

FACTIBILIDAD CONSTRUCTIVA DE PAVIMENTOS VERDES PARA LA REGIÓN CENTRO DEL ESTADO DE GUERRERO

Oscar González
Mancilla

Alfredo Cuevas
Sandoval

Raziel Barragán
Trinidad

Mateo Sánchez
Calvo

Unidad Académica de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Guerrero. C.U. Sur
Av. Lázaro Cárdenas S/N Ciudad Universitaria C.P. 39070 Chilpancingo de los Bravo, Guerrero, México

+52 (747) 109 6332

+52 (747) 110 0179

+52 (747) 131 4582

+52 (747) 529 4181

osc.argm@live.com.mx

acuevas36@hotmail.com

razielbt@gmail.com

sc_421@hotmail.com

RESUMEN

En el presente trabajo, se hace una comparativa costo – beneficio entre el concreto permeable y el concreto convencional, se plasma además la disponibilidad de los materiales que existen en la zona, para determinar si es factible la producción de concreto permeable.

Área temática

Construcción sustentable

Palabras clave

Concreto permeable, factibilidad, construcción

1. INTRODUCCIÓN

Un pavimento verde es aquel que en su elaboración considera materiales reciclados, que no contaminen el ambiente, en este caso, un pavimento con concreto permeable puede o no incluir materiales de reciclaje, sin embargo se considera verde por el impacto positivo que genera en el ambiente al aplicarse.

En los años 1945 y 1950 se dio inicio a los primeros experimentos con pavimentos permeables, enfocados en los siguientes objetivos: a) obtener una mezcla con la que se pudiera crear un elemento resistente de estructura abierta que brindara la capacidad de carga requerida por el proyecto y que además trabajara como una alcantarilla para desalojar el agua del pavimento, b) brindar mayor seguridad a los usuarios y c) permitir fluidez de tránsito en cualquier condición meteorológica. En la década de los setenta se pretendía solucionar los problemas inherentes al crecimiento de las pavimentaciones sub-urbanas y la deficiencia del alcantarillado.

En 1974 en Japón, se da lugar a los primeros ejemplos de concreto permeable en capas de rodadura debido a que el 80% de la superficie es ondulada y montañosa lo que obligó a adoptar medidas para reducir en lo posible los escurrimientos en las zonas urbanas, la utilización del concreto permeable en Japón obedece principalmente a consideraciones de drenaje.

En 1985 se señala el fenómeno de *pumping* (*bombeo*) que se produce en pavimentos de concreto ante la acción combinada de agua y tráfico pesado, este hecho le ha dado al concreto

permeable con misión drenante, el cual ha sido utilizado en diferentes países. Posteriormente se planteó la posibilidad de emplear estos concretos como sub-base y base de pavimentos. El concreto permeable “ecocreto”, es el primer pavimento 100% permeable y ecológico en el mundo. El material es un producto 100% mexicano descubierto por científicos y técnicos mexicanos bajo la dirección del arquitecto Néstor de Buen Unna, iniciaron este proyecto desde el año 1994, además desarrollaron los sistemas constructivos adecuados en agosto de 1996, el “Ecocreto” fue patentado al público de México.

En el año 1996 el ingeniero Químico Grau Genesis inventó un aditivo para elaborar concreto ecológico 100% permeable. En el 2014 el ecocreto ya ha sido aplicado de manera satisfactoria en México sin embargo existen bastantes espacios que pudieran ser recubiertos por concreto permeable, que podrían generar una sensación térmica menor a la Ambiental en la zona de aplicación eliminando el efecto “*heat island*” o isla de calor mismo que recibe su nombre por crear una especie de isla o domo donde el transeúnte percibe una temperatura mayor a la del ambiente en espacios y superficies cubiertas por asfalto o concreto hidráulico convencional, lamentablemente existe poca información de este material para que sea considerado como una alternativa de recubrimiento de superficies.

En los últimos años, el estado de Guerrero ha sido afectado por fenómenos naturales causados por desequilibrio ambiental. La temperatura ambiental ha tenido un incremento notorio y el uso de asfalto y concreto convencional para recubrir espacios y vías, ha erosionado el suelo y genera islas de calor. Es necesario incluir este tipo de materiales en la construcción para mejorar el clima en la zona e incrementar la calidad de vida. No obstante en la ciudad capital de Chilpancingo de los Bravo, en el Laboratorio de Materiales de la Unidad Académica de Ingeniería, se han diseñado, fabricado y experimentado piezas de concreto permeable sin aditivo, con la finalidad de obtener la resistencia adecuada para cada aplicación y suprimir el costo del aditivo, se pretende garantizar así la calidad y precio del producto al público consumidor que pretenda recubrir un espacio aportando además beneficios al medio ambiente.

