



Análisis del concreto permeable como alternativa de evacuación de aguas superficiales en la provincia de Manabí

Analysis of permeable concrete as an alternative for evacuation of surface waters in the province of Manabí

Análise do concreto permeável como alternativa para evacuação de águas superficiais na província de Manabí

Frank Octavio Gutiérrez-Solórzano ^I
fgutierrez7582@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0005-0992-399X>

Anadelys Alonso-Aenlle ^{II}
anadelys@civil.cujae.edu.cu
<https://orcid.org/0000-0003-2625-2129>

Correspondencia: fgutierrez7582@utm.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 03 de febrero de 2024 * **Aceptado:** 22 de marzo de 2024 * **Publicado:** 15 de abril de 2024

- I. Estudiante de Posgrado, Maestría En Ingeniería Civil Mención Vialidad Cohorte 1, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.
- II. Doctor en Ciencias Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" Cujae, Profesora del Departamento de Construcciones y Viales de la Facultad de Ingeniería Civil, Ecuador.

Resumen

El concreto permeable es un material de construcción sustentable, por su alto grado de porosidad permitiendo el paso del agua a través de su estructura filtrable al terreno natural. El presente artículo tiene como objetivo principal diseñar un concreto permeable con los áridos de las canteras de Megarock y Uruzca sin el empleo de aditivos, logrando satisfacer la resistencia establecida, brindando una alternativa de solución para la evacuación de aguas superficiales provocadas por las lluvias y evitando el efecto de hidroplaneo. Para ello, se empleó una metodología con enfoque cuantitativo, de tipo documental y experimental, usándose las normas NTE INEN, ASTM y ACI para los ensayos. Se realizó un diseño de mezcla con una relación A/C de 0,45 y con un 17% de vacíos, obteniéndose una resistencia a la compresión de 216,90 kg/cm² con el empleo de áridos de la cantera Megarok y 218,08 kg/cm² para la cantera Uruzca, cumpliéndose el valor de diseño de 210 kg/cm². Se demuestra que es posible fabricar un concreto permeable con los áridos de las dos canteras empleadas para el estudio. De acuerdo a los resultados, con este concreto se puede construir vialidades de bajo tráfico como caminos para peatones, ciclistas, áreas de estacionamiento, así como también para la construcción de plazas o plazoletas, aceras, entre otras.

Palabras clave: concreto permeable; resistencia; porosidad; normas; bajo tráfico.

Abstract

Permeable concrete is a sustainable construction material, due to its high degree of porosity, allowing water to pass through its filterable structure to the natural terrain. The main objective of this article is to design a permeable concrete with the aggregates from the Megarock and Uruzca quarries without the use of additives, managing to satisfy the established resistance, providing an alternative solution for the evacuation of surface waters caused by rains and avoiding the hydroplaning effect. To do this, a methodology with a quantitative, documentary and experimental approach was used, using the NTE INEN, ASTM and ACI standards for the tests. A mix design was carried out with a W/C ratio of 0.45 and 17% voids, obtaining a compressive strength of 216.90 kg/cm² with the use of aggregates from the Megarok quarry and 218.08 kg/cm² for the Uruzca quarry, meeting the design value of 210 kg/cm². It is shown that it is possible to manufacture permeable concrete with the aggregates from the two quarries used for the study. According to the results, with this concrete you can build low-traffic roads such as paths for pedestrians, cyclists, parking areas, as well as for the construction of squares or small squares, sidewalks, among others.

Keywords: permeable concrete; endurance; porosity; rules; low traffic.

Resumo

O betão permeável é um material de construção sustentável, devido ao seu elevado grau de porosidade, permitindo que a água passe através da sua estrutura filtrável até ao terreno natural. O principal objetivo deste artigo é projetar um concreto permeável com os agregados das pedreiras Megarock e Uruzca sem a utilização de aditivos, conseguindo satisfazer a resistência estabelecida, proporcionando uma solução alternativa para a evacuação de águas superficiais causadas pelas chuvas e evitando o efeito de aquaplanagem. Para isso, foi utilizada uma metodologia com abordagem quantitativa, documental e experimental, utilizando para os testes as normas NTE INEN, ASTM e ACI. Foi realizado um projeto de mistura com relação A/C de 0,45 e 17% de vazios, obtendo-se uma resistência à compressão de 216,90 kg/cm² com a utilização de agregados da pedreira Megarok e 218,08 kg/cm² para a pedreira Uruzca, atendendo ao projeto valor de 210 kg/cm². Mostra-se que é possível fabricar concreto permeável com os agregados das duas pedreiras utilizadas para o estudo. De acordo com os resultados, com este concreto é possível construir vias de baixo tráfego como caminhos para pedestres, ciclistas, áreas de estacionamento, bem como para construção de praças ou pracinhas, calçadas, entre outros.

