



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA

VICERRECTORADO ACADÉMICO

DIRECCIÓN DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES

MEMORIA DE ARTÍCULOS

DOMINIO 8

NUEVAS TECNOLOGÍAS APLICADAS AL TERRITORIO



**I Congreso Internacional de Ciencia
y Tecnología UTMACH 2015**





I CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA UTMACH 2015

Memoria de Artículos

centro_de_investigaciones@utmachala.edu.ec



CONCRETO POROSO: CONSTITUCIÓN, VARIABLES INFLUYENTES Y PROTOCOLOS PARA SU CARACTERIZACIÓN

Sandra Cabello², Paola Zapata¹, Andrei Pardo¹, Andrea Romo¹, Luisana Campuzano¹,
Jesús Espinoza¹ y Carlos Sánchez¹.
Universidad Técnica de Machala ¹

Becario Prometeo de la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación 2
scabellouc@gmail.com ²

RESUMEN

El trabajo presentado abarca una exposición del estado del arte del concreto poroso, como preámbulo de un proyecto de investigación que se desarrolla en la Unidad Académica de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Machala, y cuyo propósito es la evaluación del uso potencial del concreto poroso en construcciones del Cantón Machala, donde el nivel de escorrentía superficial lo justifique. Para ello, se ha hecho necesaria una revisión de la literatura, aquí expuesta, donde se han definido parámetros de especial consideración en la dosificación de mezclas permeables. La revisión comprende la definición del concreto poroso en términos de sus componentes principales: cemento, agregado grueso, agua, aditivos y arena, en poca o ninguna cantidad, para provocar la generación de un importante contenido de vacíos interconectados que posibiliten el rápido drenaje pluvial. Dados los reportes de variables de alta incidencia en el comportamiento mecánico del concreto poroso (relación resistencia/permeabilidad) se justifica una indagación, para sintetizar los efectos de las variables en la preparación de la mezcla: proporción agua/cemento, granulometría y morfología de los agregados, presión de compactación, técnicas de curado, entre otros. Asimismo, se exponen los protocolos para la caracterización del concreto poroso y aspectos adicionales que se consideran relevantes para sustentar la fase experimental, que constituirá una referencia o punto de anclaje para el desarrollo de tecnologías asociadas con la fabricación de este material y las posibilidades de implementación en construcciones del Cantón Machala de la Provincia de El Oro, Ecuador.

Palabras clave: Concreto poroso, concreto permeable, drenaje pluvial, infiltración.

ABSTRACT

The presented work covers a state of the art exhibition of porous concrete, as a preamble of a research project that develops the Academic Unit of Civil Engineering at the Technical University of Machala, whose purpose is to evaluate the potential use of porous concrete in construction of Canton Machala, where the level of surface runoff justified. For this, the paper shows a review of the literature which has been defined parameters for special consideration in the dosage of permeable mixtures has become necessary.

The literature review includes the definition of cellular concrete in terms of its main components: cement, coarse aggregate, water, additives and sand, in little or zero quantity, to cause the generation of a significant content of interconnected voids that allow the rapid storm drains. Front of the variable's reports of high incidence in the mechanical behavior of porous concrete (strength / permeability relationship) is warranted an inquiry to synthesize the effects of variables in the preparation of the mixture: water / cement ratio, particle size and morphology added, compaction pressure, curing techniques, among others. Furthermore, the paper exposes the protocols to the characterization of porous concrete and additional aspects considered relevant to support the pilot phase, which will be a reference or anchor point for the development of diseases associa-

ted with the manufacture of this material technologies and its possibilities of implementation in constructions inside 'Machala' canton in 'El Oro' province, Ecuador.

Keywords: Concrete porous, permeable concrete, storm drainage, infiltration.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de los últimos años, se ha registrado a nivel mundial un elevado impacto ambiental como consecuencia de los cambios climáticos. El aumento progresivo de la población, aunado a la consecuente urbanización de espacios, ha contribuido a acrecentar la problemática (Subramanian, 2008).

