

Diseño y análisis mecánico e hidráulico de concreto poroso con materiales locales de Chota para pavimentos peatonales permeables

Mechanical and hydraulic design and analysis of porous concrete using local materials from Chota for permeable pedestrian pavements

Wilmer Marin Diaz Medina  Neiser Solano Linares*  Luis Fernando Romero Chuquilin 

¹Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH), Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Ciudad Universitaria Colpamatara, 06120, Chota, Cajamarca, Perú.

*Autor de correspondencia: [email: lfromeroch@unach.edu.pe]

RESUMEN

En la ciudad de Chota, la acumulación de agua pluvial en calles y aceras durante la temporada de lluvias genera problemas de transitabilidad peatonal, debido a la impermeabilidad del suelo y la falta de sistemas adecuados de drenaje. La Municipalidad Provincial de Chota ha planteado la implementación de pavimentos permeables como alternativa sostenible para mitigar estos efectos. En respuesta a esta problemática, la investigación tuvo como objetivo diseñar y analizar mecánica e hidráulicamente el concreto poroso con materiales locales de Chota para pavimento permeable del pasaje Teofilo Idrogo. El estudio se desarrolló con enfoque cuantitativo y nivel descriptivo; se elaboraron 45 probetas cilíndricas para ensayos de compresión y 15 probetas prismáticas para resistencia a flexión. El concreto poroso fue diseñado utilizando cemento Portland tipo I, agregado grueso huso #67 de la cantera Choctapata y arena de la cantera Conchán. Los resultados indicaron que la dosificación influye significativamente en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido. El diseño D1 se identificó como la mejor opción por su equilibrio entre resistencia y permeabilidad, con $f'c = 219.49 \text{ kg/cm}^2$, resistencia a flexión de 52.22 kg/cm^2 y coeficiente de permeabilidad de 0.20 cm/s . Se concluye, que con un espesor de 10 cm para la losa de concreto poroso, 30 cm para la base granular y 20 cm de mejoramiento con over, se asegura la eficiencia hidráulica y mecánica para su uso en el pasaje Teofilo Idrogo de la ciudad de Chota.

Palabras clave: resistencia, permeabilidad, diseño de mezclas, Cajamarca

ABSTRACT

In the city of Chota, the accumulation of rainwater on streets and sidewalks during the rainy season creates problems for pedestrian mobility, due to the impermeability of the soil and the lack of adequate drainage systems. The Provincial Municipality of Chota has proposed the implementation of permeable pavements as a sustainable alternative to mitigate these effects.

In response to this issue, the research aimed to design and analyze, both mechanically and hydraulically, porous concrete using local materials from Chota for the permeable pavement of Teofilo Idrogo passage. The study was conducted with a quantitative approach and descriptive level; 45 cylindrical specimens were prepared for compression tests and 15 prismatic specimens for flexural strength testing. The porous concrete was designed using Type I Portland cement, coarse aggregate #67 from the Choctapata quarry, and sand from the Conchán quarry. The results indicated that the mix design significantly influences the properties of concrete in both fresh and hardened states. Design D1 was identified as the best option due to its balance between strength and permeability, with $f'c = 219.49 \text{ kg/cm}^2$, flexural strength of 52.22 kg/cm^2 , and a permeability coefficient of 0.20 cm/s . It is concluded that with a thickness of 10 cm for the porous concrete slab, 30 cm for the granular base, and 20 cm of improvement with over, hydraulic and mechanical efficiency is ensured for its use in the Teofilo Idrogo passage in the city of Chota.

Keywords: strength, permeability, mixed design, Cajamarca

INTRODUCCIÓN

Uno de los aspectos decisivos a considerar en la planificación y diseño de ciudades es el sistema de drenaje de agua pluvial. Las precipitaciones pluviales son fenómenos naturales inevitables, y cuando se presentan en grandes cantidades, pueden provocar inundaciones y, en el peor de los casos, daños estructurales (Arora et al., 2023). Es por eso que, contar con pavimento poroso se ha transformado en una opción factible para lidiar con este problema y garantizar la transitabilidad peatonal (Ab Latif et al., 2023).

El pavimento poroso o permeable es un material que permite el paso del agua a través de él, evitando acumulaciones de agua y facilitando su drenaje hacia los sistemas de alcantarillado pluvial (Kia, 2023); su estructura está compuesta por una capa superior de material permeable (como adoquines, bloques o losa de concreto poroso), seguida de la capa base y la capa inferior de agregado compactado (subrasante mejorada), con el fin de que el

agua se infiltre en el suelo de manera gradual y controlada (Yu et al., 2023).