2. CARACTERÍSTICAS Y DISPONIBILIDAD DE LOS MATERIALES

El concreto permeable se ha usado como una alternativa a la típica solución de construir pozos para retención o

almacenamiento de aguas pluviales. En general, ha tenido éxito en la construcción de áreas de estacionamiento con pavimentos de concreto permeable que permiten la filtración del agua al subsuelo, reduciendo el escurrimiento superficial, evitando la contaminación, el encharcamiento y la erosión de áreas aledañas. Algunas definiciones básicas de concreto permeable son:

De acuerdo con el ACI-522R, el concreto permeable es un material de estructura abierta con revenimiento cero, compuesto por cemento Portland, agregado grueso, poco o nada de finos, aditivos y agua. La combinación de estos ingredientes produce un material endurecido con poros interconectados, cuyo tamaño varía de 2 a 8 mm lo que permite el paso de agua. El contenido de vacíos puede variar de un 18 a un 35 %, con resistencias a compresión típicas de 2.8 a 28 MPa. Su velocidad de drenaje depende del tamaño del agregado y de la densidad de la mezcla, pero generalmente varía en el rango de 81 a 730 L/min/m².

2.1 Propiedades del concreto permeable en estado fresco

Son aquellas que se pueden medir antes del fraguado y dentro de las más relevantes se tienen las siguientes:

2.1.1 Peso Volumétrico o unitario

El peso unitario del concreto permeable es del orden del 70% del concreto convencional, y se define como el peso por unidad de volumen del material. Su determinación es en base a la norma ASTM C1688.

2.1.2 Revenimiento

En general, es cero; sin embargo se han usado valores en el rango de 20 a 50 mm. La prueba del revenimiento se realiza de acuerdo con la norma ASTM C143— no es una prueba que se considera para fines de control de calidad, debido a que la mezcla es demasiado rígida y la medición del revenimiento en la mayoría de casos no es aplicable.

2.1.3 Contenido de vacíos

El contenido de huecos de aire se calcula como un porcentaje de aire por el método gravitatorio (ASTM C138), y está relacionado directamente con el peso volumétrico de una mezcla dada de concreto permeable. El contenido de vacíos depende de varios factores: granulometría del agregado, contenido del material cementante, relación A/C, y la compactación.

2.2 Propiedades del concreto permeable en estado endurecido

Son aquellas que se determinan ensayando al concreto en estado endurecido, las pruebas y ensayos se llevan a cabo según la edad del elemento. Las determinaciones más comunes son:

2.2.1 Porosidad

La porosidad es una medida de los espacios vacíos entre los agregados. La condición para que un concreto sea permeable es que el contenido de vacíos sea mayor al 15%.

2.2.2 Permeabilidad

La permeabilidad al igual que la porosidad depende de las propiedades de los materiales, la proporción de la mezcla y de los métodos de colocación y compactación.

2.2.3 Resistencia a la compresión

La resistencia a compresión típica es del orden de 17 MPa; sin embargo, se pueden desarrollar resistencias hasta de 28 MPa. La resistencia a compresión está influenciada por los materiales componentes, el esfuerzo de compactación y por el contenido de vacíos. En la figura 1 se muestra la relación entre la resistencia a compresión y el contenido de vacíos para 2 tamaños de agregado, 19.0 y 9.5 mm (ASTM C33, No. 67, y 8, respectivamente).

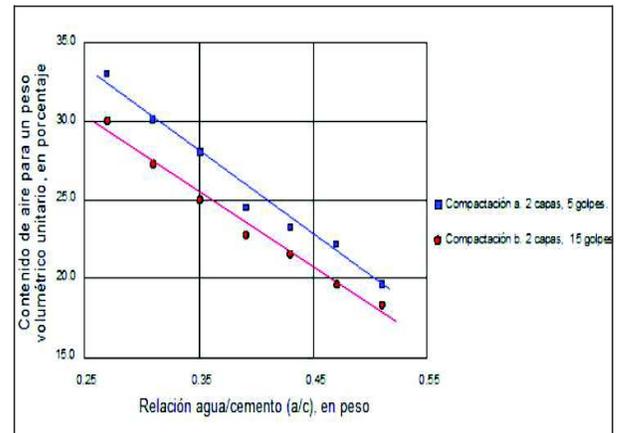


Fig. 1. Relación entre la resistencia a 28 días y el contenido de aire para agregado de 3/8" y 3/4" (ACI 211.3R 1988).