La provincia de El Oro, en Ecuador no escapa a esta realidad. Periódicamente, se ve afectada por fenómenos climáticos naturales (Fenómeno de El Niño, Fenómeno de la Niña), provocando inundaciones y graves daños, principalmente en la zona baja de la misma.

En la principal cabecera cantonal de la provincia de El Oro, además de las precipitaciones, se suma el problema de un sistema de captación de aguas lluvia deficiente, que no abastece la evacuación de las aguas lluvias, generando malestar e incomodidad entre sus pobladores; ya que impide la movilización de los mismos dentro de la ciudad.

Por otra parte, la escasez del agua también complica la situación. Lo anterior se agrava por la pavimentación en ocasiones, sin planificación, de caminos, plataformas y áreas que rodean las edificaciones con concreto impermeable, que ocasiona fugas e inundaciones con agua de lluvia.

Es ampliamente conocido (Castro y col., 2009) que el extenso uso de pavimentos impermeables trae consigo, especialmente en áreas de un importante desarrollo urbano, considerables problemas en la evacuación de las aguas de lluvia y las condiciones de escurrimiento aguas abajo. El uso inapropiado de este tipo de estructuras en áreas urbanas, disminuye notoriamente la capacidad de recarga natural de agua en los terrenos e incrementa de forma considerable tanto el volumen como el caudal del escurrimiento superficial, aumentando el riesgo de provocar inundaciones en los sectores más bajos de las urbanizaciones.

Adicionalmente, cuando el agua de lluvia escurre, arrastra consigo materiales sólidos y varios contaminantes depositados en las calles y estacionamientos, contaminándola. Para atenuar estos efectos, en los últimos años se ha desarrollado a nivel mundial un modelo alternativo de diseñar los pavimentos de estacionamientos y calles de bajo tránsito, construyendo estructuras que permiten el paso del agua a

través de la capa superficial hacia su interior, donde se almacena para ser infiltrada si el terreno lo permite, o para ser reconducida a un sistema de recolección de forma controlada (Solminihac y col., 2007). De tal forma que los pavimentos de concreto poroso ofrecen una solución alternativa a la problemática de inundaciones y a los problemas vinculados con la contaminación de agua.

El hormigón poroso es una mezcla de cemento, agua y árido grueso de un solo tamaño que, al combinarlos, producen un material estructural poroso. La principal característica es su elevada permeabilidad, dada por el elevado contenido de vacíos, lo que resulta en su naturaleza ligera y de menor resistencia, si se le compara con el hormigón tradicional o impermeable (Aire y col., 2013).

Entre otras ventajas de las texturas superficiales porosas está el hecho de que absorben las emisiones de ruido de los vehículos y minimizan la película de agua que se forma durante las lluvias, dando así como resultado unas condiciones de conducción más seguras. El elevado contenido de poros en la superficie ayuda a reducir la generación de salpicaduras de agua y la reflexión de brillos (Vorobieff y col., 2009).

El concreto poroso aplicado como pavimento permeable ha adquirido especial atención en la última década debido a que el calentamiento global está provocando sequías en muchos países a nivel mundial, obligando a impulsar en los países, medidas de conservación del agua, donde los pavimentos permeables constituyen una atractiva alternativa, porque proporcionan una forma de construcción de ciudades sostenibles, al permitir el tratamiento de las aguas superficiales de lluvia, infiltrando esta agua al subsuelo, recargando los mantos acuíferos o permitiendo el almacenamiento de estas aguas en tanques para luego reutilizarlas para el sistema de riego en parques, inodoros de zonas residenciales, agua para uso industrial, entre otros (Aire, 2008), (Calderón y col., 2013).

La aplicación del concreto poroso en diversos países es diversa. Los pisos y pavimentos permeables han sido utilizados con éxito en México desde el año 1996 y en los Estados Unidos desde 1999, bajo todo tipo de climas y condiciones climáticas. Actualmente, se encuentran bajo análisis en otros 24 países, para aplicaciones en aceras, vías residenciales y/o

de bajo tráfico (estacionamientos), y tomado como medida ecológica ayuda a la recuperación de los mantos acuíferos.