El análisis del pavimento poroso para el drenaje de agua pluvial comienza por evaluar su capacidad de infiltración (Raimondi et al., 2023), cuanto más poroso sea el pavimento, mayor será su capacidad de absorción de agua (Rao et al., 2023), de esta manera, se evita la formación de charcos, asegurando la seguridad de los peatones y conservando la integridad del pavimento (Madrado-Uribeetxebarria et al., 2023). Otro aspecto importante para considerar es la capacidad estructural del pavimento; ahora bien, el material permeable utilizado puede no tener la misma resistencia que un pavimento convencional; los avances en este campo han permitido obtener materiales más resistentes, capaces de soportar la carga de vehículos de baja velocidad y el tráfico peatonal sin comprometer su función de drenaje (Yu et al., 2023).

En el país, los pavimentos más analizados, diseñados y construidos son: los rígidos con losa de concreto convencional, y los flexibles con carpeta de asfalto (Lopez et al., 2023), pero estos materiales no permiten la filtración del agua, lo que, sumado a la falta de sistemas de drenaje pluvial, generan problemas de acumulación de agua y aumenta el riesgo de inundaciones, durante la época de lluvias (Puspitasari et al., 2023); en cambio, el pavimento permeable diseñado es capaz de prevenir problemas como el estancamiento del agua y los accidentes de tránsito causados por el hidroplaneo (Kabir, 2023). Siendo indispensable analizar y diseñar pavimentos permeables de concreto poroso. La información obtenida servirá para que las autoridades locales puedan plantear su construcción y eviten la acumulación de agua por las altas precipitaciones pluviales y los fenómenos climatológicos recurrentes, como el Fenómeno del Niño (Yglesias-González et al., 2023).

En la ciudad de Chota – Cajamarca, existe un problema recurrente de inundación de calles y aceras durante la temporada de lluvias (América Noticias, 2022). Estas inundaciones causan molestias a los peatones, dificultando su movilidad y generando condiciones inseguras para el tránsito peatonal. La Municipalidad Provincial de Chota (MPCH, 2018) argumenta que, los suelos locales son impermeables lo que, en conjunto con los pavimentos rígidos y la falta de drenaje longitudinal, incrementa la probabilidad de inundación, por lo que, sugieren en primera instancia la construcción del drenaje pluvial, pero además recomiendan implementar

otras medidas de desarrollo sostenible que, controlen la escorrentía como las calles con pavimento permeable, pero para ello, la MPCH requiere de información acerca del análisis y diseño del pavimento permeable producido con concreto poroso, sin embargo, hasta el momento no se cuenta con el análisis y diseño del mismo para determinar la viabilidad de tal propuesta, a pesar de esfuerzos anteriores (Díaz, 2022) por desarrollar concreto poroso en la Universidad Nacional Autónoma de Chota. En este contexto, el estudio de Díaz (2022) debe ser complementado para plantear el diseño del pavimento poroso como pavimento peatonal, debido a que, el autor solo logró plantear una dosificación base para la elaboración de concreto poroso, pero no llegó a diseñar el pavimento permeable. Este tipo de pavimento permite que el agua de lluvia penetre a través de los espacios vacíos entre las piedras y sea drenada correctamente, impidiendo así el depósito de agua en la superficie (Palomino, 2023). Siendo así, el objetivo es diseñar y analizar mecánica e hidráulicamente el concreto poroso con materiales locales de Chota para pavimentos peatonales permeables en el pasaje Teofilo Idrogo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio

La investigación se realizó en la ciudad de Chota, región Cajamarca, con temperatura promedio de 12.72°C a 21.08°C y fuertes precipitaciones pluviales (105 mm/hr) (SENAMHI, 2023), pero se centró en el pasaje Teofilo Idrogo, vía no pavimentada, situado al noreste de la plaza de armas, en

el sector 1 de la ciudad de Chota, inicia en las coordenadas UTM WGS84 17S 760939.07 m E, 9274981.99 m S, y termina en: UTM WGS84 17S 760992.75 m E, 9274929.36 m S, se accede al mismo por el Jr. Camino Real, y es una vía de uso

peatonal debido a que, no tiene continuidad vial es una calle cerrada que solo sirve de acceso a los propietarios de las viviendas y lotes de la urbanización del mismo nombre (Tabla 1 y Figura 1).

Tabla 1. Datos técnicos de la urbanización Teofilo Idrogo en Chota, Cajamarca.

