

CONCRETO PERMEABLE REFORZADO CON UN ADITIVO A BASE DE RECICLADOS DE POLIESTIRENO

Pervious concrete reinforced
with an additive based on recycled polystyrene

Noé Mestas¹, Juan Bosco Hernández¹

¹Universidad Autónoma de Querétaro

Autor de correspondencia
noe.mestas@gmail.com

RESUMEN

En las vías terrestres, uno de los principales problemas es la infiltración del agua a las capas inferiores del pavimento, lo cual es un grave conflicto desde el punto de vista geotécnico al provocar asentamientos diferenciales, y a su vez deformaciones permanentes. Ante tal situación, el principal objetivo de esta investigación es presentar una alternativa con el uso de polímeros y, de esta manera, ayudar al medioambiente reduciendo gases de efecto invernadero. El uso de poliestireno reciclado, incorporado en mezclas de concreto, es una de las alternativas que beneficia tanto al medioambiente como a la sociedad, debido a que el concreto permeable permite la infiltración del agua al subsuelo o a las capas inferiores del pavimento sin que éste sufra daño alguno. Para la realización de esta investigación se desarrollaron especímenes de concreto permeable a diferentes edades de curado, lo cual contribuyó a monitorear el comportamiento del mismo a través del tiempo, al medir su resistencia a compresión y el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable, y al obtener una resistencia a compresión promedio de 89.07 kg/cm² a 28 días de curado con el uso de aditivo polimérico. Con base en las medidas tomadas en el laboratorio, se obtuvo un coeficiente de correlación del 95.28%, y se determinó que el coeficiente de permeabilidad se ve afectado por el uso del aditivo polimérico.

Palabras clave

Concreto permeable, polímeros, poliestireno, especímenes

ABSTRACT

One of the main problems in terrestrial routes is the infiltration of water into the lower layers of pavement, which is a serious conflict, from the geotechnical point of view, that causes differential settlements and thus, permanent deformations. The main objective of this research is to present an alternative solution for the use of

polymers and in this way help the environment by reducing greenhouse gases. The use of recycled polystyrene incorporated in concrete mixtures is one of the alternatives which benefits both the environment and society because pervious concrete allows the infiltration of water to the subsoil or to the lower layers of pavement without this suffering any damage. For this research there were made pervious concrete specimens at different ages of curing, which helps to monitor its behavior over time by measuring its compressive strength and coefficient of permeability. An average compressive strength of 89.07 kg/cm² at 28 days of curing with the use of polymeric additive was obtained and it was determined that the permeability coefficient is affected by the use of the polymeric additive based on the measurements taken in the laboratory, a correlation coefficient of 95.28% was obtained.

Keywords

Permeable concrete, polymers, polystyrene, specimens

INTRODUCCIÓN

El calentamiento global es una de las principales amenazas para los seres vivos que habitan el planeta, al provocar inestabilidad en el medioambiente. De manera significativa el cambio climático se manifiesta en la temperatura, la precipitación (Tarroja, Aghakouchak y Samuelson, 2016), la magnitud del cauce de los ríos y en el aumento de la evaporación (Boehlert et al., 2016). Entre los principales responsables del calentamiento global están los gases de efecto invernadero (Gutiérrez et al., 2016) donde destacan el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂), ya que conforman aproximadamente el 20% de las emisiones globales (Tu y Li, 2016).

Al respecto, el 5% de las emisiones mundiales de dióxido de carbono proviene de la producción de cemento, la cual está directamente vinculada con la combustión de fósiles y la calcinación de la piedra caliza en la mezcla cruda



(Hendriks *et al.*, 2013). En el proceso de producción de cemento Portland (Clinker) se estima que la proporción de gases, respecto al producto, es de 1:1 (Cabrera *et al.*, 2016) y las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera alcanzan un valor de 1.0 T por tonelada de Clinker. Por lo tanto, la industria del cemento se posiciona dentro de las principales fuentes generadoras de CO₂ (Cabrera *et al.*, 2016).

Conforme a esto, existe una preocupación por disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. Se ha buscado el reciclado de diversos materiales y se han desarrollado concretos a base de residuos de otras industrias, por ejemplo, de las escorias de la fabricación de hierro fundido (Cabrera *et al.*, 2016). No obstante, un componente que ha sido fuertemente utilizado en la mezcla de materiales es el polimérico (Ohama, 1998). En el caso de los polímeros se ha comprobado que su incorporación en la mezcla de concreto convencional mejora el comportamiento mecánico, tales como la resistencia a la compresión y resistencia a flexión, una excelente adhesión, resistencia al agua, resistencia a la abrasión y resistencia química (Kishore, 2012).