Se ha llegado a iniciar estudios relacionados con la predicción de la permeabilidad (Neithalath y col., 2012), específicamente la conectividad de la estructura de poros y su efecto en la circulación del agua en el interior de una mezcla de concreto.

(Vélez, 2010) ha realizado estudios de permeabilidad y porosidad en concreto y entre sus hallazgos más relevantes están que la permeabilidad es controlada principalmente por la porosidad de la pasta de cemento. Sin embargo, refiere que la permeabilidad no es una función simple de la porosidad ya que es necesario que los poros se encuentren interconectados, es decir, que para los mismos niveles de porosidad, el concreto poroso puede tener diferentes valores de permeabilidad si sus poros se interconectan en forma ininterrumpida o no.

El proyecto que se encuentra en desarrollo en la Unidad Académica de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Machala, pretende hacer una caracterización del concreto poroso en función de parámetros que de acuerdo a la literatura consultada se han considerado más influyentes en la obtención de una adecuada relación permeabilidad/resistencia. Entre estos parámetros se han identificado los siguientes: proporción agua/cemento, morfología y granulometría del agregado.

En consecuencia, podrá evaluarse la utilización del concreto poroso como una alternativa para la construcción de obras civiles en la Provincia de El Oro, Ecuador, basado en la investigación científica, en la caracterización previa del material para su consecuente evaluación como potencial material sustituto en obras que así lo justifiquen.

A continuación se exponen parámetros de especial consideración en la dosificación de mezclas permeables. La revisión comprende la definición del concreto poroso en términos de sus componentes principales, efectos de las variables en la preparación de la mezcla: proporción agua/cemento, granulometría y morfología de los agregados, presión de compactación, técnicas de curado, entre otros. Asimismo, se exponen los protocolos para la caracterización del concreto poroso y aspectos adicionales que se consideran relevantes para sustentar la fase experimental, que constituirá una referencia o punto de anclaje para el desarrollo de tecnologías asociadas con la fabricación de este material y las posibilidades de implementación en construcciones del Cantón Machala de la Provincia de El Oro, Ecuador.

Concreto poroso

Definición y generalidades

El concreto poroso o permeable es un concreto de desempeño fabricado a partir de cantidades controladas de cemento, agregado grueso, aditivos, agua y poca o nada de finos (arena). 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 del agua. El contenido de vacíos puede variar de un 18 a un 35 por ciento, con resistencias a compresión típicas de 2,8 a 28 MPa. Esta mezcla constituye estructura de célula abierta, permitiendo al agua de lluvia infiltrarse al suelo subyacente. De modo que simulando la superficie de tierra natural, el hormigón permeable es excelente para la evacuación de agua de lluvia.

Al concreto permeable también se le conoce como concreto poroso, concreto sin agregados finos, concreto discontinuo y concreto de porosidad incrementada.

Los concretos sin finos transmiten las cargas en forma heterogénea a diferencia de los concretos convencionales que lo hacen en forma homogénea. En los concretos sin finos la transmisión de cargas se realiza por puntos de contacto, originando que las cargas sean repartidas en forma aleatoria, dando como resultado que éstas sean distribuidas en una superficie mucho mayor. La transmisión heterogénea de las cargas provoca que la superficie sobre la cual éstas se reparten, sea varias veces mayor al producto de la repartición de cargas en un piso hecho con un concreto convencional o con asfalto. Aunado a esto, las bases diseñadas para pisos permeables son más económicas, más eficientes y no generan baches. Adicionalmente, dada la repartición heterogénea de las cargas, casi nunca hace falta mejorar el terreno natural.

Lo último en control de fugas de agua de lluvias es el concreto permeable, aunque su aplicación data de 1852 (Subramanian, 2008). El concreto permeable tiene 15-25% de estructura vacío, lo que permite el paso de 120-130 litros de agua a través de cada metro cuadrado, con una tasa de flujo típica de 3,4 mm/s (200 l/m²/min) o más. Esta tasa de flujo es mayor que el generado durante cualquier evento de lluvia, lo que permite al agua fluir a través de este. Por lo tanto, cuando se usan pavimentos de concreto permeable, el agua de lluvia se filtra debajo del suelo, recargando la capa freática natural en lugar de fugarse y causar erosión.