Característica	Detalle
Área (m ²)	1304.20
Número de manzanas	2
Número de lotes por manzana	8
Tipo de viviendas	Viviendas de albañilería con losa aligerada de concreto
Distancia de la calle (m)	72
Pendiente de la calle (%)	0.51

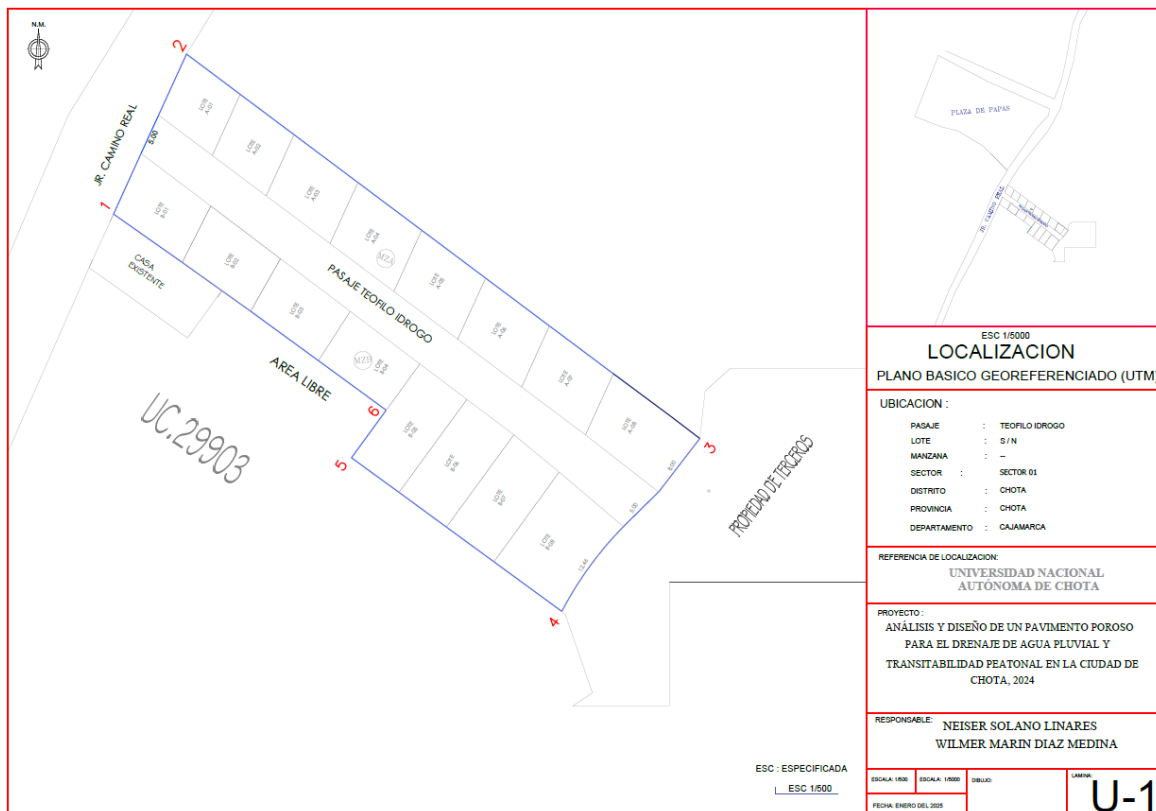


Figura 1. Ubicación del pasaje Teofilo Idrogo en la Ciudad de Chota, Cajamarca

Diseño de la investigación

La investigación fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo, nivel descriptivo y diseño descriptivo causal simple, se centró en recopilar y analizar datos numéricos sobre el comportamiento del concreto poroso en Chota. Se utilizó la estrategia no experimental y transversal, desarrollada en laboratorio, campo y biblioteca, para caracterizar las propiedades del concreto poroso y establecer el diseño del pavimento permeable. Se elaboraron 45 probetas cilíndricas para ensayos de compresión a los 7, 14 y 28 días con cinco diseños, 15 prismáticas para ensayos de flexión y 15 adicionales para ensayos de permeabilidad (Tabla 2).

Colecta de datos

Recolección de agregados

El agregado fino se adquirió de la cantera Conchán ubicada en las coordenadas UTM WGS84 17S 760456.00 m E, 9288006.00 m S del distrito de Conchán y el agregado grueso de la cantera Choctapata ubicada en las coordenadas 764576.02 m E, 9275198.87 m S del distrito de Chota.

Ensayos de agregados

Los ensayos físicos y mecánicos a los agregados naturales de la cantera Conchán y de la cantera Choctapata se realizaron conforme a las normas técnicas peruanas

(NTP) en el laboratorio de mecánica de materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Autónoma de Chota. Los ensayos realizados fueron NTP 400.012 (INACAL, 2021) análisis granulométrico, NTP 400.018 (INACAL, 2020) materiales más finos que pasan por el tamiz N° 200, NTP 339.185 (INACAL, 2021) contenido de humedad, NTP 400.017 (INACAL, 2020) peso unitario, NTP 400.022 (INACAL, 2021) peso específico y absorción del agregado fino, NTP 400.021 (INACAL, 2020) peso específico y absorción del agregado grueso y NTP 400.019 (INACAL, 2020) abrasión de Los Ángeles al agregado grueso.