Palavras-chave: concreto permeável; resistência; porosidade; regras; baixo tráfego.

Introducción

Las precipitaciones abundantes provocan inundaciones que en muchos de los casos se confirman pérdidas de vidas humanas y bienes materiales. Este fenómeno atmosférico de tipo hidrometeorológico es natural, que ocurre en la temporada de lluvia anual, produciendo aluviones y deslizamientos de tierra en todo el mundo. Sin embargo, estas pueden presentar algunas anomalías, que también son consideradas como acontecimientos poco comunes. Vera (2021), revela que el incremento en la frecuencia y en la intensidad de las lluvias excesivas es uno de los impactos del calentamiento global. Actualmente, el fenómeno de El niño se presenta regularmente por 4 meses por el flujo de aguas cálidas, ocasionando una anomalía positiva de temperatura igual o mayor al valor de la desviación estándar (Vallecilla, et al., 2022).

De acuerdo a las Naciones Unidas (2020), América Latina y el Caribe es “la segunda región más propensa a desastres naturales en el mundo” y las inundaciones son la catástrofe más frecuente que ocurre. En Ecuador, durante los últimos 35 años ha existido una periodicidad de incidentes naturales, categorizadas con un 44% en inundaciones y fuertes lluvias como las más lesivas y destructivas (El Universo, 2020), provocando múltiples daños dentro y fuera de los centros urbanos. La región de las costas es la más afectada por este fenómeno por consiguiente propensa a sufrir inundaciones y la provincia de Manabí es una de las perjudicadas de la nación.

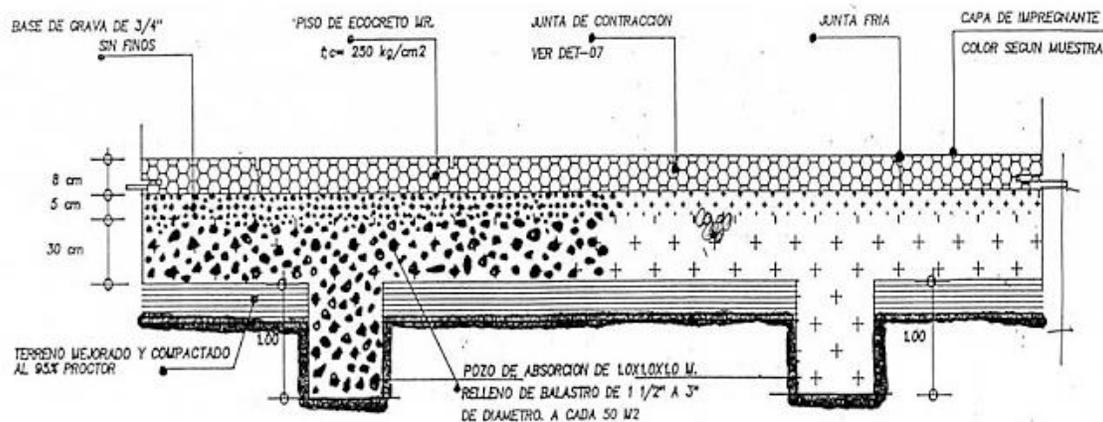
Desde hace algunas décadas en la provincia de Manabí se han venido presentando varios problemas para evacuar el agua pluvial, producto de la acumulación de materiales sólidos y varios contaminantes depositados en las vialidades (Morelli, 2007). Otro factor importante para la salida de las aguas lluvias en las urbes, se presentan cuando existe un crecimiento y desarrollo de estas, asociadas con el amplio uso de estructuras impermeables, como es el caso del uso indiscriminado de pavimentos convencionales que a su vez son impermeables y en áreas urbanas incrementa notablemente el volumen y el caudal del escurrimiento superficial, aumentando los riesgos de inundaciones en los sectores más bajos de estas zonas, desfavoreciendo de esta manera las condiciones de escurrimiento de agua pluvial y disminuyendo la capacidad de recarga natural en los terrenos (Flores y Pacompia, 2015).

En los últimos años, se han desarrollado distintos métodos para minimizar los efectos relacionados a los problemas en la evacuación de aguas pluviales y las condiciones de escurrimiento, como son los elementos de drenaje como las alcantarillas, cunetas, pozos, entre otras, con el propósito de evitar esta acumulación de agua en las vías. Además, para la evacuación de las aguas superficiales causadas por las lluvias, los que provoca el efecto de hidropneumático se ha venido incorporando en la ingeniería civil un diseño de pavimentos permeables, que permitan el paso del agua a través de la capa superficial hacia el interior de la estructura, impidiendo la acumulación de este líquido en su superficie y el escurrimiento superficial aguas abajo, condiciones que generan los dos grandes problemas asociados a pavimentos impermeables (Flores y Pacompia, 2015).