2.2.4 Resistencia a la flexión

La resistencia a flexión varía entre 1 y 3.8 MPa. Su determinación puede estar sujeta a importante variabilidad, por lo que es común medir la resistencia a compresión y usar relaciones empíricas para estimar su valor. Por su parte, la contracción por secado en el concreto permeable se presenta más pronto, sin embargo, es menor, del orden de la mitad de lo esperado en el concreto convencional, debido a lo anterior, en éste material el número de juntas disminuye o se suprime.

2.2.5 Cambio de volumen o contracción

Al fenómeno que se presenta cuando el concreto pierde agua se le conoce como cambio de volumen o contracción. Para evitar una mayor contracción en la estructura del concreto, comúnmente se agrega agua, de tal forma que la hidratación del cemento obtenga su consistencia óptima. El agua libre o excedente, se evapora en poco tiempo, así la velocidad o terminado de secado depende principalmente de la humedad contenida, temperatura ambiental y de la forma y posición donde fue colocado el concreto.

2.2.6 Absorción acústica

Es una propiedad que presentan ciertos materiales y cuya función principal es absorber energía acústica al disminuir la reflexión de las ondas incidentes; ejemplo de esto tenemos los materiales porosos, ahora bien, la capacidad de aislamiento acústico de un determinado elemento constructivo, fabricado con uno o más materiales, es su capacidad de atenuar el sonido que lo atraviesa.

2.2.7 Durabilidad

Es la capacidad de resistencia a la intemperie, a la congelación y descongelación, a la acción de agentes químicos al desgaste, sin la alteración de sus propiedades mecánicas.

2.2.8 Resistencia a la congelación-deshielo

El concreto permeable debe tener la capacidad de resistir condiciones ambientales de exposición anticipadas. Aun cuando las condiciones climáticas en nuestro país no son propicias a cambios climáticos extremos Conforme a la norma ASTM C 666, una porción de concreto permeable sin aire incluido completamente saturado tuvo una pobre resistencia a la congelación y deshielo, aunque esta norma no es recomendable para evaluar la resistencia a la congelación y deshielo del concreto permeable, ya que no simula el desempeño en campo.

Para mejorar la resistencia del concreto permeable bajo condiciones de congelación y deshielo, es recomendable Incorporar un aditivo inclusor de aire en la mezcla de concreto permeable, Colocar un tubo de PVC en la base del agregado para capturar toda el agua y permitir que drene hacia fuera por debajo del pavimento y Utilizar una capa de 20 a 60 cm. de grueso de una base de agregado sin finos debajo del concreto permeable, de esta forma se evitará que el agua se congele y expanda al interior del elemento de concreto afectando su estado de servicio.

2.2.9 Resistencia a la abrasión

Todos los pavimentos o superficies de rodamiento están expuestos a un alto desgaste, en cuanto al concreto permeable podemos decir que este debe tener dentro de sus propiedades una alta resistencia a la abrasión, pues se ha observado que tal resistencia está relacionada directamente con la resistencia a compresión del concreto.

2.3 Disponibilidad de los Materiales

Según la Unidad General de Servicios Técnicos del Centro SCT Guerrero, en su inventario de bancos de materiales del año 2013, en la región centro se cuenta con bancos que pueden abastecer sin problema las necesidades de la industria de la construcción. Entre los más representativos se encuentran: el banco Cajeles, en el km 45+300, el banco Mazatlán en el km 20+060, el banco Cañada del zopilote en el km 194+600, banco el Quemado en el km 117+000 y Mezcala en el km 173+300.

El municipio de Chilpancingo de los bravo cuenta con los ríos Papagayo, Huacapa, Ocotito, Zoyatepec, Jaleaca y otros de menor importancia; tiene dos presas: una llamada Cerrito rico y la Fernando Galicia islas en la localidad de Rincón de la vía, sin embargo, en cuanto a la dotación del servicio de agua es complicada, debido a que no cuenta con fuentes de abastecimiento, a diferencia de otros municipios como Acapulco.