En los últimos 25 años, la incorporación de los polímeros a la construcción ha ocasionado un significativo auge. Los polímeros añadidos al

concreto tienen poco de ser estudiados, se hicieron famosos en la década de los 70's, por lo general para la reparación de pisos y puentes y también para elementos prefabricados (Fowler, 1999). El poliestireno expandido (EPS) tiene diversas aplicaciones en la construcción, se ha utilizado en materiales de base, subbase para pavimentos, y como balasto en las vías férreas, etc. Sin embargo, el EPS se puede incorporar a la mezcla de concreto para producir un concreto ligero con diferentes densidades, el cual no es utilizado como concreto estructural debido a su baja resistencia (Chen, 2007).

Es así que el uso de concreto permeable, en estructuras de pavimentos de vías terrestres, proporciona los siguientes beneficios: disminuye el riesgo de circulación en presencia de lluvia, y los gradientes térmicos y de humedad. El material presta dos funciones adicionales: drenaje y autoventilación, al aumentar la estructura de los macroporos, consecuencias de la infiltración del agua en la superficie del pavimentos (Vélez, 2010). En este artículo se presenta una revisión crítica de la literatura sobre los materiales poliméricos que han sido incorporados a los concretos hidráulicos, con la finalidad de identificar las limitaciones de estos materiales y de potenciar desarrollos.

Tabla 1. Total de emisión de gases de efecto invernadero, al producir materiales de construcción de pavimentos (Chehovits y Galehouse, 2010)

Emisión de gases de efecto invernadero (kg/t) por cada tipo de producto					
Producto	Agregados	Producción	Transporte	Colocación	Total
Material granular no tratado	9.6	-	4.5	0.4	14.5
Concreto con refuerzo continuo	5.1	1	5.4	0.2	11.7
Losas de concreto sin refuerzo	9.6	1	5.6	0.2	16.4

METODOLOGÍA

Poliestireno expandido reciclado en mezclas de concreto

El poliestireno expandido es utilizado actualmente como material de embalaje o aislante en diversas partes del mundo, lo cual ocasiona que se consuma una gran cantidad de este elemento y posteriormente se disponga de múltiples residuos. Los desechos de poliestireno causan muchos problemas medioambientales, principalmente, contaminación del agua y la tierra debido a que son parte de un material difícil de descomponerse en la naturaleza (Kan y Demirboga, 2009). De la misma forma, otro de los problemas serios es el consumo de componentes vírgenes para la construcción; la explotación de bancos de materiales representa un grave problema medio ambiental, ya que se deterioran las zonas rurales y se altera la topografía del sitio de explotación causando erosión (Kan y Demirboga, 2009), por ello se busca una alternativa para el reciclado de este tipo de elementos. La industria de la construcción llega a posicionarse como una vía potencial para el reciclado del poliestireno (Perry et al., 1991).

Los residuos de poliestireno expandido pueden reciclarse de muchas maneras una vez que termine su vida útil. El método de reciclado genera ciertas consideraciones económicas y medioambientales, contribuye a la reducción de residuos y al desarrollo de productos sostenibles (Kan y Demirboga, 2009). El poliestireno, por ejemplo, se puede incorporar fácilmente a la mezcla del concreto para producir concreto ligero con baja resistencia, puesto que la calidad del concreto depende de la calidad de los agregados (Kan y Demirboga, 2009). La incorporación del poliestireno a la mezcla es importante en el proceso de fabricación, ya que se observó que al contacto con los agregados, el cemento Portland y el agua, se genera una pequeña capa porosa (Laukaitis et al., 2005).

El concreto con poliestireno tiene propiedades de aislamiento térmico y acústico, se usa generalmente en elementos no estructurales como son paneles de pared y bloques ligeros, también se ha considerado utilizarlo como material de subbase en pavimentos (Perry et al., 1991). El concreto ligero es otra de las tendencias actuales debido a que presenta muchos beneficios, al compararlo con el concreto convencional, den-



Figura 1. Metodología para obtención de resultados (Fuente propia)



tro de los cuales están que tiene baja conductividad, reduce la inercia, mejora el aislamiento térmico y, a su vez, ayuda a un manejo sustentable del poliestireno (Chikhi *et al.*, 2016). Cabe destacar que se debe tener cuidado con el aumento del volumen de poliestireno expandido usado, puesto que afecta directamente la resistencia a compresión y provoca microfisuras en la zona de transición de partícula de agregados y el cemento (Sayadi *et al.*, 2016).