Por su parte, Toro y Cayon (2021), exponen que un pavimento permeable es aquel que permite absorber o dejar pasar el agua de lluvia en un área determinada. Estos pavimentos se pueden construir continuos o en bloques, permitiendo que los líquidos se infiltren a las capas subsuperficiales inferiores, reduciendo la escorrentía. Entre las tipologías de este pavimento se encuentran: pavimentos de asfalto, de concreto, de resina, de hierba, de hierba reforzada, gravas,

bloques impermeables con juntas permeables, bloques y baldosas porosas, bloques con orificios, entre otras (SuD Sostenible, 2016).

Este tipo de pavimento permeable se está utilizando para la construcción de vías para el desarrollo urbano de bajo impacto y es una solución que permite afrontar problemas de manera sostenible. El concreto permeable es una mezcla de cemento, agregado grueso, agua y aditivos, que resulta en ser un material con una estructura de vacíos interconectados que permite a través de él, el paso de agua y aire (Arango, 2022). Para la construcción del pavimento de concreto permeable, se coloca una capa superior de este material, seguida de una sub-base de agregado grueso para la gestión del agua, donde optativamente posee un sistema de drenaje según las necesidades y se infiltra al suelo natural de soporte, como se observa en la figura 1.



Sistema constructivo del concreto permeable. Fuente: <http://www.concretopermeable.com/imagenes/esquemas/esquemas1.jpg>

Figura 1. Sistema constructivo de un pavimento de concreto permeable. Fuente: *Concreto Ecológico de México*, 2017.

El diseño del concreto permeable origina una mezcla endurecida con poros interconectados que accede el paso de agua, haciéndola permeable y con menos resistencia. Además de la permeabilidad y durabilidad, tiene un aspecto más atractivo que un concreto convencional, sabiendo que para el concreto convencional, se utiliza la misma materia prima que un concreto permeable pero, añadiendo agregados grueso, fino, aditivo y agua, haciéndolo un concreto impermeable con alta resistencia (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 2010).

El concreto permeable apareció según los registros en 1852, en el Reino Unido y se siguió utilizando en casi toda Europa. En Estados Unidos lo comenzaron a emplear en los años de 1970, como una solución a los niveles altos de escorrentía exterior en las urbes (Fernández y Navas, 2010). En Colombia, se está utilizando desde el 2000, y a partir del 2015 se implementa con un nuevo concepto: pavimento permeable de colores. Las empresas que trabajan con esta mezcla son: Argos, Cemex y Holcim. En México, también se ha usado este concreto el cual se ha implementado en vialidades urbanas de poco tránsito. El uso del concreto permeable es convertir la escorrentía superficial en infiltración, empleándose mayormente en bajo tráfico como estacionamientos, aceras, camineras, canchas de juegos, ciclo vías, entre otros usos (Rivera, 2020).

En el Ecuador, la tecnología del concreto permeable todavía no se viene implementando como solución a los problemas acarreados por la evacuación de aguas pluviales. Por lo tanto, la posibilidad de emplear este material en la provincia de Manabí, justifica esta investigación cuyo objetivo principal es diseñar un concreto permeable con los áridos de las canteras de Megarock y Uruzca sin el empleo de aditivos, logrando la resistencia adecuada para los usos antes mencionados, evaluando las canteras de la zona para verificar si sus materiales son aptos para este diseño, brindando una alternativa de solución a los problemas que conlleva la evacuación de aguas pluviales (condiciones de escurrimiento) para evitar el arrastre de materiales sólidos y eventuales inundaciones urbanas en las zonas bajas.

Metodología

El procedimiento experimental para la obtención del concreto permeable, se analizó el material de las dos canteras que se encuentran en Portoviejo, las cuales son la cantera Megarok S.A. y Canteras Uruzca S.A. Para el análisis granulométrico de áridos gruesos se cumplió de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 696 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).

Para obtener el Peso Unitario Suelto (PUS) y el Peso Unitario Compactado (PUC) medidos en kg/m^3 , se siguió la norma ASTM C 29- 97 (ASTM, 1997). Para determinar el contenido total de humedad la muestra se comprobó según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 862 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011). Finalmente para el ensayo de densidad relativa (gravedad específica) y absorción de los agregados gruesos se desarrolló con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 857.