Los agregados utilizados cumplen parcialmente con la NTP 400.037 (INACAL, 2021). El agregado fino de la cantera Conchán tiene módulo de finura de 3.1, en el límite superior permitido, adecuado para concreto poroso, pero con una ligera deficiencia en el tamiz #8 (Figura 2). El agregado grueso de la cantera Choctapata cumple con el requisito de abrasión, pero presenta deficiencias en los tamices 1" y 3/4" del huso 56 (Figura 2).

En Tabla 2 se resumen las propiedades físicas y mecánicas de los agregados usados.

Tabla 2. Propiedades físico-mecánicas de los agregados utilizados en el estudio.

Propiedades físico-mecánicas	Agregado fino	Agregado grueso
Cantera	Conchán	Choctapata
Tamaño máximo nominal (TMN)		1 ½"
Módulo de finura (MF)	3.1	
Humedad (%)	2.78	1.14
Absorción (%)	2.12	0.84
Peso específico de masa (g/cm ³)	2.52	2.780
Peso específico SSS (g/cm ³)	2.57	2.850
Peso específico aparente (g/cm ³)	2.66	2.890
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1586.59	1519.71
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1496.2	1488.53
Abrasión (%)		26.07

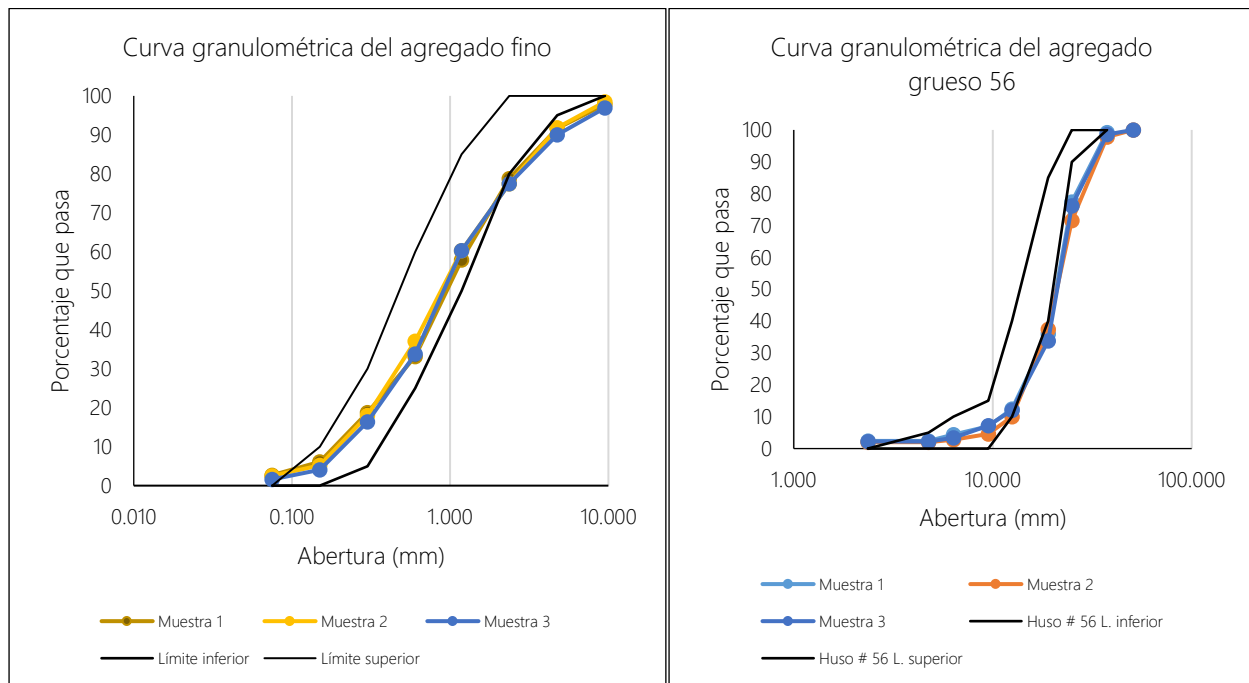


Figura 2. Verificación del huso granulométrico del agregado fino de la cantera Conchán y agregado grueso de la cantera Choctapata.

Diseño de mezclas de concreto poroso

Para el diseño de mezclas del concreto poroso se siguió los lineamientos de la norma ACI-522R-10 & ACI 211.3R-02, definiendo 05 dosificaciones de mezcla con diferente contenido de vacíos (15%, 18% y

20%), para la mezcla ligeramente compactada, se usó cemento Portland tipo I de la marca Pacasmayo, agregado fino de la cantera Conchán (al 0%, 8%, 10% y 15%), agregado grueso de la cantera Choctapata, aditivo plastificante Sika CEM Plastificante y

agua potable de la Universidad Nacional Autónoma de Chota. Las características de

los materiales descritos se presentan en Tabla 3.

Tabla 3. Características físicas de los materiales usados en diseño de mezclas.