Caracterización de agregados

Por la necesidad de vacíos en el concreto permeable, éste carecerá de arena (agregado fino). La granulometría se realiza con base en la norma ASTM C 136, por lo que, el agregado grueso que se utiliza en un concreto hidráulico debe ser grava, grava triturada, piedra triturada, escoria de alto horno enfriada con aire, concreto de cemento hidráulico triturado o una combinación de ellos.

El peso volumétrico es uno de los principales datos para diseñar la mezcla, por lo cual, se realiza como se describe en la norma ASTM C 29/C 29M-97 Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate que permite determinar la densidad aparente (peso unitario) de los agregados en condición compactada o suelta. La prueba se lleva a cabo en materiales que tienen 5 pulgadas (125 mm) de tamaño máximo nominal, así que el material trabajo no tendrá problema al aplicar este método puesto que el tamaño máximo nominal es de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{8}$ ".

Preparación del aditivo

Los aditivos son materiales distintos a los agregados de la mezcla de concreto, los cuales ayudan a que esta tenga un mejor comportamiento, mediante una interacción fisicoquímica que modifica las propiedades del concreto, y se añaden durante la mezcla del concreto hidráulico. Existen siete tipos de aditivos: Tipo A-reductor de agua, Tipo B-retardador, Tipo C-acelerador, Tipo D-reductor de agua y retardante, Tipo E-reductor de agua y acelerador, Tipo F-reductor de agua, de alto rango, y Tipo G reductor de agua, de alto rango, y retardador (ASTM C 494/C494M).

Elaboración de especímenes

Una vez realizado el diseño de la mezcla de concreto se procede a la fabricación de los especímenes tanto cilíndricos como vigas de concreto, lo cual se lleva a cabo de acuerdo con la norma ASTM C192 / C192M-16^a Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory. Éste es el procedimiento para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio bajo un control apropiado.

Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto

La norma ASTM C 39/C39 consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos, a una velocidad dentro de un rango establecido hasta que ocurra alguna falla. La

Tabla 2. Ensayo a compresión de cilindros con la mezcla de mejor desempeño

Días de curado	Agregado natural	Reciclados poliméricos
	Replicas	Replicas
7	4	4
14	4	4
28	4	4

resistencia a compresión del espécimen es calculada dividiendo la carga máxima aplicada en el ensaye entre su área de la sección transversal.

Permeabilidad

Una de las principales características del concreto poroso es la permeabilidad que determina su capacidad para filtrar el agua a través del espécimen. Para realizar la prueba de permeabilidad se elaboró un permeámetro de carga variable, tomando como referencia lo descrito en el ACI 522.

De forma específica, para determinar el coeficiente de permeabilidad se utiliza la siguiente fórmula:

$$k = \frac{L}{(t_2 - t_1)} \times \frac{a}{A} \times \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

En donde:

k = coeficiente de permeabilidad, en cm/s

L = altura del espécimen, en cm

a = área del tubo cilíndrico graduado, en cm²

A = área de la muestra, en cm²

t₁ = tiempo inicial, en s

t₂ = tiempo final, en s

h₁ = altura de la columna de agua en el tubo graduado al inicio de la prueba, en cm

h₂ = altura de la columna de agua en el tubo graduado al final de la prueba, en cm.