El tipo de agua que se empleó para hacer el diseño de mezcla del concreto permeable fue potable, libre de cualquier impureza que pueda tener la misma y cumplir con lo estipulado en la norma ASTM C1602 (ASTM, 2004), es decir, la especificación estándar para el agua de mezcla utilizada en la producción de hormigón de cemento hidráulico. El cemento usado fue el Portland (ASTM C150-07), cumpliendo con las especificaciones de la norma ecuatorianas NTE INEN 2380:2011 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011). Para este diseño de mezcla no se utilizó agregados finos ni se aplicó ningún tipo de aditivo.

Para la dosificación de la mezcla de concreto permeable con resistencia igual o mayor de 210 kg/cm³, es indispensable la relación agua/cemento (A/C), por tanto conociendo la resistencia con la cual se va a trabajar se establece primeramente el porcentaje de vacíos comprendido entre 14% y 20%, como lo indica la Norma ACI 522R-10 (para resistencias 210 kg/m³ equivalen a 3000 PSI) y se identifica en la figura 2:

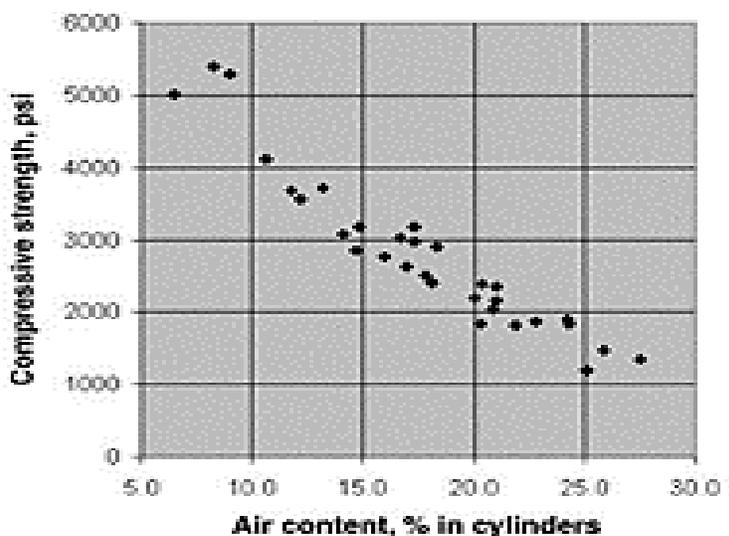


Figura 2. Curva Esfuerzo a la Compresión (PSI) vs. % aire en los cilindros.

Fuente: American Concrete Institute. ACI 522R, 2010.

Determinando la relación de vacíos, y de acuerdo a la figura 3 la relación agua/cemento puede variar entre 0,45 y 0,50. Es de destacar que como existe la ausencia de agregados finos la relación A/C, puede considerarse el valor más alto y no se empleó ningún aditivo.

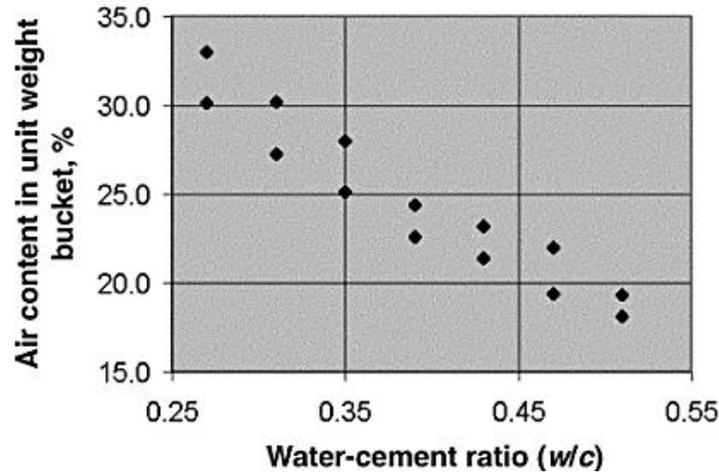


Figura 3. Curva Contenido de aire vs Relación agua-cemento.

Fuente: American Concrete Institute. ACI 522R, 2010.