El cemento, es el material indispensable para la elaboración de un concreto, la mayoría de las propiedades del concreto son proporcionales a la cantidad de cemento de la mezcla. En la Región Centro el cemento se obtiene a través de distribuidores, mismos que reciben el producto directamente de las bodegas de las distintas plantas, como Cementos Moctezuma cuya planta de producción abastece la zona sur del país, está ubicada Carretera Tezoyuca – Tepetzingo km 1.9 Municipio de Emiliano Zapata.

La empresa cementera con mayor ventas en la zona centro es Cementos Tolteca que cuenta con un Centros de distribución en la carretera Chilpancingo - Tierra Colorada, Tlanxinha, Chilpancingo de los Bravo y una planta de producción en Ex hacienda San Lorenzo No. S/n Tepeaca, Puebla.

Cementos cruz azul, es una de las marcas que se distribuyen en la zona centro y tiene una planta de producción en Ex Hacienda La Noria Carretera Tecamachalco-Palmar de Bravo Km. 16 Palmar de Bravo, Puebla, que se encarga de abastecer la zona sur del país.

Cementos Holcim Apasco, cuenta con una planta a 98 km de la Capital del estado. en avenida Lázaro Cárdenas S/n Colonia La Sabana Acapulco De Juárez, Guerrero, Código postal 39903.

La disponibilidad y suministro de materiales en la Región hace suponer que un escenario de escases de cualquier componente para el concreto, será por causas extraordinarias diferentes de la capacidad de producción o extracción de los mismos.

3. PROCESO CONSTRUCTIVO Y SUSTENTABILIDAD

Existen sistemas constructivos determinados por las necesidades y condiciones particulares de cada sitio, factores como el tipo de suelo, el clima, los materiales de la región, e incluso la cultura de los obreros hacen que un proceso varíe de otro, sin embargo esto no significa que no se pueda obtener un producto de calidad. El proceso constructivo para este tipo de concreto aplicados principalmente a estacionamientos, calles o vías de tránsito ligero a moderado y para uso peatonal como banquetas y explanadas es el siguiente:

3.1 Proceso Constructivo

a) Abrir caja de 50 cm de profundidad por medios mecánicos. Para uso peatonal, la caja será de 15 a 20 cm, la profundidad de la excavación y el equipo a utilizar estará en función del tipo de suelo del sitio y el servicio que pretende brindar, (fig. 2).



Fig. 2. Excavación en el terreno.

b) Compactación del terreno natural por medios mecánicos, es recomendable usar vibro compactadores de rodillo liso hasta lograr una compactación al 95% proctor, (fig. 3). El grado de compactación y el equipo a utilizar dependen de la calidad del suelo del sitio y del tipo de servicio que se pretende brindar.

c) Abrir pozos de absorción de 1.0 x 1.0 x 1.0 m por cada 50 m² de superficie, o franjas de absorción a lo ancho de la vía, o en la parte más baja del terreno, de .60 m de ancho por 1.0 m de

Profundidad y rellenar con grava de ¾", Para uso peatonal abrir pozos de absorción de 0.5 x 0.5 x 0.50 m por cada 35 m² de superficie y rellenar con Grava de 3 a 6". En la fig. 4 se muestra un ejemplo de pozo de absorción.

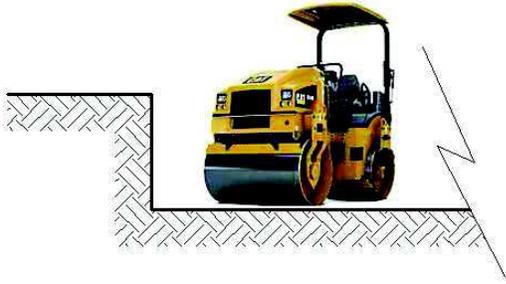


Fig. 3. Compactación del terreno

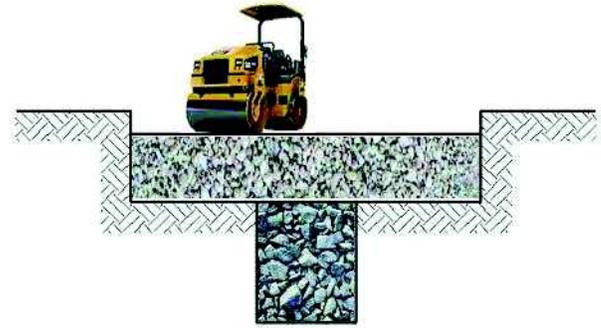


Fig. 6. Compactación de Capa de agregado.