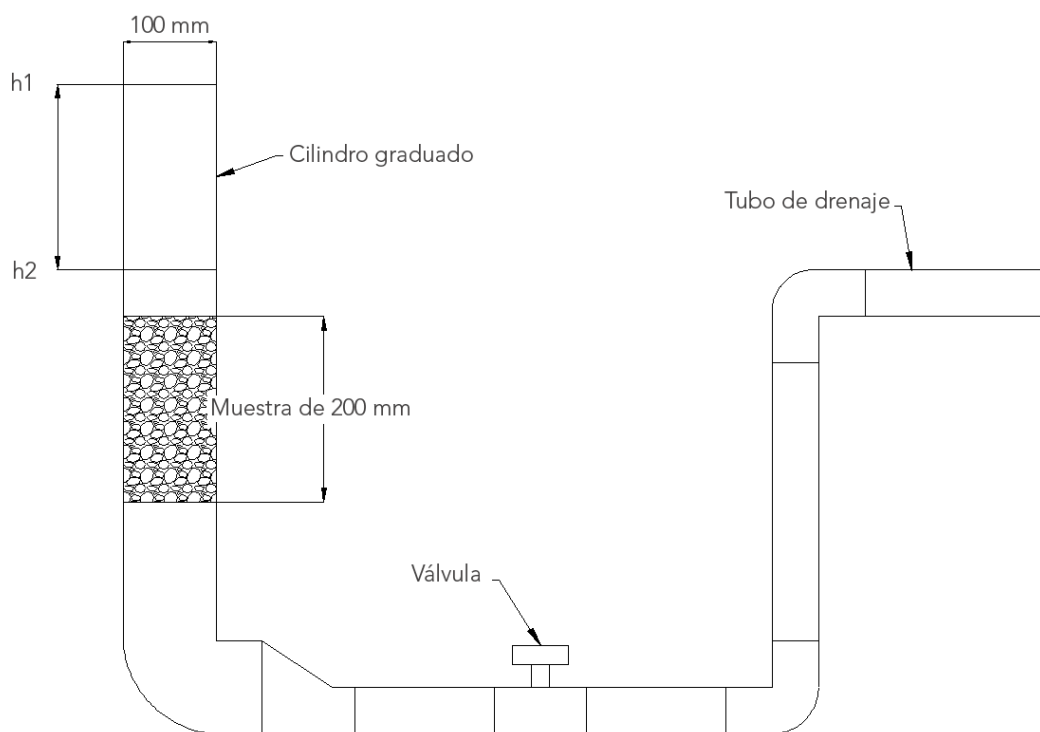


Figura 2. Permeámetro de carga variable



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para un concreto permeable se necesita material uniforme, por lo tanto, la selección de agregados para este caso será de $3/8''$ y $1/2''$. De esta manera se garantizará la porosidad de la mezcla.

Para el peso volumétrico de la grava utilizada ($1/2''$ y $3/8''$) se obtuvieron los siguientes resultados:

Peso volumétrico varillado para la grava de $1/2''$

$$PVV = 1639.642 \text{ kg/m}^3$$

Peso volumétrico varillado para la grava de $3/8''$

$$PVV = 1628.928 \text{ kg/m}^3$$

En las Tablas 4 y 5 se muestran los resultados obtenidos de resistencia a compresión para cada uno de los especímenes realizados y ensayados

en el laboratorio a diferentes edades de curado (7, 14 y 28 días), y se exhibe la evolución de la resistencia a compresión de los especímenes ensayados.

De las tablas anteriores se puede observar el comportamiento de la mezcla de concreto permeable con o sin aditivo polimérico y, respecto al tiempo, se aprecia una mejora en la resistencia a compresión de los especímenes: un 32.59% para 28 días de curado, 13.57% en el caso de 14 días y 7.89% corresponde a 7 días de curado. Con base en las 4 réplicas elaboradas a edades de curado diferentes se obtuvo el promedio de la resistencia a compresión de los especímenes en el laboratorio. A continuación, en la Figura 3, se muestran las gráficas de resistencia a compresión (promedio) f'_c (kg/cm^2).

Tabla 3. Granulometría, banco La Loma

Malla	Abertura	Peso suelo retenido	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje que pasa
No.	mm	g	%	%
2 in	50.8	0	0	100
1 1/2 in	36.1	0	0	100
1 in	25.4	5330	30.46	69.54
3/4 in	19.05	5680	32.46	37.09
1/2 in	12.7	5080	29.03	8.06
3/8 in	9.52	790	4.51	3.54
No. 4	4.75	340	1.94	1.60
Pasa No. 4		50	0.29	1.31
Suma		17270	98.69	