La determinación del volumen y cantidades de los materiales empleados por metro cúbico de concreto permeable se hizo de acuerdo a la norma ACI. Para realizar el diseño se utilizó la norma ACI 211.3R-02 (American Concrete Institute, 2009). A continuación se muestran las ecuaciones a utilizar:

$$\text{Volumen de pasta} = \text{Volumen de Cemento} + \text{Volumen de agua} \quad (\text{Ecuación 1})$$

dónde:

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Masa}}{\text{Densidad}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Reemplazando la Ecuación 1 en la Ecuación 2, se obtiene:

$$\text{Volumen de pasta} = \frac{\text{Masa de Cemento}}{\text{Densidad del Cemento}} + \frac{\text{Masa de Agua}}{\text{Densidad del Agua}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Utilizando la siguiente ecuación y sustituyendo la masa de cemento por “c” y la masa de agua por “w” se tiene:

$$W = \frac{w}{c} \times C \quad (\text{Ecuación 4})$$

Por lo que se obtiene:

$$\text{Volumen de pasta} = \frac{c}{\text{Densidad del Cemento}} + \frac{\frac{w}{c} \times C}{\text{Densidad de Agua}} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Además se tiene la ecuación que indica que:

$$\text{Volumen de pasta} = 1 \text{ m}^3 - (\text{Volumen de grava} + \% \text{ de Vacios} + \% \text{ aditivos}) \quad (\text{Ecuación 6})$$

Conocido el valor del peso volumétrico compactado del agregado grueso, y sabiendo que el porcentaje de agregados finos es nulo el valor b/b_0 será de 0.99 según ACI 211.3R-02, por tanto la masa del agregado será de acuerdo a la ecuación 7:

$$\text{Masa Agregado} = \text{Peso unitario compactado seco} \times \frac{b}{b_0} \times (1 + \% \text{ absorción}) \quad (\text{Ecuación 7})$$

Resolviendo la ecuación 7, se adquiere el valor de la masa del agregado grueso para poder efectuar la mezcla para 1 m^3 de concreto permeable y se calculan la dosificación de los demás materiales, comprobando al final que la suma de estos sea igual al requerido.

Para la elaboración de probetas se empleó la norma de preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en obra, es decir, ASTM C31/C 31M (ASTM, 2008). Para este análisis se elaboraron 12 probetas cilíndricas, 6 para el diseño de mezcla propuesto, para cada cantera, ensayándose dos probetas cada 7, 14 y 28 días. Estos ensayos de resistencia a la compresión se realizaron bajo la norma ASTM C39 (2002).

Resultados y discusión

A las probetas de concreto permeable se le hicieron los ensayos correspondientes al agregado grueso para posteriormente calcular el diseño de mezcla óptimo. Para ello, se determinó, que en las canteras analizadas (Megarok y Uruzca) el material predominante es de diámetro entre 4,75 mm hasta 19 mm, es decir, el agregado grueso tiene un tamaño $3/4''$, de acuerdo a la Norma NTE INEN 696 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011), relacionada al análisis granulométrico de áridos finos y gruesos, como se muestra en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Ensayo granulométrico por tamizado al agregado grueso de la Cantera Megarok.

DETALLE	ENSAYOS AL AGREGADO GRUESO		
:			
CANTER	MEGAR	FECHA	11-abr-23
A:	OK	:	

MATERIA GRUESO						
L:						
DIÁMETR 19 mm						
O:						
TAMIZ	ABERT.	PESO	PESO	%RETENI	%Q	Especificac
	mm	ACUM.	RETN	DO	PASA	ión
50mm	2"	0,00	0,00	0,00	100,00	
38.1mm	1 ½"	0,00	0,00	0,00	100,00	100
25mm	1"	0,00	0,00	0,00	100,00	95 - 100
19mm	¾"	2312,00	2312,00	11,78	88,22	
12.5mm	½"	5647,00	7958,00	40,57	59,43	25 - 60
9.5	3/8"	2139,00	10098,00	51,47	48,53	
4.75	Nº 4	9404,00	19502,00	99,40	0,60	0 - 10
PASA Nº 4		118,00	19620,00			
2.36mm	Nº 8					0 - 5
1.18mm	Nº 16					
0.6mm	Nº 300					
0.3mm	Nº 50					
0.15mm	Nº 100					
0.075mm	Nº 200					
TOTAL		19620,0				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 2. Ensayo granulométrico por tamizado al agregado grueso de la Cantera Uruzca

DETALLE ENSAYOS AL AGREGADO GRUESO			
:			
CANTER	URUZCA	FECHA	11-abr-023
A:		:	
MATERIA GRUESO			
L:			
DIÁMETR 19 mm			
O:			

TAMIZ	ABERT. mm	PESO ACUM.	PESO RETN	%RETENI DO	%Q PASA	Especificac ión
50mm	2"	0,00	0,00	0,00	100,00	
38.1mm	1 ½"	0,00	0,00	0,00	100,00	100
25mm	1"	0,00	0,00	0,00	100,00	95 - 100
19mm	¾"	1495,00	1495,00	6,89	93,11	
12.5mm	½"	9140,00	10635,00	49,04	50,96	25 - 60
9.5	3/8"	2205,00	12840,00	59,21	40,79	
4.75	Nº 4	8746,00	21586,00	99,55	0,45	0 - 10
PASA Nº 4		98,50	21684,50			
2.36mm	Nº 8			100,00		0 - 5
1.18mm	Nº 16			100,00		
0.6mm	Nº 300					
0.3mm	Nº 50					
0.15mm	Nº 100					
0.075mm	Nº 200					
TOTAL		21684,50				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Los resultados del Peso Unitario Suelto del material, Peso Unitario Compactado y del contenido total de humedad de las muestras del agregado grueso de las dos canteras en estudio se observa en la tabla 3.

