

Hormigón Expuesto a Altas Temperaturas utilizando Vidrio de Botella como Resistencia contra Incendios

Héctor L. Reyes Torres, BSCE

Maestría en Ingeniería en Ingeniería Civil

Prof. Héctor J. Cruzado, PhD.

Departamento de Ingeniería Civil, Ingeniería Ambiental y Agrimensura

Universidad Politécnica de Puerto Rico

Resumen — El desprendimiento del hormigón es uno de los grandes problemas que se encuentran en una estructura cuando esta es expuesta a incendios. Cuando esto sucede, las estructuras tienden a reducir su resistencia. Se han hecho estudios de resistencia de hormigón expuesto a temperaturas altas utilizando agregados gruesos con menos porosidad. Los agregados gruesos más utilizados y comprobados en estudios anteriores son calizas y silicio. Para este estudio, se utilizó un material que no se ha utilizado anteriormente para este tipo de prueba: el vidrio. Se prepararon cuatro mezclas de hormigón: una mezcla control, una con caliza, una con roca silíceas y una con vidrio. Para cada mezcla se hicieron pruebas de compresión a los 7, 14 y 28 días. También varios cilindros fueron expuestos a altas temperaturas (500 °F y 900 °F) y luego fueron probados en compresión después de los 28 días. Los resultados de las pruebas comprueban que el hormigón con vidrio tuvo mayor resistencia luego de expuesto a altas temperaturas que las mezclas de caliza y silicio.

Palabras Claves — Caliza, Desprendimiento, Granulometría, Silicio.

INTRODUCCIÓN

Cuando el hormigón es expuesto a altas temperaturas, como las de un incendio, se produce el desprendimiento (“spalling” en inglés), el cual consiste en que se desprenda la superficie del hormigón, quedando el acero de refuerzo expuesto al incendio. Eso ocurre debido a que el agua dentro del hormigón comienza a evaporarse y crea una presión de poro, la cual induce al esfuerzo interno del hormigón y pierde resistencia a la tracción.

Por tal razón, se realizó una investigación para tratar de crear una nueva mezcla de hormigón que sea más resistente ante los efectos de incendios. Dicha mezcla se hizo utilizando vidrio porque este ha sido utilizado con éxito como agregado en mezclas de hormigón [1]. La Figura 1 muestra el tipo de botellas de vidrio utilizadas para este proyecto.



Figura 1
Material a ser Reciclado

La mezcla de hormigón con vidrio fue comparada con una mezcla de hormigón regular (denominada mezcla control), además de compararse con una mezcla conteniendo caliza y otra conteniendo roca silíceas. Se utilizaron caliza y roca silíceas para la comparación porque los mismos han sido usados anteriormente en estudios para aumentar la resistencia del hormigón contra incendios [2] [3] [4].

REVISIÓN DE LITERATURA

En la Universidad Politécnica de Puerto Rico se realizó un estudio para determinar si el vidrio de botella podía utilizarse como agregado en el hormigón. El estudio se hizo como una alternativa para reducir el número de botellas que llegan a

convertirse en desperdicios sólidos. En el estudio se encontró que el hormigón tiene mejor resistencia en compresión cuando se substituye de un 10% a un 20% del agregado fino con vidrio [1].

No se encontró evidencia de que el vidrio haya sido utilizado anteriormente en estudios para mejorar la resistencia del hormigón expuesto a altas temperaturas. Sí se han hechos estudios en los cuales distintos agregados fueron utilizados para mejorar la resistencia del hormigón expuesto a altas temperaturas [2] [3] [4]. De entre los agregados utilizados con éxito, se escogieron caliza y roca silíceas porque son comúnmente encontrados en Puerto Rico.

OBJETIVOS

El objetivo de este proyecto es demostrar que el vidrio de botella puede utilizarse como parte del agregado fino en una mezcla de hormigón para mejorar su resistencia cuando está expuesto a altas temperaturas. De esta forma se puede promover el uso de vidrio en mezclas de hormigón y, a su vez, reducir la cantidad de vidrio que se convierte en desperdicios sólidos.

METODOLOGÍA

Se recopilaron botellas de 3 colores distintos: transparente, verde y ámbar, según se mostró en la Figura 1. Se pusieron en un envase grande con agua para empezar a limpiar todas las botellas eliminando los papeles o sellos, químicos y otros contaminantes que pudiesen afectar las mezclas. Luego, se ubicaron todas las botellas en cajas y se rompieron manualmente hasta que se obtuvo el tamaño deseado, para así llevarlas al laboratorio para granular los vidrios. Después se realizó la prueba de granulometría de acuerdo con el ASTM Standard C 136-01 [5], para así utilizar los vidrios que se acumularon en el tamiz #4, según se muestra en la Figura 2. Para la roca silícea y la caliza se realizó la misma prueba y también se utilizó el material retenido en el tamiz #4.