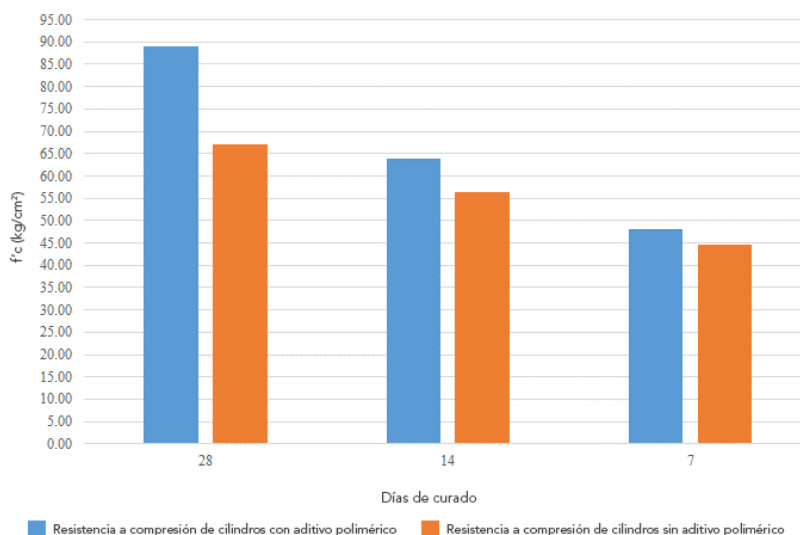


Figura 3. Gráfica de resistencia a compresión (promedio) de cilindros con y sin aditivo polimérico (Fuente: Elaboración propia)

Tabla 4. Resistencia a compresión de cilindros sin aditivo polimérico

Resistencia a compresión de cilindros sin aditivo polimérico							
Cilindro	Tiempo de curado (días)	D (cm)	H (cm)	Carga (kN)	Carga (kg)	F'c (kg/cm ²)	F'c (kg/cm ²) Promedio
1	28	9.70	19.80	50.07	5105.64	69.09	67.18
2		9.85	19.80	52.46	5349.35	70.20	
3		9.87	19.82	48.60	4955.74	64.77	
4		9.84	19.81	48.21	4915.97	64.77	
1	14	9.84	19.76	39.46	4023.74	52.91	56.27
2		9.71	19.74	42.86	4370.43	59.02	
3		9.79	19.78	41.86	4278.66	56.84	
4		9.80	19.73	41.66	4248.07	56.32	
1	7	9.79	19.63	32.14	3277.32	43.54	44.50
2		9.85	19.80	32.17	3280.37	43.05	
3		9.87	19.82	33.04	3369.09	44.03	
4		9.84	19.81	35.32	3601.58	47.36	

Tabla 5. Resistencia a compresión de cilindros con aditivo polimérico

Resistencia a compresión de cilindros con aditivo polimérico							
Cilindro	Tiempo de curado (días)	D (cm)	H (cm)	Carga (kN)	Carga (kg)	F'c (kg/cm ²)	F'c (kg/cm ²) Promedio
1	28	9.80	19.75	67.54	6887.05	91.30	89.07
2		9.85	19.80	68.21	6955.37	91.28	
3		9.87	19.82	64.46	6572.99	85.91	
4		9.84	19.81	65.46	6674.96	89.77	
1	14	9.50	19.74	42.35	4318.43	60.92	63.91
2		9.60	19.80	46.86	4778.31	66.01	
3		9.20	19.82	42.86	4370.43	65.74	
4		9.71	19.81	45.71	4661.05	62.94	
1	7	9.80	19.79	35.71	3641.35	48.27	48.00
2		9.85	19.75	38.39	3914.63	51.91	
3		9.87	19.78	16.61	3733.12	48.79	
4		9.84	19.80	32.50	3314.03	43.58	



La prueba de permeabilidad se llevó a cabo con base en lo descrito en el ACI 522, como ya se mencionó, variando las edades de curado de los especímenes como se muestra en las Tablas 6 y 7. Éstas describen los resultados del coeficiente de permeabilidad para las especímenes con y sin aditivo.

En la Figura 4 se pueden observar los coeficientes de permeabilidad para las distintas mediciones de los especímenes ensayados en el laboratorio, variando los días de curado y la columna de agua del tubo graduado. De éste se deduce que la permeabilidad no se ve afectada por el aditivo polimérico, debido a que existe un coeficiente de correlación (R^2) de 0.9528, al analizar los promedios de todas las mediciones realizadas en el laboratorio.

CONCLUSIONES

Últimamente se han realizado gran cantidad de investigaciones sobre polímeros y su comportamiento, no obstante, en esta investigación podemos concluir que:

1. El reciclado es uno de los métodos principales para generar menos desechos no biodegradables y, de esta manera, ser amigables con el medioambiente reduciendo la contaminación.