Tabla 3. *Peso Unitario Suelto, Peso Unitario Compactado y contenido total de humedad de las muestras de agregado grueso seleccionadas*

Descripción	Cantera Megarok	Cantera Uruzca
Peso Unitario Suelto kg/m ³	1406,15	1411,01
Peso Unitario Compactado kg/m ³	1515,75	1562,49
Contenido de Humedad %	5,495	4,567

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Como es un concreto permeable el que se está diseñando, en la investigación se eliminó el uso del agregado fino, es decir de la arena. Los ensayos al agregado grueso se les realizaron de acuerdo a

las Normas Técnicas Ecuatorianas. La densidad relativa (gravedad específica-SH y SSS), la densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) y el porcentaje de absorción de los áridos gruesos de las canteras Megarok y Uruzca se resumen en la tabla 4.

Tabla 4. *Peso específico del agregado grueso de las canteras Megarok y Uruzca*

Descripción	Cantera Megarok	Cantera Uruzca
Peso en el aire de la muestra secada en el horno A (gr)	2929	4905
Peso en el aire de la muestra saturada B (gr)	3000	5140
Peso en el agua de la muestra saturada C (gr)	1882	3191
Densidad relativa (gravedad específica) (SH) = $A/(B-C)$	2,620	2,520
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS) = $B/(B-C)$	2,683	2,640
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) (SSS) = $A/(A-C)$	2,798	2,860
Gravedad específica aparente (SSS) kg/m^3	2682,40	2637,25
% Absorción promedio	2,424	4,790

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La resistencia del concreto permeable dependerá de la cantidad de cemento que se le agregue, por lo que no es recomendable agregarle grandes cantidades, ya que al aumentar la resistencia a la compresión, bajará considerablemente la capacidad de filtración. Por lo cual se trabajó con un cemento portland Tipo GU de construcción en general, cuya densidad oscila entre 2,75-3,20 g/cm^3 (Holcim, 2015), por lo cual se tomó el valor más alto, como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. *Gravedad específica del cemento Portland a utilizar en el diseño de mezcla*

Material	Marca	Tipo	Densidad g/cm ³
Cemento	Holcim Fuerte	GU Tipo 1	3,20

Fuente: Elaboración propia, 2023.

En relación al agua empleada en el diseño de mezcla la densidad es de 1000 kg/m³ (Guía MetAs, 2010). Es necesario indicar que la cantidad de líquido a manejar para este tipo de concreto tiene que ser la apropiada, por su relación agua-cemento, para que no presente fallas anticipadas en la superficie ni que se pierda su manejabilidad y que alcance la resistencia de diseño de 210 kg/cm³. Luego de obtener los resultados de los materiales a emplear, se determinó el diseño de mezcla de acuerdo a la guía ACI 211.3R-02 (American Concrete Institute, 2009). A continuación se muestran en la tabla 6 y 7 las cantidades de los materiales a añadir con una relación A/C de 0,45 y lograr un 17% de vacíos aceptables:

Tabla 6. Cantidad de materiales de la cantera Megarok, del diseño de mezcla de concreto permeable para 1 m³

Material	Peso (kg)	Volumen (m ³)
Cemento	337,07	0,1053
Agua	151,68	0,1517
Agregado grueso	1536,97	0,5730
Agregado fino	0,00	0,0000
Vacíos	0,00	0,1700

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 7. Cantidad de materiales de la cantera Uruzca, del diseño de mezcla de concreto permeable para 1 m³

Material	Peso (kg)	Volumen (m ³)
Cemento	282,44	0,0883
Agua	127,10	0,1271
Agregado grueso	1620,96	0,6146
Agregado fino	0,00	0,0000
Vacíos	0,00	0,1700

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Como se observa en las tablas 6 y 7, las cantidades de material tanto de cemento y agua varían de acuerdo a los resultados obtenidos de la densidad relativa, la densidad relativa aparente y el porcentaje de absorción de los áridos gruesos de las canteras Megarok y Uruzca. Luego de obtener las dosificaciones de acuerdo a la norma ACI 522R-10, se procede a hacer los cilindros y cumplir las especificaciones técnicas de ASTM C31/C 31M (ASTM, 2008). Se realizaron los ensayos a la compresión empleando la ASTM Designación: C 39 / C 39M – 01 (2002). Los resultados de los ensayos a la compresión se muestran en las tablas 8 y 9.