Fig. 4. Pozo de absorción.

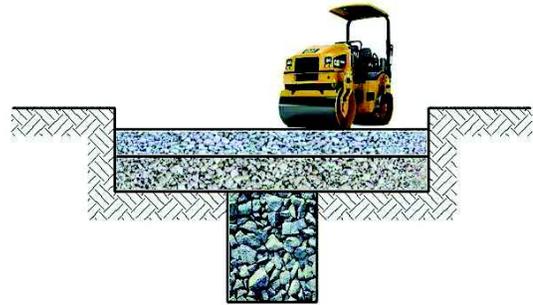


Fig. 7. Colocación y compactación de segunda capa de agregado.

d) Colocar sobre la subrasante una capa de geotextil no tejido, para proteger la subrasante, el traslape será de 40 cm. Para uso peatonal la colocación del geotextil es opcional. (Ver fig. 5).

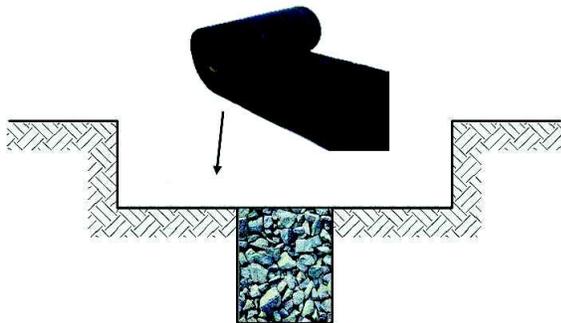


Fig. 5. Colocación de Geotextil.

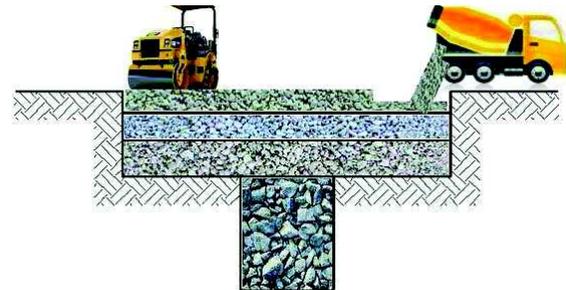


Fig. 8. Colado, nivelación y compactación del concreto.

e) Suministrar una capa de agregado de ¾ a 3/8" Compactar el relleno perfectamente por medios mecánicos, el espesor de la capa será de 20 a 30 cm según lo indique el proyecto. Para uso peatonal Colocar una base de grava de ¾" de 10 cm de espesor o según lo indicado en el proyecto. (Ver Fig. 6.)

f) Suministrar una segunda capa de agregado de ¾ a 3/8" compactar el relleno perfectamente por medios mecánicos como se muestra en la fig. 7. Para uso peatonal no es necesario colocar esta segunda capa de agregado y el espesor de la misma será según lo indicado en el proyecto.

g) En la fig. 8 se muestra el Colado, nivelación y compactación del concreto Se recomienda mezclar por medios mecánicos para cualquier aplicación.

h) Curado (fig.9). Se recomienda la impregnación de aditivo o la colocación de una cubierta de polietileno durante 2 días.

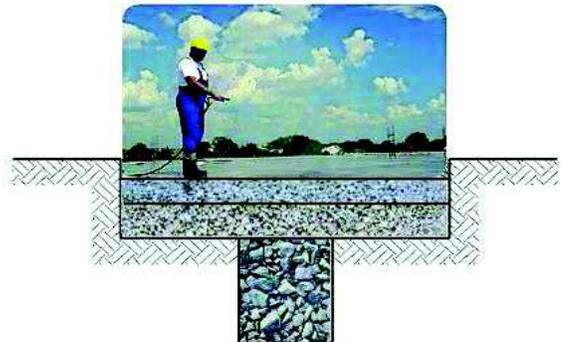


Figura 9. Curado del concreto.

i) Corte del pavimento con disco a una profundidad de 2.5 cm a cada 6.0 m como se muestra en la fig. 10. Debido a que este concreto sufre menor contracción que el concreto convencional, se pueden reducir o suprimir el número de cortes.

j) Al tercer día, se le puede proporcionar color a la carpeta de forma manual, con aspersor, cepillo o brocha, a las 24 horas de aplicada la pintura se puede abrir el paso a la circulación vehicular y peatonal. Ver fig. 11.