Materiales	Cantera	Peso Específico	PUS (kg/m ³)	PUC (kg/m ³)	Absorción (%)	MF	Humedad (%)
Cemento tipo I	Pacasmayo	3080					
Agua	Laboratorio	1000					
Arena	Conchán	2520	1496.2	1586.9	2.12	3.2	2.78
Piedra Huso N° 67	Choctapata	2780	1488.53	1519.71	0.84	4.3	1.14
Sika CEM Plastificante	Sika	1200					

Elección de la filtración: Tr de 20 años con intensidades de 56.18 mm/h para 60 minutos.

Relación agua-cemento (a/c): Se emplearon relaciones a/c entre 0.28 y 0.35, dentro del rango recomendado por ACI 522 (0.26–0.45).

Contenido de vacíos de diseño: Como se muestra en Figura 3, se definieron tres niveles de vacíos (15%, 18%, 20%).

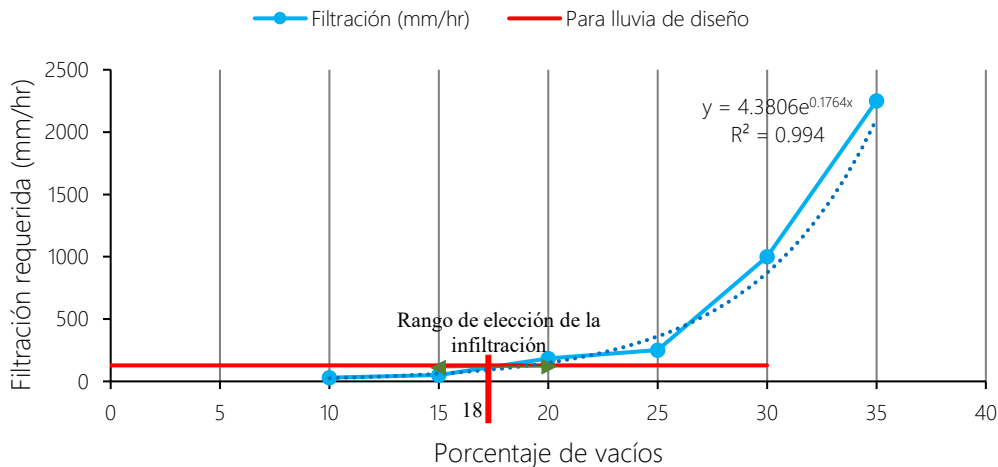


Figura 3. Determinación del contenido de vacíos por filtración requerida de lluvia de diseño
Nota: (ACI 522R-10, 2011).

Calidad de concreto f'_c de diseño según nivel de compactación y 18% vacíos se fijó en 210 kg/cm² como se aprecia en Figura 4.

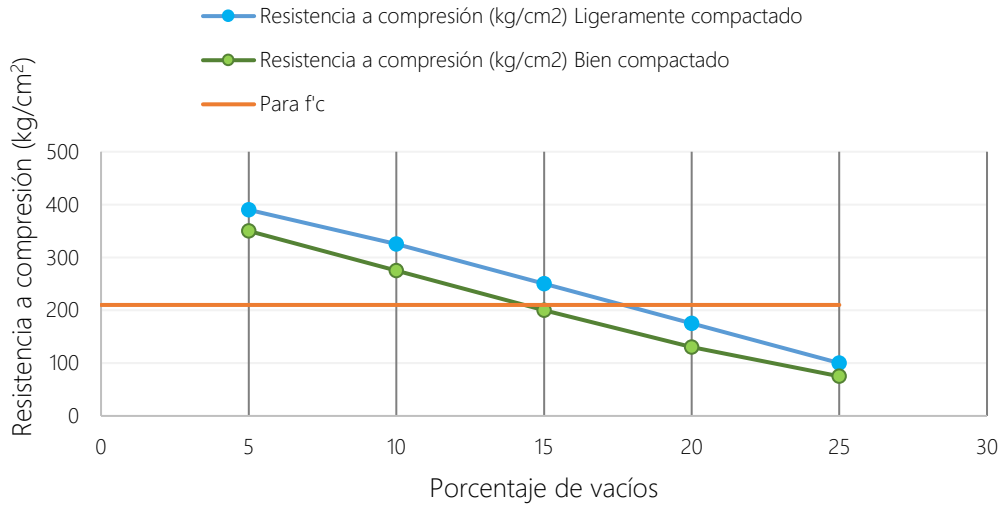


Figura 4. Resistencia a compresión según porcentaje de vacíos y condiciones de compactación
Nota: (ACI 522R-10, 2011).