Tabla 8. Ensayo a la compresión del diseño de mezcla propuesto para la cantera Megarok

Nº Cilindro Código	Edad Días	Fecha Fundición	Fecha rotura	Carga kN	Carga kg	Resistencia kg/cm ²	F'c diseño kg/cm ²
C01-01	7	01/08/23	08/08/23	335,4	34190	193,5	210
C01-02	7	01/08/23	08/08/23	328,9	33527	189,7	210
C01-03	14	15/08/23	08/08/23	366,1	37319	211,2	210
C01-04	14	15/08/23	08/08/23	365,93	37302	211,1	210
C01-05	28	29/08/23	08/08/23	376,2	38349	217,0	210
C01-06	28	29/08/23	08/08/23	375,9	38318	216,8	210

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 9. Ensayo a la compresión del diseño de mezcla propuesto de la cantera Uruzca

Nº Cilindro Código	Edad Días	Fecha Fundición	Fecha rotura	Carga kN	Carga kg	Resistencia Kg/cm ²	F'c diseño kg/cm ²
C02-01	7	01/08/23	08/08/23	334,5	34098	192,95	210
C02-02	7	01/08/23	08/08/23	324,7	33009	187,30	210
C02-03	14	15/08/23	08/08/23	359,9	36687	207,61	210
C02-04	14	15/08/23	08/08/23	361,9	36891	208,76	210
C02-05	28	29/08/23	08/08/23	374,9	38216	216,26	210
C02-06	28	29/08/23	08/08/23	381,2	38858	219,89	210

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Como se aprecia en los resultados del ensayo a la compresión realizada a los cilindros de las canteras en estudio, la dosificación diseñada fue óptima, ya que alcanzaron la resistencia de diseño inicial, sin el uso de aditivos. Además las dos (2) canteras se pueden emplear para la construcción de concreto permeable.

Conclusiones

- Se logró elaborar un concreto permeable con la resistencia deseada de 210 kg/cm^2 sin el uso de aditivos, considerando que los aditivos en este tipo de concreto mejoran las resistencias, sin embargo se demostró en esta investigación que se puede realizar un diseño permeable sin el uso de los mismos, con la ventaja de disminuir los costos de construcción.
- El diseño de mezcla utilizado fue el óptimo con una relación A/C de 0,45 y con un 17% de vacíos, obteniéndose una resistencia a la compresión de $216,90 \text{ kg/cm}^2$ para la cantera Megarok y $218,08 \text{ kg/cm}^2$ para la cantera Uruzca, cumpliéndose el valor de diseño de 210 kg/cm^2 , considerando que las dos canteras empleadas para el estudio son aptas para la fabricación de concreto permeable.
- El concreto analizado en esta investigación es recomendable para emplearlo en pavimentos y vialidades de bajo tráfico como caminos para peatones, áreas de estacionamiento así como también para la construcción de plazas o plazoletas, aceras, veredas, ciclo vías, entre otras, estableciendo que la estructura permeable favorece al medio ambiente, que por su estructura porosa el agua que se encuentre en la superficie, se penetre al suelo natural y se mantenga las reservas subterráneas.

Referencias

1. American Concrete Institute (2009). 211.3R-02: Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete (Reapproved 2009)
2. American Concrete Institute (2010). ACI 522R-10, Farmington, USA, 2010.
3. Arango, S. (2022). Concreto permeable: desarrollo urbano de bajo impacto. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/concreto-permeable-desarrollo-urbano-de-bajo-impacto/>