Se hicieron tres mezclas una con roca silícea, una con caliza y una con vidrio. También se hizo una

mezcla de hormigón regular. A continuación, se presenta los diseños de mezcla de hormigón.

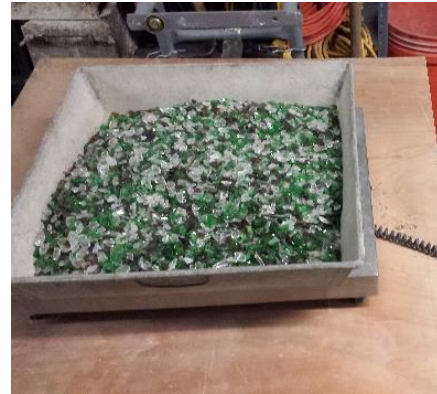


Figura 2
Material Retenido en el Tamiz #4

Diseños de Mezclas

Se preparó una mezcla control para resistencia en compresión de 3,000 psi utilizando las siguientes propiedades:

- Razón agua/cemento = 0.58
- Relación cemento: arena: piedra = 1:2.45:2.67
- Absorción de la arena = 6.00%
- Absorción de la piedra = 0.80%

El tipo de cemento utilizado para estas mezclas fue Portland Tipo I.

En la Tabla 1 se muestran las proporciones para la mezcla control. Para las mezclas con caliza y roca silícea se utilizaron las mismas cantidades de volumen de agua, cemento y agregado fino, pero se reemplazó el agregado grueso con la misma cantidad de volumen de caliza y roca silícea, respectivamente.

Tabla 1
Proporciones de la Mezcla Control

Material	Gravedad Específica	Densidad (lb/ft ³)	Volumen (ft ³)
Agua	1.00	62.20	0.21
Cemento	3.14	195.31	0.11
Agregado Grueso	2.69	167.32	0.35
Agregado Fino	2.65	164.83	0.33

La Tabla 2 muestra el cálculo de peso y volumen de vidrio utilizado para la mezcla de vidrio. Se

utilizaron las mismas cantidades de volumen de agua, cemento y agregado grueso de la mezcla control, pero se substituyó el 20% de del agregado fino con vidrio porque ha demostrado mejorar la resistencia del hormigón en estudios anteriores [1].

Tabla 2
Proporciones del Vidrio para 1 ft³ de Hormigón

Mezcla	Peso (lb)	Volumen (ft ³)
20% Vidrio	10.01	0.07

Según el ASTM Standard C192/C192M-02 [6], para cada mezcla se prepararon 20 cilindros de 4” de diámetro y 9” de alto. Se probaron en compresión 4 cilindros por mezclas a los 7, 14 y 28 días, según el ASTM Standard C39/C39M-01 [7], para un total de 12 cilindros por mezcla. Los otros 8 cilindros, después de los 28 días, se probaron en compresión a temperatura de 500 °F y 900 °F, según las pruebas anteriores y utilizando ASTM Standard E119 [8]. Después de los 28 días, se ubicaron los cilindros en hornos, cuatro a 500 °F y cuatro a 900 °F, por 90 minutos. Después de aplicar las temperaturas indicadas, se sacaron y dejaron en reposo por 30 min. Luego se probaron los cilindros en compresión.

RESULTADOS

En la Tabla 3 se muestran los resultados de las pruebas de compresión realizadas a los 7, 14 y 28 días. Se puede observar que la mezcla con vidrio obtuvo mayor resistencia en compresión. En la Figura 3 muestra una falla en compresión Tipo IV después de los 28 días, la cual se presenta comúnmente cuando las caras de aplicación de carga se encuentran en el límite de desviación.

Tabla 3
Resultados Pruebas de Compresión

Mezcla	Resistencia en Compresión [psi]		
	7 días	14 días	28 días
Control	1023	1521	1835
Vidrio	2096	2610	4820
Caliza	2063	2544	4275
Silícea	1231	1791	2394



Figura 3
Falla en Compresión Tipo [IV] en los 28 Días

En la Tabla 4 se presentan los resultados de las pruebas de compresión de los cilindros que fueron expuestos a altas temperaturas. Se puede observar nuevamente que mezcla de vidrio obtuvo la mayor resistencia en compresión.