2. El uso del poliestireno reciclado como aditivo ayuda a mejorar la resistencia a compresión de los especímenes de concreto permeable en un 32.59% a 28 días de curado.
3. El concreto permeable puede ser una alternativa para el reciclado de poliestireno (producto de embalaje y de otros medios) por su impacto benéfico con el medioambiente, debido al reciclaje y al coeficiente de permeabilidad en los especímenes ensayados en el laboratorio que no se ve afectado con el uso del aditivo polimérico al existir una fuerte correlación entre las medidas de coeficiente de permeabilidad: coeficiente de correlación (R^2) 0.9528.
4. El concreto permeable es una de las opciones para el manejo de aguas pluviales, ya que disminuye el escurrimiento superficial evitando inundaciones.
5. El aditivo polimérico es una manera de reciclar el poliestireno y de contribuir al cuidado del medioambiente reduciendo la contaminación.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por su apoyo durante toda esta investigación.

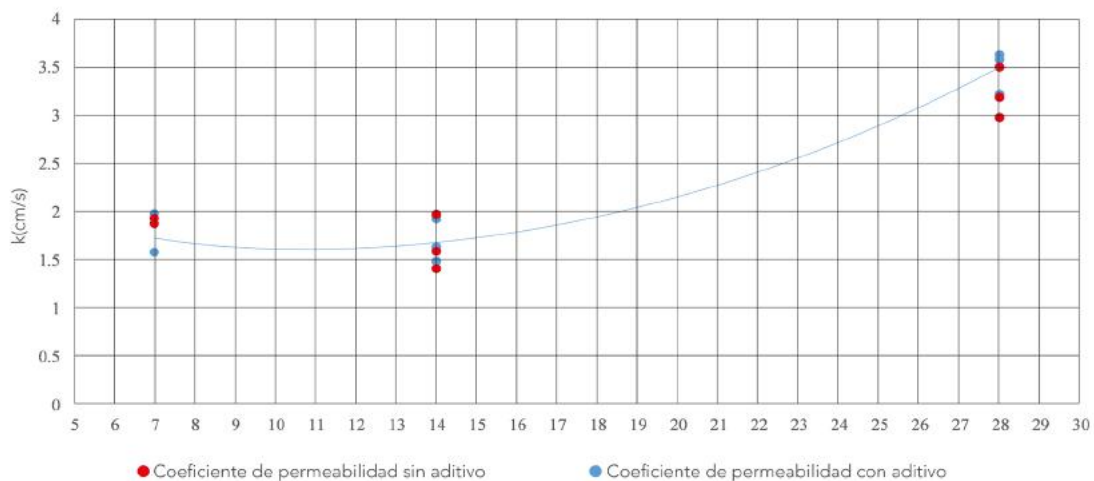


Figura 4. Gráfica de coeficiente de permeabilidad de especímenes con y sin aditivo polimérico (Fuente: Elaboración propia)

Tabla 6. Coeficiente de permeabilidad sin aditivo

Coeficiente de permeabilidad sin aditivo									
Medición	Tiempo de curado (días)	d (cm)	h_1 (cm)	h_2 (cm)	L (cm)	t_1 (s)	t_2 (d)	k (cm/s)	k (cm/s) promedio
1	28	9.8	20.00	15.00	19.75	0	1.7	3.210	3.475
2		9.85	20.00	10.00	19.8	0	3.71	3.589	
3		9.87	20.00	5.00	19.82	0	7.38	3.627	
1	14	9.81	20.00	15.00	19.72	0	3.65	1.496	1.689
2		9.83	20.00	10.00	19.78	0	8.09	1.638	
3		9.89	20.00	5.00	19.78	0	19.88	1.932	
1	7	9.78	20.00	15.00	19.72	0	3.42	1.587	1.721
2		9.8	20.00	10.00	19.71	0	8.25	1.590	
3		9.79	20.00	5.00	19.65	0	13.15	1.985	

Tabla 7. Coeficiente de permeabilidad con aditivo

Coeficiente de permeabilidad con aditivo									
Medición	Tiempo de curado (días)	d (cm)	h_1 (cm)	h_2 (cm)	L (cm)	t_1 (s)	t_2 (d)	k (cm/s)	k (cm/s) promedio
1	28	9.7	20.00	15.00	19.80	0	1.68	3.190	3.220
2		9.85	20.00	10.00	19.77	0	3.81	3.490	
3		9.87	20.00	5.00	19.77	0	8.96	2.980	
1	14	9.81	20.00	15.00	19.72	0	3.85	1.418	1.662
2		9.83	20.00	10.00	19.78	0	8.32	1.592	
3		9.89	20.00	5.00	19.78	0	13.58	1.975	
1	7	9.78	20.00	15.00	19.72	0	3.36	1.615	1.816
2		9.8	20.00	10.00	19.71	0	6.77	1.938	
3		9.79	20.00	5.00	19.65	0	13.77	1.896	