Contenido de pasta: Se calculó en función del agua y cemento utilizados, con contenido de pasta de 0.23 a 0.28 según el diseño (D1 a D5).

$$Vp = \frac{c}{PEc} + \frac{a}{PEa} \quad (1)$$

$$a = c \times a/c \quad (2)$$

$$Ad = \frac{c}{42.5} \times 500 \quad (3)$$

Donde, vp volumen de la pasta, c contenido de cemento en kg, PEc peso específico de cemento, PEa peso específico del agua, a contenido de agua en litros definido a partir de la relación a/c, Ad volumen de aditivo en ml.

Contenido de agregado grueso: Se estimó usando la relación b/bo, que depende del módulo de finura del agregado fino y el tamaño máximo nominal del grueso.

$$\text{Peso A. G.} = \frac{b}{bo} \times \text{Peso PUC} \quad (4)$$

Entonces b/bo es la relación entre el MF de la arena y el TMN de la grava.

Contenido de agregado fino: Solo se aplicó cuando el diseño incluyó agregado fino, calculando su volumen por diferencia

respecto al volumen total del concreto, restando los volúmenes de cemento, agua, vacíos y agregado grueso.

Corrección por humedad de los agregados: Se aplicó el factor de corrección multiplicando el peso seco de los agregados por (1 + contenido de humedad), para obtener el peso en estado húmedo.

Aporte de agua a la mezcla: Se consideró el aporte adicional de agua de los agregados, calculado como la diferencia entre su contenido de humedad y su absorción.

Proporción de materiales en peso: Se expresaron las proporciones de agregado fino, grueso, agua y cemento en función del peso del cemento, facilitando el diseño por unidad de mezcla.

Determinación del rendimiento de la mezcla: El rendimiento se calculó dividiendo el peso total de materiales entre el peso unitario del concreto fresco, considerando todos los volúmenes absolutos de sus componentes.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Total de material}}{\text{Peso unitario}} \quad (5)$$

$$\text{Peso unitario} = \frac{(\text{Peso del recipiente+concreto})-\text{Peso del recipiente}}{\text{Volumen de recipiente}} \quad (6)$$

Donde, total de material es el peso total de la sumatoria de los materiales utilizados, mientras que, el peso unitario es el valor

definido en laboratorio del ensayo en estado fresco del concreto.

$$\text{Vol. cemento} = \frac{\text{Cemento kg}}{\text{Peso específico cemento}} \quad (7)$$

$$\text{Vol. agua} = \frac{\text{Agua diseño}+\text{Ap.humedad AG}+\text{Ap.humedad AF}}{1000} \quad (8)$$

$$\text{Vol. de agregado} = \frac{\text{AG}+\text{Ap.humedad AG}+\text{Ap.humedad AG}}{\text{Peso específico del agregado}} \quad (9)$$

$$\text{Total de volumen absoluto} = \sum \text{volúmenes absolutos} \quad (10)$$

$$\text{Porcentaje de vacíos final} = \frac{\text{Rendimiento}-\sum \text{Volúmenes absolutos}}{\text{Rendimiento}} \times 100 \quad (11)$$

Ensayos en el concreto fresco

En el laboratorio de mecánica de materiales de la UNACH se realizaron los ensayos al concreto poroso fresco de acuerdo a la NTP 339.035 (INACAL, 2020) slump, NTP 339.046 (INACAL, 2019) contenido de aire, NTP 339.046 (INACAL, 2019) peso unitario, y NTP 339.184 (INACAL, 2021) temperatura de la mezcla.

Elaboración y curado de concreto poroso

Los especímenes de concreto poroso se fabricaron en el campus Colpamatará de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, utilizando cemento Portland tipo I, agregado grueso de la cantera Choctapata, arena de la cantera Conchán y agua potable, según las dosificaciones D1 a D5 y conforme a la NTP 339.183 (INACAL, 2021). Se elaboraron 45 probetas cilíndricas para ensayos de compresión a 7, 14 y 28 días, 15 probetas prismáticas para ensayos de flexión a 28 días y 15 probetas cilíndricas

pequeñas para ensayos de permeabilidad. Tras 24 horas, las probetas fueron desmoldadas y curadas en el laboratorio de mecánica de materiales de la UNACH, siguiendo normas técnicas. Luego del curado, se trasladaron cuidadosamente al laboratorio CIEXLIAN para realizar los ensayos mecánicos, siguiendo las recomendaciones del ACI 522R-10.

Ensayos en concreto poroso endurecido

En laboratorio CIEXLIAN de la ciudad de Chota se realizaron: ensayo de resistencia a la compresión de acuerdo con la NTP 339.034 (INACAL, 2021) y ensayo de resistencia a la flexión de acuerdo a la NTP 339.079 (INACAL, 2023). El ensayo de permeabilidad de acuerdo con la norma ACI 522R-10 se realizó en el laboratorio de ensayo de materiales de la EPIC – UNACH. También se hizo simulación de lluvia como se aprecia en Figura 5.



