MORTEROS CON POLVO DE VIDRIO RECICLADO Y ARENAS DE CARBONATO DE CALCIO Y DE SILICATOS PARA CONSTRUCCIÓN EN AMBIENTE MARINO

E. HOIL¹, L. MALDONADO¹, M. ECHEVERRÍA¹, A. RODRÍGUEZ¹,
J. LLANES¹, J. MARTÍNEZ², R. PÉREZ², D. HERNANDEZ²

¹ Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Mérida. Departamento de Física Aplicada. Antigua Carretera a Progreso Km 6, S/N. C. P. 97310, Mérida, Yucatán México.

² Universidad Autónoma de Chiapas, Boulevard Belisario Domínguez, km 1081, sin número, Terán Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

RESUMO

La producción de vidrio en México fue de 15 mil millones de unidades en 2014 (Ramírez, 2015). Aunque un alto porcentaje es para exportación, otro tanto, se queda en el país. En consecuencia, el vidrio de desecho contribuye con 6% a la generación de basura (SEMARNAT, 2012) y necesita ser reciclado. Este trabajo presenta comportamiento a la carbonatación de morteros de relación agua/material cementante de 0.40 y 0.50 preparados con agregados silíceos y calcáreos, con 0%, 5%, 10% y 15% de polvo de vidrio reciclado (ámbar o transparente) en sustitución de cemento Portland comercial. Después de tres meses de exposición a la brisa marina, los morteros más resistentes a la carbonatación son los que contienen arena sílice.

Palavras chave: mortero, vidrio reciclado, carbonatación.

ABSTRACT

Mexico produced 15 billion soda lime glass containers in 2014 (Ramírez, 2015). Even if great percentage was exported, some amount remains in the country and contributes about 6% to the waste generation (SEMARNAT, 2012). Post consume glass containers need to be recycled. In this work is presented carbonation behavior of mortars with water-to-cement ratios of 0.40 and 0.50 prepared both, with siliceous and from crushed limestones aggregates, replacing 5%, 10% and 15% of the cement Portland with recycled glass powder amber and recycled glass powder transparent. After three months of exposure to the marine breeze, it was found that mortars with siliceous sand were more resistant to carbonation.

Keywords: mortero, recycled glass, carbonation.

1. INTRODUCCIÓN

La industria del vidrio representa una actividad comercial vital porque proporciona productos diversos que satisfacen necesidades industriales y para la vida diaria (Salvador-Corrales, 2010). El volumen en toneladas métricas del mercado, tan solo de vidrio plano, en el mundo fue, en 2012, de 61, 300 y se espera que para año 2022, incremente a 112, 400. Eso significa un aumento de casi el 200 % en 10 años, (Statista, 2019). En México, la compañía Vitro, una de las más grandes fábricas de vidrio del país, incrementó el flujo de vidrio plano entre un 30-35% (Vitro, 2016). Además del vidrio plano hay que sumar la producción de otros tipos de vidrio, por ejemplo, envases para la industria de los alimentos y bebidas. En este rubro, en 2014, Vitro produjo más de 15 mil millones de unidades y se esperaba que en 2015 produjera la cantidad de 15 mil 200 millones. El 80% de esa producción se destina al mercado nacional (Ramírez, 2015). Todo tipo de vidrio puede ser reciclado después de su tiempo de vida útil. Por ejemplo, la digitalización de las señales de TV condujo a la sustitución de antiguos equipos que utilizaban tubos de rayos catódicos, contribuyendo a la proliferación de pantallas de televisores en desuso. De las 10, 000 toneladas de pantallas que dejaron de ser utilizadas en 2011, solamente fue reciclado el 3% lo cual representa una severa amenaza para el medio ambiente (Matamoros-Veloza et al., 2015).