En el caso del concreto permeable, cuando el agua filtra hacia el suelo, una bacteria orgánica encontrada

en los suelos descompone los contaminantes orgánicos. Los hidrocarburos (por ejemplo aceite de motor y gasolina) se adhieren a la gran superficie del concreto permeable o al agregado bajo la base y se reducen por atenuación natural, ya sea por evaporación o degradación biológica. También, mecánicamente filtra grandes pedazos de metal o material biológico para recolección posterior durante mantenimiento de rutina. Por lo tanto, la mayoría de los contaminantes del primer raudal es retirado mediante el sistema de concreto permeable. La Agencia Estadounidense de Protección al Medio Ambiente (EPA, 1999) ha designado al concreto permeable como la mejor práctica de administración para la fuga de agua de lluvia.

El pavimento permeable puede usarse tanto para tráfico vehicular como peatonal. También se le puede utilizar para pavimentar algunas calles, para cavidades de árboles e incluso estructuras cercanas al mar. También se usan para recolectar y redirigir agua pluvial a tanques de retención para su posterior uso en irrigación.

Dada la naturaleza abierta de la matriz, la resistencia a la compresión de los pavimentos de concreto permeable adecuadamente colocados puede estar en el intervalo de 3,5 a 28 MPa, y las resistencias a la flexión en el intervalo de 1 a 3,8 MPa, lo cual es adecuado para la mayoría de las aplicaciones de pavimentos de bajo volumen, incluyendo las cargas de eje largo.

Típicamente, el concreto permeable de 150 mm de grosor proporciona resistencia adecuada para estacionamientos de playa y caminos de entrada residenciales; los pavimentos con un grosor de 200 a 250 mm son apropiados para calles de bajo volumen y caminos de entrada comerciales. Los pavimentos permeables no deberían usarse para calles de alto volumen o pavimentos que esperan tráfico pesado de camiones. El grosor máximo de pavimento que puede colocarse y compactarse adecuadamente se encuentra en el orden de los 250-300 mm.

En áreas donde las capas freáticas subterráneas se elevan a menos de 1 m de la superficie, o donde existe substancial flujo de humedad de las áreas circundantes más altas, no se recomienda el concreto permeable (Subramanian, 2008). En el caso de los pavimentos porosos, está contraindicado en zonas o terrenos con suelos impermeables, regiones climáticas con permanentes ciclos hielo-deshielo, regiones áridas o con un alto tráfico, o donde exista alta posibilidad de colmatación (EPA, 1999).

Materiales del concreto poroso

El cemento Portland ordinario es uno de los mate-

riales para la construcción más empleado en la producción de concreto, debido fundamentalmente, a las excelentes propiedades mecánicas que presenta en estado endurecido. La hidratación del cemento es la reacción de uno de sus componentes con el agua, formando lo que se conoce como pasta, la relación agua/cemento oscila en el intervalo 0,3-0,6 afectando la plasticidad, hidratación y propiedad del material hidratado. La pasta del cemento fresco, fragua y gana resistencia posteriormente al endurecimiento. El fraguado significa la pérdida repentina de plasticidad de la pasta original y una conversión a material en estado sólido con escasa resistencia, y el endurecimiento como el desarrollo de la resistencia que siguen al fraguado de la pasta (Vélez, 2008).

Los áridos se consideran como un material inerte disperso en la pasta de cemento, y utilizados como refuerzo en un material compuesto, se utiliza con la función de brindarle al concreto estabilidad volumétrica y mejorar la durabilidad. Generalmente, son materiales pétreos con una condición saturada y superficialmente seca, y su masa tiene gravedad específica aparente para que el agua contenida en todos los poros del agregado no incida en la reacción química del cemento, y pueda considerarse en el diseño de la mezcla como parte del agregado.