Figura 5. Prueba de simulación de lluvia en especímenes de concreto poroso

Estudio de mecánica de suelos en el pasaje Teofilo Idrogo

Para el estudio de mecánica de suelos se excavó una calicata en las coordenadas UTM WGS84 17S 760957.76 m E, 9274958.07 m S, y se extrajo las muestras de suelo alteradas del perfil del talud por estrato (3 estratos) e inalteradas del fondo del talud, después se realizó los ensayos en el laboratorio de mecánica de suelos de la EPIC – UNACH: NTP 339.128 (INACAL, 2019) análisis granulométrico, NTP 339.127

(INACAL, 2019) contenido de humedad, NTP 339.129 (INACAL, 2019) límite líquido y límite plástico, NTP 339.141 (INACAL, 2019) Proctor modificado, NTP 339.145 (INACAL, 2019) CBR de laboratorio; y ensayos hidráulicos in situ en campo en las coordenadas UTM WGS84 17S 760980.39 m E, 9274940.33 m S, tal como, el ensayo de infiltración del suelo por el método de Porchet de acuerdo a la NTP 339.147 (INACAL, 2019) como se observa en Figura 6.



Figura 6. Ensayo de permeabilidad por el método de Porchet

El análisis de los estratos E1, E2 y E3 permitió caracterizar sus propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas. E1 presenta alta plasticidad (IP = 44%) y contenido de grava, lo que lo hace expansivo y menos estable, mientras que E2 y E3, con menor plasticidad (IP = 33% y 24%), son más arenosos. Todos los suelos mostraron bajo soporte, con valores de CBR del 2.3% al 4%, lo que indica

la necesidad de estabilización para su uso en pavimentos. La densidad seca máxima fue de 1.823 g/cm^3 y la humedad óptima del 14.2%. El coeficiente de permeabilidad obtenido fue de 0.00084 cm/s (30.24 mm/h), valor que refleja drenaje moderado. En tabla 4 se presentan las propiedades del suelo encontradas.

Tabla 4. Propiedades físico-mecánicas del suelo del pasaje Teofilo Idrogo en Chota, Cajamarca.

Propiedades físico-mecánicas	Estratos		
	E1	E2	E3
Grava (%)	50.53	15.27	37.83
Arena (%)	47.88	80.97	61.24
Finos (%)	1.59	3.76	0.93
Humedad promedio (%)	42.5	42.5	42.5
Límite líquido (%)	75	65	42
Límite plástico (%)	31	32	18
Índice de plasticidad (%)	44	33	24
Clasificación SUCS	GP	SP	SP
Clasificación AASHTO	A-2-7 (1)	A-2-7 (1)	A-2-7(1)
Densidad máxima seca (g/cm ³)			1.823
Humedad óptima (%)			14.2
CBR al 100% de MDS (%)			4.00

CBR al 95% de MDS (%)	2.3
Permeabilidad del suelo K (cm/s)	0.00084
Permeabilidad del suelo K (mm/h)	30.240

Estudio hidrológico

Se basó en datos pluviométricos de la estación Chota (coordenadas UTM WGS84 17S 760025.00 m E, 9275705.00 m S, a 2442 msnm l) dados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) con periodo de 43 años como se muestra en Figura 7, identificando 1998 como el año más lluvioso (74.3 mm en 24 h). Se aplicó factor de corrección de 1.13 (OMM) y se descartaron valores atípicos con la metodología del Water Resources Council. El análisis estadístico, mediante la prueba de Kolmogórov-Smirnov, determinó que la distribución Log-Pearson tipo III era la más

adecuada para modelar las precipitaciones. Con este modelo se calcularon precipitaciones para diversos periodos de retorno, para Tr de 20 años 94.54 mm. Se usó el método de Dyck y Peschke para construir las curvas IDF con duraciones de 20, 30 y 60 minutos, siendo esta última la elegida como duración representativa de tormenta (Tabla 5), según las recomendaciones de Palomino (2023). Por tanto, el Tr que se ha tomado en cuenta para el estudio, corresponde a 20 años para 1 hora 56.18 mm/hr.