4. Arias, F. (2016). El proyecto de investigación. Editorial Episteme. 7ma edición. ISBN: 980-07-8529-9.
5. ASTM - American Society for Testing and Materials (1997). ASTM C 29/C 29M – 97. Método de Ensayo Normalizado para determinar la densidad aparente ("peso unitario") e Índice de Huecos en los Áridos. <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-catolica-andres-bello/geologia/norma-astm-c-29-granulometria/22483779>
6. ASTM - American Society for Testing and Materials (2002). C 39 / C 39M – 01. Método de Ensayo Estándar para Esfuerzo de Compresión en Especímenes Cilíndricos de Concreto. <https://pdfcoffee.com/normas-astm-c-39-3-pdf-free.html>
7. ASTM - American Society for Testing and Materials (2003). ASTM C 702. Práctica estándar para la Reducción de muestras de agregado a Prueba de Tamaño. https://kupdf.net/download/astm-c-702_5c65e4f1e2b6f5b963e75f62_pdfg
8. ASTM - American Society for Testing and Materials (2004). ASTM C1602. Especificación estándar para el agua de mezcla utilizada en la producción de hormigón de cemento hidráulico. <https://normanray.files.wordpress.com/2010/10/kuliah-4-standards-mixing-water-concrete.pdf>
9. ASTM - American Society for Testing and Materials (2007). ASTM C150-07. Standard Specification for Portland Cement. <https://www.astm.org/standards/c150>
10. ASTM - American Society for Testing and Materials (2008). ASTM C31/C 31M. Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en Obra. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-tecnica-de-ambato/ingenieria-vial/astm-c31-normas-astm/10103395>
11. Concreto Ecológico de México, S.A. de C.V. (2017). Dejamos Fluir El Agua Usando Nuestros Concretos Permeables. <http://www.concretopermeable.com/images/esquemas/esquema1.jpg>
12. Ecohabitar (2023). Aguas pluviales: Pavimentación permeable y recolección de agua en las ciudades. <https://ecohabitar.org/aguas-pluviales-pavimentacion-permeable-y-recoleccion-de-agua-en-las-ciudades/>
13. El Universo. (2020, julio 12). 2268 inundaciones se dieron en Ecuador durante los últimos cinco años. El Universo.

- <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/07/12/nota/7903011/inundaciones-ecuador2020-agua-lluvias-cambio-climatico>
14. Fernández, R. y Navas, A. (2010). Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/1982>
 15. Flores, C. y Pacompia, I. (2015). Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos f'c 175 kg/cm² en la ciudad de puno". <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3274530>
 16. Guía MetAs (2010).La densidad del Agua. https://metas.com.mx/guia_metas/archivos/La-Guia-MetAs-10-06-densidad-agua.pdf
 17. Hernández, R. y Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education, Año de edición: 2018, ISBN: 978-1-4562-6096-5, 714 p.
 18. Holcim (2015). Ficha de datos de seguridad Cemento. versión 3.0. <https://elpalmarillo.es/Media/elpalmarillo/dayvo/FDS%20Cemento%20Holcim.pdf>
 19. Instituto Ecuatoriano de Normalización-INEN (2010). NTE INEN 695. Áridos. Muestreo. Quito. Ecuador. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_695-1.pdf
 20. Instituto Ecuatoriano de Normalización-INEN (2010). NTE INEN 857 Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso. Quito. Ecuador. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/857.pdf>
 21. Instituto Ecuatoriano de Normalización-INEN (2011). NTE INEN 862. Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad. Quito. Ecuador. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/862.pdf>
 22. Instituto Ecuatoriano de Normalización-INEN (2011). NTE INEN 696. Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso. Quito. Ecuador. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/696.pdf>
 23. Instituto Ecuatoriano de Normalización-INEN (2011). NTE INEN 2380:2011. Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2380.pdf>
 24. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. (2010). Concreto permeable: alternativas sustentables. <https://www.imcyc.com/revistacyt/jun11/arttecnologia.htm>

25. Morelli, C. (2007). Gestión de Inundaciones Urbanas. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/gestion-de-inundaciones/gestion-de-inundaciones-urbanas-esp.pdf
26. Naciones Unidas (2020). América Latina y el Caribe: la segunda región más propensa a los desastres. <https://news.un.org/es/story/2020/01/1467501>
27. Rivera, C. (2020). Concreto Permeable como Sistema Alternativo del Pavimento Convencional. <http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/2121/1/2020CarlosEduardoRiveraVito viz.pdf>
28. SuD Sostenible, (2016). Pavimentos permeables. <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/pavimentos-permeables/>
29. Toro, L. y Cayon, L. (2021). Análisis de pavimentos permeables como solución alternativa al problema de inundaciones en la calle 22 y la carrera 5 de la ciudad de santa marta, la calle 17 y la 12 en barranquilla y la calle 1 de Valledupar entre los años 2015- 2021. https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/34755/1/2021_Pavimento_Permeable_Problema.pdf
30. Vallecilla, A.; Delgado, D. y Méndez, W. (2022). Retrospectiva de escenarios de inundaciones en la región costera de Ecuador: Una visión de sus impactos a escala local urbana. <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/2757>
31. Vera, C. (2021). Cuáles son las causas del incremento de las lluvias torrenciales, olas de calor y sequías. <https://www.telam.com.ar/notas/202108/564536-cuales-son-las-causas-del-incremento-de-las-lluvias-torrenciales-olas-de-calor-y-sequias.html>