Aun cuando el tereftalato de polietileno (PET, por sus siglas en inglés) y distintos plásticos son fuertes competidores del vidrio en la industria de los alimentos, el problema de la contaminación por plásticos de un solo uso está haciendo necesario regresar a los envases retornables ya sea de plástico o como en el pasado no lejano, a envases retornables de vidrio. En numerosos estados de México, se están adecuando las leyes de manejo de residuos para prohibir o limitar el uso de los plásticos. El PET ha logrado una buena tasa de reciclaje gracias a estrategias de los productores de dichos envases, pero la necesidad de transportar grandes cantidades desde lugares lejanos, a los centros de reciclaje para que éstos sean rentables, es un reto por vencer (Romero-Hernández et al., 2009). Por otra parte, la gran cantidad de plástico que se degradan a nivel de micropartículas que contaminan las aguas, los mares, la flora y fauna obligarán en un futuro cercano a regresar a los envases de vidrio retornables que son inocuos para el medio ambiente. El vidrio, aun cuando termina su vida útil no se degrada. Paradójicamente, esa propiedad puede ser nociva, pues puede almacenar agua y generar vectores dañinos para el ser humano, como los mosquitos que transmiten dengue, chikungunya o zika, entre otras enfermedades. También, en las regiones tropicales con intensa radiación solar, pueden actuar como lupas provocando incendios forestales de grandes magnitudes. Según datos de la SEMARNAT (2012), los residuos sólidos urbanos se componían de 6% de vidrio de desecho. No obstante que el vidrio desechado es un material que puede ser reciclado de muy diferentes formas, en México, solamente fue reciclado el 23% de las 2.5 millones de toneladas que se producían en 2001. En contraste, Alemania reciclaba 81%, Francia el 58% e Italia el 41% (Salomón, 2003).

Además del reciclaje del vidrio como materia de fundición para hacer nuevos envases y otros productos, algunos autores sugieren que puede ser utilizado en la industria de la construcción como agregado grueso (Topçu y Canbaz, 2004; Shayan y Xu, 2004) o fino (Shayan y Xu, 2004; Park et al., 2004) e incluso, finamente molido como sustituto del cemento debido a sus propiedades puzolánicas (Shao et al., 2000; Shayan y Xu, 2004). Además, con ello, se pretende disminuir la enorme huella ecológica que ocasiona la producción de cemento en el mundo. En México el vidrio de desecho no es utilizado en la construcción. Tampoco ha sido explorado su potencial uso con materiales pétreos de las distintas regiones del país. Por ello, este trabajo tiene la finalidad de investigar el comportamiento ante la carbonatación de morteros preparados con arena caliza de la Península de Yucatán o arena de sílice de la región de Tuxtla Gutiérrez (Chiapas) y diferentes porcentajes de sustitución del cemento por dos clases de polvo de vidrio reciclado, ámbar o transparente.

2. METODOLOGÍA

2.1 Materiales.

Fueron preparados especímenes con relaciones agua/material cementante (a/mc) de 0.40 y 0.50. Noventa y seis muestras cilíndricas de 2.5 cm de base por 5 cm de altura a partir de mortero con arena de sílice y noventa y seis con arena de carbonato de calcio para cada a/mc fueron elaboradas. La arena de sílice (S) fue de canto rodado de río y la arena de carbonato de calcio (C) proviene de roca caliza triturada, constituido por 97 wt % de calcita (Maldonado et al., 2011). Ambas arenas fueron tamizadas con malla #4 (4.75 mm) para evitar agregados gruesos y homogenizar los tamaños de las partículas. La densidad aparente, el porcentaje de absorción y el módulo de finura están representados en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades de las arenas y vidrios utilizados en la preparación de los morteros.

Propiedades	Sílice	Caliza	Vidrio ámbar	Vidrio transparente
Densidad aparente (kg/m ³)	2.53	2.27		
Absorción (%)	1.64	4.77	50.52	51.16
Módulo de finura	2.53	2.74		

Veinticuatro especímenes de cada tipo de arena contenían polvo de vidrio reciclado ámbar (A) y otros veinticuatro, polvo de vidrio reciclado transparente (T). Cada conjunto de veinticuatro muestras consistió en series de seis cilindros que contenían 5%, 10% y 15% de (A) o (T). También para cada serie con (A) o (T) fueron preparadas muestras sin polvo de vidrio (0%) para referencia. Los porcentajes representan la cantidad de cemento que fue sustituido por polvo de vidrio en el mortero. La Tabla 2 muestra las cantidades de materiales usados en cada diseño de mezcla para la relación a/mc de 0.40 y la Tabla 3, las proporciones de los materiales para la relación a/mc de 0.50.

Tabla 2. Proporciones de materiales utilizados para morteros de relación agua/material cementante de 0.40 y arena de sílice o arena de roca caliza.

Vidrio (g)	Cemento (g)	Arena y Agua		Arena y Agua	
		Sílice (g)	Agua (ml)	Caliza (g)	Agua (ml)
0	195	628	77	563	77
9.7	184	628	92	563	109
19.4	174	628	97	563	114
29.0	165	628	102	563	118

Tabla 3. Proporciones de materiales utilizados para morteros de relación agua/material cementante de 0.50 y arena de sílice o arena de roca caliza.