El agua, desempeña un papel importante, hidratar al cemento Portland, por medio de reacciones químicas y por tanto, las impurezas del agua pueden interferir con el fraguado del cemento, afectar adversamente la resistencia del concreto o causar muchas en su superficie, y también pueden conducir a la corrosión del refuerzo, inestabilidad del volumen y reducción de la durabilidad. Por estas razones, debería tomarse en cuenta la conveniencia del agua para mezclado y los propósitos del curado. El agua de mezclado no deberá contener cantidades indeseables de sustancias orgánicas ni constituyentes inorgánicos en proporciones excesivas, ni impurezas como álcalis, ácidos, materia vegetal, aceites, aguas residuales, cantidades excesivas de limo. El agua constituye del 14-18% del volumen de la mezcla.

Variables influyentes en las propiedades del concreto poroso

La resistencia y permeabilidad obtenidas con un concreto poroso están determinadas por la mezcla que se va a utilizar. Las variables que afectan el comportamiento del hormigón poroso son: granulometría, dosis de cemento, relación agua/cemento y contenido de vacíos. Sin embargo, el diseño exitoso de mezcla debe probarse en lotes de ensayo para establecer las propiedades requeridas (tiempo de asentamiento, tasa de desarrollo de resistencia, po-

rosidad y permeabilidad). A diferencia del concreto convencional, la relación entre resistencia y agua a materiales cementosos no está clara para el concreto permeable.

A continuación se citan algunos factores reportados en la literatura:

- **Granulometría:** resulta fundamental en las propiedades que tendrá el hormigón poroso. Se debe utilizar árido chancado con ausencia casi total de finos, pues impermeabilizarían la mezcla; tener un tamaño de grano bastante uniforme para obtener un porcentaje elevado de vacíos (del orden del 40%) y un tamaño máximo de árido de 10 mm para permitir una adecuada terminación superficial.
- **Dosis de cemento:** una mayor dosis de cemento generará un hormigón más resistente, pero demasiado cemento disminuirá el porcentaje de vacíos interconectados en el hormigón, perdiendo su capacidad de infiltración. Se ha reportado como recomendable una dosis que fluctúe en el intervalo 350-400 kg/m³, según requisitos de resistencia y permeabilidad.
- **Dosis de agua:** tiene una gran repercusión en las propiedades de la mezcla. Una cantidad insuficiente de agua, resultará una mezcla sin consistencia y con una baja resistencia. Una cantidad excesiva de agua, generará una pasta que sellará los vacíos de la mezcla y que, además, lavará el cemento desde la superficie del agregado, produciendo una baja resistencia al desgaste superficial.
- **Relación agua/cemento:** se ha reportado que la relación agua/cemento es una covariable, determinada por la cantidad y tipo de cemento y por la granulometría empleada. Se suele utilizar como criterio para determinar este valor, el encontrar la cantidad de agua con la cual la pasta adquiere un brillo metálico. Generalmente este valor está en el intervalo de 0,3 a 0,6.
- **Contenido de vacíos:** con un elevado contenido de vacíos, aumenta la permeabilidad y disminuye la resistencia. Este porcentaje de vacíos está determinado por la energía de compactación entregada, junto con las variables ya mencionadas. Para que una mezcla sea considerada porosa, debe tener como mínimo un 15% de huecos. Se recomienda además que este contenido no supere el 25% por la

poca estabilidad de la mezcla. El porcentaje de espacio vacío es parcialmente dependiente del tamaño de agregado utilizado: agregado de 10 mm produce 15 a 25 por ciento de contenido de vacío; roca de 12 mm produce 30 a 40 por ciento de contenido de vacío y una superficie notoriamente más áspera. En el caso de pavimento permeable el máximo tamaño del agregado está restringido a un tercio del grosor especificado del pavimento. Se puede utilizar agregado más grande, pero la textura es tan áspera que no es adecuado para muchas aplicaciones de pavimentación.