REFERENCIAS

- ASTM C 136-06 "Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregate". American Society for Testing and Materials (ASTM).
- ASTM C 39/C 39M-05 "Standard Test Method for Compressive Strength of cylindrical Concrete Specimens". American Society for Testing and Materials (ASTM).
- ASTM C 494/C 494-15A "Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete". American Society for Testing and Materials (ASTM).
- BOEHLERT, B., Strzepek, K. M., Gebretsadik, Y., Swanson, R., McCluskey, A., Neumann, J. E., McFarland, J. y Martinich, J. (2016). Climate change impacts and greenhouse gas mitigation effects on U.S. hydropower generation. *Applied Energy*. Vol. 183, pp. 1511-1519. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.054>
- CABRERA, J. A., Escalante, J. I. y Castro, P. (2016). Resistencia a la compresión de concretos con escoria de alto horno. *Revista ALCONPAT*. Vol. 6(1).
- CHEHOVITS, J. y Galehouse, L. (2010). Energy Usage and Greenhouse Gas Emissions of Pavement Preservation Processes for Asphalt Concrete Pavements. Transportation Research Board, pp. 27-42.
- CHEN, B. y Liu, J. (2007). Mechanical properties of polymer-modified concretes containing expanded polystyrene beads. *Construction and Building Materials*. Vol. 21(1), pp. 7-11. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.08.001>
- CHIKHI, A., Belhamri, A., Glouannec, P. y Magueresse, A. (2016). Experimental study and modeling of hygro-thermal behavior of polystyrene concrete and cement mortar. *Application to a multilayered wall*. *Journal of Building Engineering* Vol. 7, pp. 183-193. <http://doi.org/10.1016/j.job.2016.06.007>
- FOWLER, D. W. (1999). Polymers in concrete: a vision for the 21st century. *Cement and Concrete Composites*. Vol 21(5-6), pp. 449-452. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(99\)00032-3](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(99)00032-3)
- HENDRIKS, C. A., Worrell, E., de Jager, D. De, Blok, K. y Riemer, P. (2013). Emission Reduction of Greenhouse Gases from the Cement Industry. IEA Greenhouse Gas R&D Programme. pp. 1-11.
- KAN, A. y Demirboga, R. (2008). A new technique of processing for waste-expanded. *Journal of Materials Processing Technology*. Vol, 209(6), pp. 2994-3000. <http://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.07.017>
- KAN, A. y Demirboga, R. (2009). A novel material for lightweight concrete production. *Cement and Concrete Composites*. Vol. 31(7), pp. 489-495. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.05.002>
- KISHORE, K. (2012). Polymer-Modified Mortars And Concrete Mix Design. *Civil Engineering*, pp. 1-8.
- LAUKAITIS, A., Zurauskas, R. y Kerien, J. (2005). The effect of foam polystyrene granules on cement composite properties. *Cement and Concrete Composites*. Vol. 27(1), pp. 41-47. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2003.09.004>
- OHAMA, Y. (1998). Polymer-based Admixtures. *Cement and Concrete Composites*, Vol. 20(2-3), pp. 189-212.
- PERRY, S. H., Bischoff, P. H. y Yamura, K. (1991). Mix details and material behaviour of polystyrene aggregate concrete. *Magazine of Concrete Research*. Vol. 43(154), pp. 71-76. <https://doi.org/10.1680/mac.1991.43.154.71>
- SAYADI, A. A., Tapia, J. V, Neitzert, T. R. y Clifton, G. C. (2016). Effects of expanded polystyrene (EPS) particles on fire resistance , thermal conductivity and compressive strength of foamed concrete. *Construction & building materials*. Vol. 112, pp. 716-724. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.218>

- TARROJA, B., Aghakouchak, A. y Samuelsen, S. (2016). Quantifying climate change impacts on hydropower generation and implications on electric grid greenhouse gas emissions and operation. *Energy*. Vol. 111, pp. 295-305. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.131>
- VÉLEZ, L. M. (2010). Permeabilidad y Porosidad en Concreto. *Tecnológicas*. (25), pp. 169-187.