Vidrio (g)	Cemento (g)	Arena y Agua		Arena y Agua	
		Sílice (g)	Agua (ml)	Caliza (g)	Agua (ml)
0	193	579	100	563	97
9.7	184	579	111	563	128
19.4	174	579	116	563	133
29.0	165	579	121	563	138

Para la preparación de las mezclas fue usado cemento Portland comercial CPC 30R, disponible en Yucatán, el cual que cumple con las especificaciones de la norma NMX C 414 ONNCCE (2014). A los veintiocho días del desmolde, los especímenes fueron expuestos a 50 m de la costa, en la estación marina del CINVESTAV en Telchac, Yucatán, México (longitud 89°15'53" Oeste; latitud 21°18'49" Norte). El sitio tiene una temperatura promedio anual de 27 °C y humedad relativa anual promedio de 80%. Fue realizada prueba de carbonatación en muestras sin exponer y en muestras con 3 meses de exposición. Series de tres cilindros de cada diseño de mezcla fueron almacenados en bolsas herméticas para disminuir en lo posible el efecto de carbonatación y ser ensayados a los seis meses para determinar su resistencia mecánica. Aún no se tienen resultados de este ensayo.

3. RESULTADOS

Previo a la exposición, es decir después de 28 días de preparados ninguno de los especímenes presentó carbonatación, como se puede observar en la Figura 1.

Figura 1. Superficie de las muestras con relación agua/material cementante de 0.40 y 0.50 con arena de sílice y arena de roca caliza y con 0%, 5%, 10% y 15% de polvo de vidrio ámbar (A), después de 28 días de preparados los especímenes.

En la Figura 2 es analizada la influencia del tipo de vidrio en morteros con arena de sílice (S) o arena de roca caliza (C), en función del porcentaje de sustitución de polvo y tipo de vidrio, es decir, ámbar (A) o transparente (T). Es posible observar que morteros con arena de sílice son más resistentes a la carbonatación en la relación a/mc de 0.40, Figura 2a y Figura 2b y en la relación de 0.50, Figuras 3c y 3d. La cantidad de (A) o de (T) no parece influir en la carbonatación ya que su efecto es despreciable. Tanto en la relación de 0.40 y 0.50 con 5% de (A) o (T) es posible alcanzar la máxima protección contra la carbonatación para los morteros de (C), la cual se vuelve similar a la de los morteros con arena de sílice sin importar el tipo de vidrio. El 5% de (A) o (T) disminuyen alrededor de cuatro veces la carbonatación en los morteros de (C) en la relación de 0.40. Para la relación de 0.50 existe efecto

benéfico del polvo de vidrio, pero éste no es tan acentuado. Además, el tipo de vidrio parece tener una cierta influencia ya que con el 5% de (A) solamente se disminuye alrededor de tres veces la penetración de la carbonatación en los morteros de (C) y se mantiene prácticamente igual para las sustituciones de 10% y 15 %. En este último porcentaje, el mortero con arena (S) ha empezado a carbonatarse, Figura 2c. En mortero (C) con el 5% de vidrio transparente (T) disminuye la carbonatación cuatro veces, Figura 2d. Con el 10 % de polvo de vidrio se mantiene igual a la de 5% y con el 15% parece carbonatarse más.

Figura 2. Profundidad de carbonatación después de tres meses de exposición a la brisa marina de especímenes de relación a/mc igual a 0.40 y 0.50, preparados con arena de sílice (S) y arena de roca caliza (C), y en función de los porcentajes de sustitución de polvo de vidrio ámbar (A) o transparente (T).

Los resultados hasta aquí obtenidos muestran que el polvo de vidrio reciclado sustituyendo en pequeñas cantidades al cemento puede retrasar el proceso de carbonatación en morteros con arena de carbonato de calcio (C). Esto abre la posibilidad de que también lo puede hacer en concretos que son preparado con este tipo de arena en la península de Yucatán. No obstante, otros parámetros de importancia en la construcción deben ser estudiados como, por ejemplo, la resistencia a la compresión y principalmente la durabilidad a largo plazo pues ha sido reportado que concretos con polvo de vidrio reciclado adquieren su resistencia máxima después de varios meses (Kamali y Ghahremaninezhad, 2015; Park et al., 2004) debido a que las reacciones puzolánicas son más lentas que en el cemento Portland ordinario. Asimismo, se deberán obtener datos de penetración de iones cloruros y otros contaminantes, conductividad eléctrica y afectación al pH de la solución de poro, dado que las reacciones puzolánicas pueden disminuir la alcalinidad.