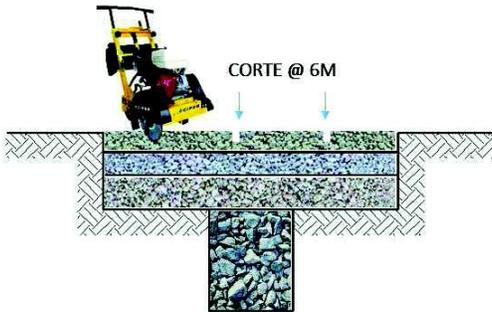


Fig. 10. Corte de Concreto.



Fig. 11. Aplicación de pintura.

Básicamente, el concreto permeable se puede aplicar con cualquier proceso constructivo convencional, la cantidad y dimensión de los pozos de absorción dependen de las necesidades de quien va a construir, puede utilizarse incluso como obra para captación con la correcta utilización de un dren y un sistema de filtro de diferentes granulometrías.

3.2 Sustentabilidad

La principal virtud del concreto permeable es el adecuado manejo del agua de lluvia, cualidad reconocida positivamente por organismos internacionales como la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés).

La elevada permeabilidad de este concreto, es una solución al problema del escurrimiento superficial proveniente de las aguas pluviales, cuando se usa como sistemas de pavimentos de concreto permeable, evitando los encharcamientos. Otro beneficio asociado a su uso está relacionado con su capacidad de permitir la filtración de los contaminantes de los automóviles, lo que impide la contaminación de áreas adyacentes, como sucede con las superficies impermeables. Además, cuando se usa en combinación con áreas verdes, la estructura porosa permite el

ingreso de agua y oxígeno, necesario para el crecimiento de las plantas que dan sombra y calidad al aire.

Además de aportar beneficios al medio ambiente, este concreto permite la filtración del agua, de esta forma favorece la recarga de mantos acuíferos, en ciudades donde extraen el agua del subsuelo para su consumo, como la ciudad de Guadalajara y La Ciudad de México si se aplica este material se pueden disminuir estos asentamientos que se producen al sobreexplotar los mantos acuíferos, este efecto causa también daños a las estructuras en la zona.

4. COMPARATIVA DE COSTOS

En la industria de la construcción, se aplican y ofrecen una amplia gama de productos y servicios, como proveedor es necesario mantenerse vigente en el mercado, esto se logra al fabricar productos competentes en cuanto a calidad y precio de venta, uno de los factores más representativos al momento de concebir, proyectar y ejecutar una obra, a continuación se muestra la comparativa entre el concreto permeable y otras alternativas para recubrir espacios como vías de tránsito ligero, banquetas, ciclo pistas, parques y explanadas públicas o privadas.

En la fig. 12, se muestra como en cuanto a construcción sustentable el concreto permeable se encuentra por encima del material convencional y ahorra un 40% de energía y 20% de agua en su elaboración, utilizar concreto permeable reduce las emisiones de CO₂ durante el proceso de fabricación y/o extracción de sus componentes, por último, en la gráfica apreciamos que el concreto permeable o sin finos, tiene un precio del orden del 85% del concreto convencional.

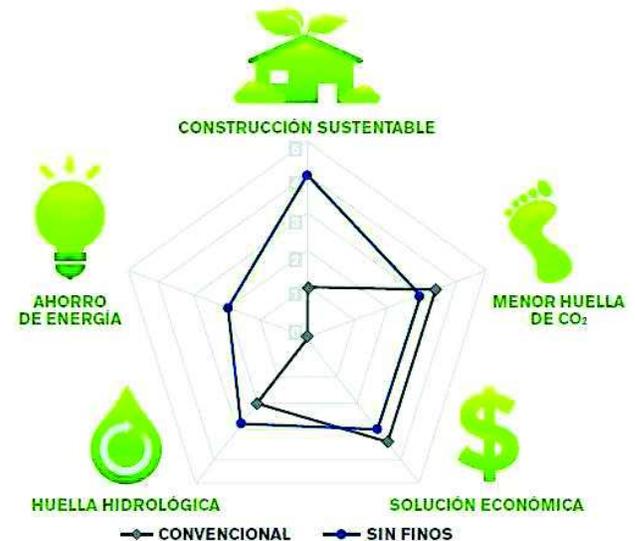


Fig. 12. Comparativa de los factores más representativos entre el concreto convencional y permeable (Ficha Técnica concreto especial Sin Finos Cemex 2015).