Tabla 4
Resultados Pruebas de Compresión en Altas Temperaturas

Materiales	Resistencia en Compresión [psi]	
	500 F	900 F
Control	1589	1163
Vidrio	4220	3989
Caliza	2109	1800
Silícea	2235	2045

En las Figuras 4, 5 y 6 se pueden observar los tipos de falla obtenidos para las muestras de 900 °F de las mezclas de vidrio, caliza y roca silícea, respectivamente. Cuando el cilindro hace una falla parecida a un cono, esto significa que todos los gases creados por el calor se agruparon en una misma área al momento de aplicar una compresión alta. La mezcla de vidrio no permite que haya una falla cono debido a la poca absorción del vidrio, teniendo mejor

expansión termal con una resistencia de calor a 1,112°F, su poca resistencia en cortante y no tiene porosidad como el caliza y silicios.



Figura 4
Falla en Compresión Tipo [IV] para Muestra desde 900 °F
con Vidrio



Figura 5
Falla en Compresión Tipo I en la Muestra de 900 °F de
Caliza



Figura 6
Falla en Compresión Tipo II en la Muestra de 900 °F de
Roca Silícea

En la Figura 7 se muestra que el vidrio de 20% obtuvo mayor resistencia que las otras mezclas después de los 28 días. Igualmente, en la Figura 8 se muestra que la mezcla de vidrio obtuvo mayor resistencia en compresión cuando los cilindros fueron expuestos a temperaturas de 500 °F y 900 °F. El cilindro hace una falla parecido a un cono esto significa que todos los gases creado por el calor se agrupa en una misma área cuando se aplica una compresión alta. La mezcla de vidrio no permite que haya una falla tipo cono. La razón el vidrio tiene poca absorción y obtiene mejor expansión termal que aguanta a una temperatura de 1,112 °F. El vidrio con también tiene poca resistencia en cortante y no tiene porosidad, por la cual es mejor sucesor que la roca Caliza y Silícea.

CONCLUSIÓN

Se ha demostrado que el utilizar el vidrio como parte del agregado fino en una mezcla de hormigón mejora la resistencia de muestras de hormigón expuestas a altas temperaturas. En estas pruebas, el incluir vidrio tuvo mejor efecto que remplazar el agregado grueso con caliza o con roca silíceas. No obstante, se debe mencionar que la caliza y la roca silícea han producido unos resultados de 10% a 15% mayores a los obtenidos en este estudio cuando están expuestos a 900 °F [3] [4].