4. CONCLUSIONES

- Para la relación agua/material cementante de 0.40 la sustitución de 5% de polvo de vidrio reciclado, tanto ámbar como transparente disminuyen aproximadamente cuatro veces la

penetración de la carbonatación en morteros preparados con arena de carbonato de calcio (roca caliza), lo cual resulta de gran importancia y potencial utilidad para la construcción en la región sureste de México o en donde sea utilizada este tipo de arena para la construcción.

- Para la relación agua/material cementante 0.50, el tipo de vidrio tiene influencia en la protección contra la carbonatación, pero en un factor menor que para la relación de 0.40.
- No fue encontrada evidencia de que la adición de polvo de vidrio ámbar o transparente, en ninguna proporción como las aquí utilizadas afecte en mayor medida el proceso de carbonatación de morteros preparados con arena de sílice.

5. AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por proyecto de Infraestructura 2050/2013, con cuyo equipo fue posible realizar las mediciones presentadas en este trabajo. Los autores agradecen también encarecidamente a la Mtra. Nguyen Molina Narváez por el apoyo brindado en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Arquitectura de la UNACH -LNVCS y al Ing. Gualdemar Casanova Calam, auxiliar de investigación del departamento de física aplicada, por su apoyo técnico en laboratorio y en campo.

6. REFERENCIAS

Kamali, M., Ghahremaninezhad, A., (2015), *Effect of the glass powder on the mechanical and durability properties of cementitious materials*. Construction and building materials. 98: 407-416. DOI [10.1016/j.conbuildmat.2015.06.010](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.06.010)

Matamoros-Veloza Z., Rendón-Angeles J.C., Yanagisawa, R., Mejía-Martínez E. E., Parga J.R., (2015), *Low temperature preparation of porous material from TV panel glass compacted via hydrothermal hot pressing*. Ceramics International. 41: 12700-12709. DOI [10.1016/j.ceramint.2015.06.102](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.06.102)

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (2016). *NMX C 414, ONNCCE: Industria de la construcción-cementantes hidráulicos-especificaciones y métodos de ensayo*. México.

Park, S. B., Lee B. C., Kim J. H., (2004), *Studies on mechanical properties of concrete containing waste glass aggregate*. Cement and Concrete Research. 34: 2181–2189. DOI [10.1016/j.cemconres.2004.02.006](https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.02.006)

Ramírez, M., (2015), *Vidrio, sólido en México: la producción crecerá 3%*. Periódico Milenio. Disponible en: <https://www.milenio.com/negocios/vidrio-solido-mexico-produccion-crecera-3> (Consultado: 25/04/2019).

Romero-Hernández, Romero, S., Muñoz, D., Detta-Silveira, E., Palacios-Brun, A., Laguna, A., (2009), *Environmental implications and market analysis of soft drink packaging systems in Mexico. A waste management approach*. Int J Life Cycle Assess. 14:107–113. DOI [10.1007/s11367-008-0053-5](https://doi.org/10.1007/s11367-008-0053-5)

Salomón A., (2003), *La industria del vidrio ante sus retos competitivos y tecnológicos*. Horizonte sectorial. Comercio exterior. 53 (7): 676.

Salvador-Corrales C., (2010), *La industria del vidrio en el noreste de México*. Trayectorias. 12 (30): 95-118.

Semarnat México., (2013), *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. 325.

- Shao, Y., Lefort, T., Moras, S., Rodriguez D., (2000), *Studies on concrete containing ground waste glass*. Cement and concrete research. 30: 91-100.
- Shayan, A., Xu U., (2004). *Value-added utilisation of waste glass in concrete*. Cement and concrete research. 34: 81-89. DOI [10.1016/S0008-8846\(03\)00251-5](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00251-5)
- Statista., (2014)- <https://www.statista.com/topics/4108/glass/> (Consultado el 04/04/2019).
- Topçu, I. B., Canbaz M., (2004), *Properties of concrete containing waste glass*. Cement and concrete research. 34: 267-247. DOI [10.1016/j.cemconres.2003.07.003](https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.07.003)
- Vitro., (2016), *Informe técnico, Decididos hacia un futuro sólido*. URL: http://www.vitro.com/media/119848/Vitro_Informe_Anual_2016.pdf (Consultado 25/04/2019).
- Maldonado, L., Veleza, L., Díaz-Ballote, (2011), *Characterization of limestones for building in the Yucatan Peninsula, Mexico*. Appl Phys A. 103:1105–1110. DOI [10.1007/s00339-010-6049-6](https://doi.org/10.1007/s00339-010-6049-6)