5. CONCLUSIONES

El concreto permeable presenta ventajas y desventajas, dentro de estas últimas es relevante la resistencia a la compresión ante el concreto convencional y es debido a su alta permeabilidad, si se

necesita un concreto más resistente, la permeabilidad disminuye, y si se necesita un alto porcentaje de permeabilidad se sugiere utilizar un aditivo para no disminuir su resistencia, sin embargo, esto no reduce su campo de aplicación, la característica más importante del concreto permeable es su capacidad de drenar líquidos a través de su estructura.

Con la aplicación de este material en distintas superficies se obtiene un impacto positivo, ya descrito anteriormente, las consecuencias de la contaminación ambiental, en los últimos años se han manifestado con tal magnitud que ha cobrado vidas humanas y daños multimillonarios en la infraestructura del país.

Permitiendo el paso del agua a los mantos acuíferos utilizando materiales drenantes o permeables, se reduce la escases de agua, los asentamientos ocasionados por extracción, y el ciclo del agua se lleva a cabo de una manera más sustentable a la actual, donde se interrumpe este proceso tan importante que es la recarga de los mantos acuíferos.

El concreto permeable es una alternativa que ofrece capacidad estructural, impactos positivos al medio ambiente y en base al análisis de disponibilidad de los materiales, se concluye que es factible utilizar este material en cualquier superficie, sin embargo en esta zona del estado, así como en las otras regiones, la sociedad carece de ética ecológica y el factor más representativo al momento de decidir la utilización de un material es el económico, afortunadamente el precio de este concreto como se representa en la fig. 12. Es menor en de un 10 a un 15% aproximadamente.

Un verdadero cambio en el medio ambiente, se debe concebir desde la cuna, la sociedad debe inculcar valores a los más pequeños, para que el cambio sea progresivo y tenga una base sólida, no es suficiente la invención de materiales y productos que ayuden a la ecología, sino más bien, los materiales que se aplican en la actualidad, utilizarlos de una manera más responsable y sustentable, bien es cierto que el desarrollo urbano y comercial no se puede detener, pero, se pueden implementar técnicas y procesos constructivo, que no hagan del desarrollo un sinónimo de “ecocidio”.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Fabiel González, y Leonel Nava por facilitar y compartir información muy valiosa sobre su proyecto de investigación desarrollado en el Laboratorio de Materiales de la UAI.

7. REFERENCIAS

- [1] Bello E. (2012) *Usos, aplicaciones y procedimientos constructivos de pavimentos verdes*. Tesis de licenciatura, Ingeniero Constructor. Chilpancingo, México, Unidad Académica de Ingeniería, Universidad Autónoma de Guerrero – CU Sur.
- [2] Bravo H. (2007) *Resistencia mecánica y condiciones de obra del concreto poroso en los pavimentos según el tipo de granulometría*. Tesis de licenciatura. Universidad de Medellín, Facultad de Ingenierías
- [3] Cuevas A. (2006) *Ingeniería de materiales.*, Apuntes. Chilpancingo, México, Unidad Académica de Ingeniería, Universidad Autónoma de Guerrero – CU Sur.
- [4] González F. y Nava L. (2013) *Determinación de las características físicas y mecánicas del concreto permeable sin aditivo, con un $f'c=250\text{kg/cm}^2$ hecho en obra con agregados de la región*. Tesis de licenciatura, Ingeniero Constructor. Chilpancingo, México, Unidad Académica de Ingeniería, Universidad Autónoma de Guerrero – CU Sur.
- [5] Marín E. (2010) *Procesos constructivos de microconcreto y ferrocemento*, Tesis de licenciatura, Ingeniero Constructor. Chilpancingo, México, Unidad Académica de Ingeniería, Universidad Autónoma de Guerrero – CU Sur.
- [6] Imcyc. (2011) “Concreto permeable: alternativas sustentables”. *Construcción y tecnología en concreto*. [En línea] 03 junio 2011 Instituto mexicano del cemento y el concreto. Disponible en <http://www.imcyc.com/revistacyt/jun11/arttecnologia.htm> [Enero 2015].