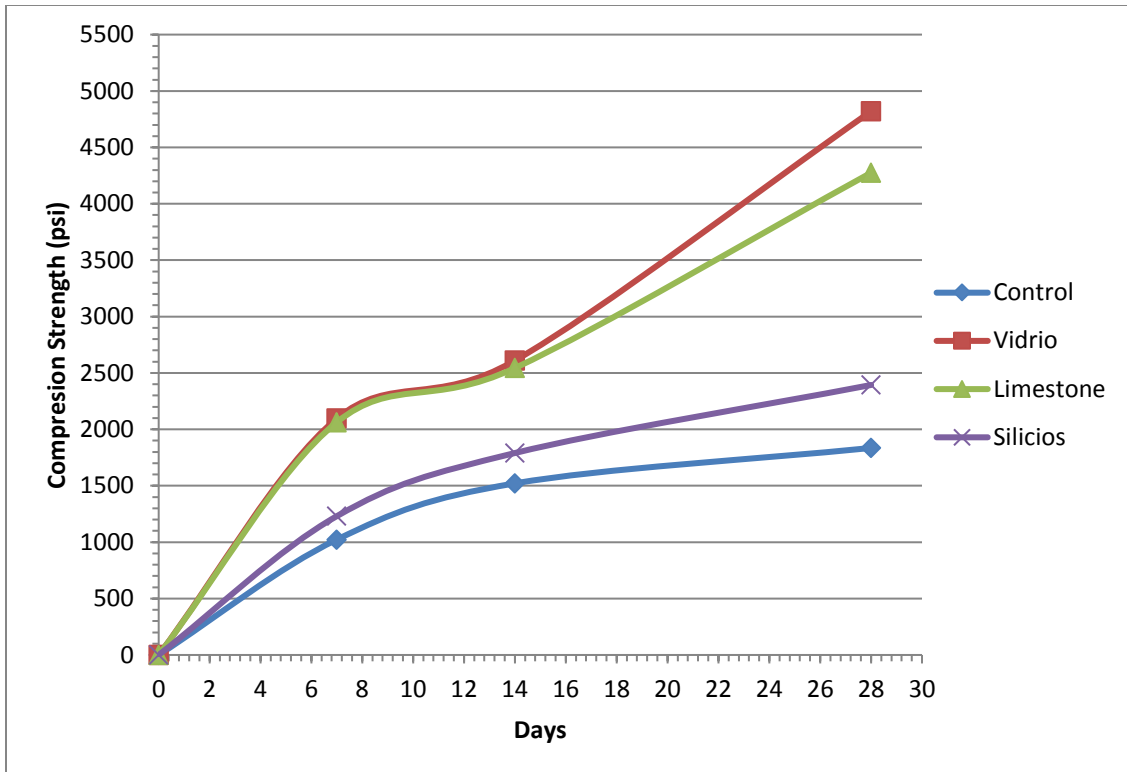


Figura 7
Gráfica de Resistencia en Compresión

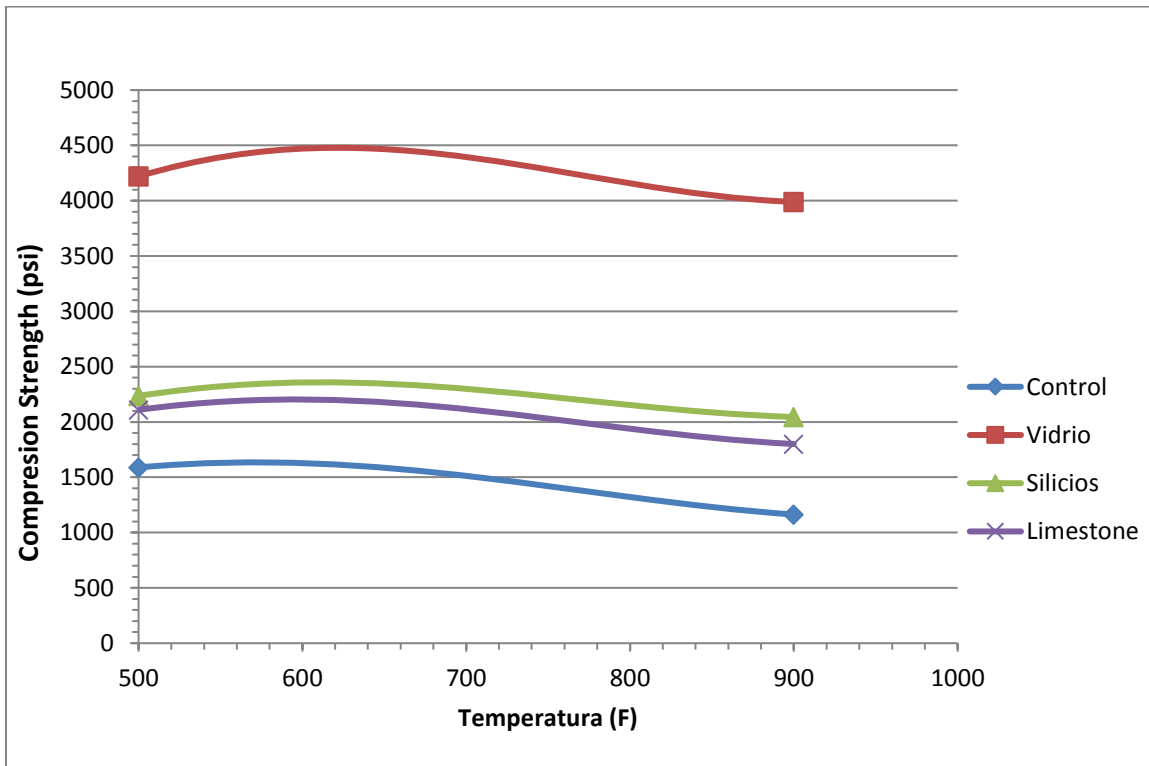


Figura 8
Gráfica de Resistencia en Compresión de Cilindros Expuesta a Temperaturas Altas

REFERENCIAS

- [1] L. E. Santiago Nieves, "Diseño de mezcla de hormigón utilizando vidrio reciclado de botella como parte del agregado fino", Dept. de Ing. Civil y Ambiental, Univ. Poli. de PR., PR, 2014, pp. 1-6
- [2] E. Ashley. "Fire Resistance of Concrete Structures". *Concrete InFocus*, 2007, pp. 67-70.
- [3] D. Bilow and M. E. Kamara, "Fire and Concrete Structures", *Structures 2008: Crossing Borders*, 2008, pp. 1-10
- [4] A. M. K. Abdelalim, G. E. Abdel-Aziz, M. A. K. El-Mohr and G. A. Salama, "Effect of Aggregate Type on the Fire Resistance of Normal and Self-Compacting Concretes", *Engineering Research Journal*, June 2009, pp 1-16
- [5] ASTM STANDARD C 136 – 06 "Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Course Aggregates", pp. 1-5.
- [6] ASTM STANDARD C 192/C 192M – 02 "Standard Practice for Making and Cursing Concrete Test Specimens in the Laboratory", pp. 1-8.
- [7] ASTM STANDARD C 39/C 39M – 01 "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens", pp. 1-5.
- [8] ASTM STANDARD E 119 "Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials", pp. 1-4.