaboradas con estas proporciones de mezcla se sometieron a análisis de retención de agua, resistencia mecánica de compresión, flexión

y adherencia, así como también absorción capilar. Estas pruebas que se realizan en los morteros para revestimiento, deben cumplir con una adherencia que deberá ser de 2,3 a 3,3 kg/cm² a los 28 días en la pared donde se enjarre.

En relación a la resistencia a la compresión, los morteros utilizados comúnmente en la industria de la construcción para revestimiento (utilizando como agregado arena común de banco) pueden tener una relación arena/cemento de 1:3 con resistencia = 90 kg/cm², 1:4 con resistencia = 80 kg/cm² o 1:5 con resistencia = 70 kg/cm² (Monteiro, 1985). Comparando estas referencias con los valores mostrados en la Fi-

gura 4, se concluye que la muestra de toba zeolítica utilizada en este estudio se puede comparar a la arena de banco o inclusive se comporta de manera superior, debido posiblemente a una elevada actividad puzolánica que conforma un mortero particularmente resistente. De acuerdo a la composición mineralógica de la Figura 1 puede inferirse que esto es posible, ya que las especies predominantes en la muestra de zeolita han sido reportadas por diversos autores como elementos con una puzolanidad apreciable (Siquiera y Selmo, 1995; Gallegos *et al.*, 1996).

En cuanto al análisis de la permeabilidad a baja presión, los morteros analizados arrojan resultados satisfactorios dentro de los rangos estudiados. Como es de esperar, la permeabilidad de los morteros varía dependiendo de su composición y es proporcional a la relación agregado/cemento. Por otro lado, la adición de cal tiene un efecto ligeramente reductor de la permeabilidad.

También se realizó un análisis comparativo entre el acabado con y sin pintura vinílica, para observar su efecto en la absorción de agua. La pintura crea un sello que proporciona una permeabilidad muy reduci-

da y que poco depende de la mezcla de mortero. Sin embargo, es pertinente mencionar que la permeabilidad de un revestimiento de exteriores no debe depender exclusivamente de este recubrimiento, ya que su durabilidad es comparativamente limitada.

En lo que respecta a las propiedades térmicas es evidente que dentro de los rangos estudiados, la zeolita molida (ZM) en los morteros tiene una mayor eficacia al presentar conductividades térmicas considerablemente menores en comparación a la arena tradicional de banco (AR). Esto puede eventualmente reflejarse en mayor comodidad y eficiencia en el uso de la energía ya sea para calefacción o acondicionamiento de aire. El efecto que causa esta baja conductividad de la arena zeolítica tiene que ver con la su microestructura, que presenta espacios vacíos en su red cristalina.

En conclusión, todas las mezclas cumplen con los requerimientos establecidos para su uso en construcción, y que la toba zeolítica se comporta satisfactoriamente e inclusive tiene propiedades superiores a las requeridas por las normas aplicables.

BIBLIOGRAFÍA

- Casas, V.; Cabanillas, R.; Pérez, J. y Ríos T. «Desarrollo de un medidor de conductividad térmica». Memorias de la XXI Semana de Energía Solar. Xalapa, Ver. México. 1996.
- Gallegos, R.; Luna, A. y Bojórquez J. «Estimación experimental de conductividad térmica en materiales de construcción». Memorias de la XXI Semana de Energía Solar. Asociación Nacional de Energía Solar, Chihuahua, Chihuahua, México. 1996.
- Ganoso, R. y Rosell, M. «Zeolita utilizada como aditivo mineral activo para hormigones». V Conferencia Internacional de zeolita. Universidad de La Habana, Marzo 2003.
- Garboczi, E. J. y Bentz, D. P. «Modeling of the Microstructure and Transport properties of Concrete». *Construction and Building Materials* 10. 3. (1996): 211 – 215.
- De León. R. «Problemática ambiental de la extracción de agregados de ríos en la República Dominicana y fuentes alternativas para canteras» III Jornadas Iberoamericanas de Materiales de construcción; PONENCIAS Y COMUNICACIONES, San Juan, Argentina 25-29 Septiembre de 2003.

- Fragoulis, D.; Chaniotakis, E. y Stamatakis, M. «Zeolitic tuffs of Kimolos Island, Aegean Sea, Greece and their industrial potential». *Cement and Concrete Research* 27. 6. (1997): 889 - 893.
- Monteiro, P. M. y Mehta, P. K. «Ettringite Formation on the Aggregate - Cement Paste Interface». *Cement and Concrete Research* 15. 2. (1985): 378 - 380.
- NMX-C-329-ONNCCE-2002. Industria de la construcción – Cementos hidráulicos – Determinación de la granulometría de la arena de sílice utilizada en la preparación de los morteros de cementantes hidráulicos.
- NMX-C-144-ONNCCE-2002. Industria de la construcción-Cementos hidráulicos- requisitos para el aparato usado en la determinación de la fluidez de morteros con cementantes hidráulicos.
- NMX-C-304-1980. Determinación de la retención de agua por medio de compuestos líquidos que forman membrana para el curado del concreto.
- NMX-C-037-ONNCCE-2005. Industria de la construcción - Bloques, ladrillos o tabiques y tabicones - Determinación de la absorción de agua y absorción inicial de agua.
- NMX-C-021-ONNCCE-2004. Industria de la construcción – Cemento para albañilería (mortero) – Especificaciones y métodos de prueba.
- NMX-C-414-ONNCCE-2004. Industria de la construcción – Cementos hidráulicos – Especificaciones y métodos de prueba.
- NMX-C-085-ONNCCE-2002. Industria de la construcción – Cementos hidráulicos – Método estándar para el mezclado de pastas y morteros de cementantes hidráulicos.
- NMX-C-057-1997-ONNCCE. Industria de la construcción – Cementantes hidráulicos – Determinación de la consistencia normal.
- NMX-C-061-ONNCCE-2001. Industria de la construcción – Cemento – Determinación de la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos.
- NMX-C-329-ONNCCE-2002. Industria de la construcción – Cementos hidráulicos – Determinación de la granulometría de la arena de sílice utilizada en la preparación de los morteros de cementantes hidráulicos.
- NMX-C-082-1974. Determinación del esfuerzo de adherencia de los ladrillos cerámicos y el mortero de las juntas
- Pantoja, J. y Lugo, J. “Impacto ecológico y desarrollo catastrófico; Minas de arena en la ciudad de México”, *La Jornada*, Lunes en la ciencia, 16 de Octubre de 2000. <<http://www.jornada.unam.mx/2000/10/16/cien-minas.html>>
- Siqueira N., Selmo S. «Estudo de Revestimentos Externos de Argamassas Mistas de Cemento con Solo Fino Beneficiado». Simposio Brasileiro de tecnologías de Argamassas, 1. Goiânia. Anais. Goiânia : UFGO / ANTAC, 1995.
- UNE-EN-1015-3:1999. Norma Europea. Determinación de la consistencia del mortero fresco (Por la mesa de sacudidas)