Protocolos para la caracterización del concreto poroso

En la fase de caracterización del concreto poroso; y haciendo referencia a los protocolos correspondientes al producto final (concreto), se encuentran los ensayos siguientes:

- Ensayo de compresión: a los 7, 14, 21 y 28 días: Se realiza uno por cada dosificación y tiempo de fraguado.
- Ensayo de flexotracción a los 28 días: corresponde a la aplicación de la carga en los tercios, ensayando 3 prismas por cada dosificación.
- Ensayo de Arquímedes: es utilizado para cuantificar el porcentaje de huecos en el hormigón, a partir del principio de Arquímedes del peso sumergido, desarrollando un ensayo por cada prisma.
- Ensayo de Permeabilidad: permite conocer el coeficiente de permeabilidad, que caracteriza al concreto de poroso. Para ello, se utiliza un permeámetro de carga variable, donde se ensayan muestras de 10 cm de diámetro por 15 cm de alto y finalmente, se determina el coeficiente mediante la Ley de Darcy.

Estos ensayos, que corresponden al producto ya formulado (concreto) así como aquellos realizados a los componentes del concreto, deben ser realizados según las Normas ACI y/o ASTM.

CONCLUSIONES

1. El concreto permeable representa una alternativa de construcción frente al problema de inundaciones, agotamiento de los mantos acuíferos y escasez de agua, que a su vez brinda ventajas adicionales como absorción de la emisión de ruido de vehículos y al disminuir la película de agua de lluvias, propi-

cia condiciones de conducción más seguras, entre otras.

2. Los componentes del concreto poroso son: agua, cemento, agregado grueso, aditivos (opcional) y poco o nada de agregados finos; que combinados en las proporciones adecuadas de agua/cemento y seleccionando la morfología y granulometría apropiada de los agregados, puede brindar una adecuada relación permeabilidad/resistencia, dependiendo de la aplicación.
3. La caracterización del concreto poroso implica la realización de ensayos de compresión, flexotracción, permeabilidad y porcentaje de vacíos de acuerdo a las normas ACI y ASTM, aunado a la caracterización preliminar (de rutina) que corresponde a cada uno de sus componentes.

ble-un material ecológico que contribuye al ahorro de los recursos hídricos frente a la escasez del agua. Disponible en internet: http://www.asocem.org.pe/web/-infor_esp/informe%20especial-julio09.pdf

- Vélez, L. (2008). *Materiales Industriales, Teoría y Aplicaciones*. ISBN: 978-958-8351-60-5. Medellín: Fondo Editorial ITM.
- Vélez L. (2010). Permeabilidad y porosidad en concreto. *Revistas Tecnológicas*. N° 25.
- Vorobieff, G. & Donald, G. (2009). Superficies seguras de rodadura para carreteras de hormigón poroso. *Carreteras*. Número 165.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aire, C. (2008). El hormigón permeable como alternativa sostenible. *Cemento Hormigón*. N° 920.
- Aire C., Calderón Y., Charca J. y Yanqui C. (2013). Hormigón poroso. Estudio experimental usando áridos naturales y reciclados. *Cemento Hormigón*, N° 956.
- Calderón, C., Charca, J. y Yanqui, M. (2013). Investigación en concreto poroso. *Boletín Informativo Asocem*.
- Castro J., Solminihac H., Videla C. y Fernández B. (2009). Estudio de dosificaciones en laboratorio para pavimentos porosos de hormigón. *Revista Ingeniería de Construcción*. Vol 24.
- EPA (1999). *Storm Water Technology Fact Sheet, Porous Pavement*, EPA 832-F-99-023. Washington, D.C., Estados Unidos.
- Neithalath, N., Bentz, D., P. & Sumanasooriya (2012). Predicción de la permeabilidad en el concreto permeable. *Construcción y tecnología en concreto*. 20-23. Consultado en www.imcyc.com
- Solminihac, H., Videla, C, Fernández, B. y Castro, J. (2007). Desarrollo de mezclas de hormigón poroso para pavimentos urbanos permeables. *Materiales de Construcción*. Vol. 57.
- Subramanian, N. (2008). *Concreto permea-*