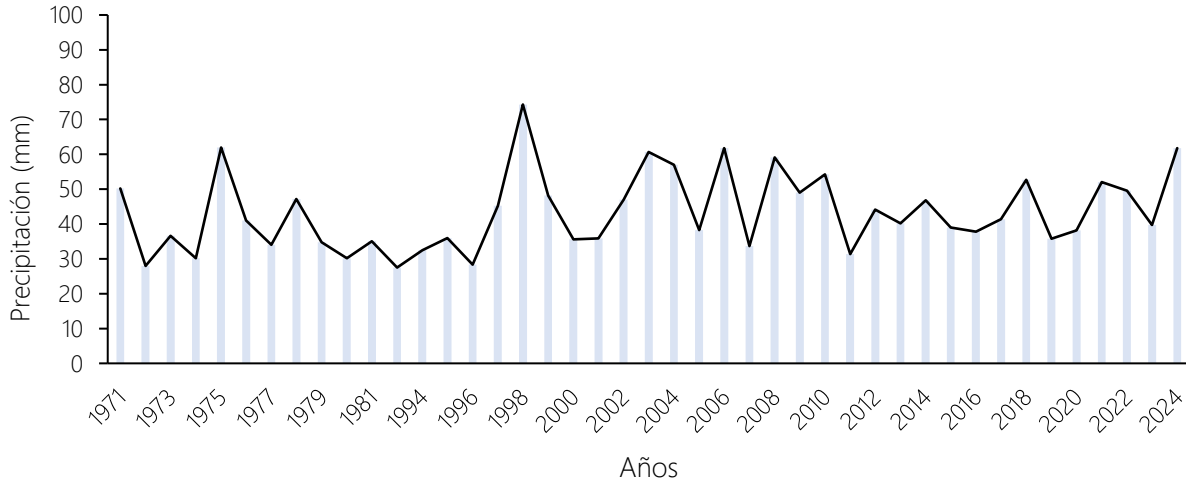


Figura 7. Precipitación pluvial máxima 24 horas en periodo (1971-2024) en la Estación Chota, Cajamarca.

Tabla 5. Intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de retorno

TR (AÑOS)		I _{máx} (mm/hr)		
N°	TR(años)	20.00 min	30.00 min	60.00 min
1	2	74.52	54.98	32.69
2	5	92.44	68.20	40.55

3	10	108.80	80.27	47.73
4	20	128.07	94.49	56.18
5	30	140.88	103.94	61.80
6	50	158.87	117.21	69.69
8	100	187.00	137.97	82.04

Mejoramiento de la subrasante

Debido a que, el CBR del suelo natural en el pasaje Teofilo Idrogo es 4.00%, se ha realizado su mejoramiento para que, sea como mínimo 6%, de acuerdo con el MTC (2014) y el ACI 522R-10 (2010). Siendo así, se

utilizaron las ecuaciones de Guzmán & Patiño (2018) para convertir el CBR a módulo de reacción de la subrasante y luego se realizó el incremento del mismo utilizando 20 cm de over, alcanzando CBR de 7.4%.

$$K = 46 + 9.08 (\log CBR)^{4.34}, \text{ si } CBR > 10 \quad (12)$$

$$K = 2.55 + 52.5 \log(CBR), \text{ si } CBR \leq 10\% \quad (13)$$

$$K = 2.55 + 52.5 \log(4) = 34.16 \frac{MPa}{m} = 3.42 \text{ kg/cm}^3 \quad (14)$$

$$K1 = 46 + 9.08 (\log 100)^{4.34} = 229.89 \frac{MPa}{m} = 23.04 \text{ kg/cm}^3 \quad (15)$$

Donde, K es el módulo de reacción del suelo, CBR la capacidad de soporte.

$$Kc = [1 + (h/38)^2 \times (K1/Ko)^{2/3}]^{0.5} \times Ko \quad (16)$$

Donde, K1, Kc y Ko coeficiente de reacción de subbase granular, combinado y de la subrasante, h espesor del mejoramiento con Over.

Considerando espesor de mejoramiento con Over de 20 cm, se tendría un módulo de reacción combinado de:

$$Kc = [1 + (20/38)^2 \times (23.04/3.42)^{2/3}]^{0.5} \times 3.42 \quad (17)$$

$$Kc = 4.82 \text{ kg/cm}^3 \quad (18)$$

Como se ha mejorado el CBR para alcanzar al menos el 6%.

$$CBR = 10^{(4.82 - 2.55/52.5)} = 7.40\% \quad (19)$$

Diseño del pavimento poroso

Se tomaron como base la norma CE.010 (MVCS, 2010), y se adaptó el método AASHTO-93 complementado con la metodología chilena detallada por Trujillo & Quiroz (2013), especializada en pavimentos permeables.

Selección de la resistencia a compresión del concreto poroso. Se eligió resistencia a compresión de 210 kg/cm², superior al mínimo de 175 kg/cm² exigido por CE.010 para veredas y ciclovías

Parámetros de diseño. Se diseñó una vía peatonal urbana con periodo de diseño de 20 años, f'c de 210 kg/cm², CBR de

subrasante mejorada de 7.4%, y CBR de base granular de 80%. Se consideró over de 20 cm y vehículo de diseño C2, debido al estacionamiento eventual.

Tránsito vehicular. Aunque la vía es peatonal, se contempló tránsito ligero con carga estimada de 16,659 ESAL, correspondiente a tráfico tipo TP1 (bajo volumen), considerando estacionamiento de hasta 20 vehículos menores y un camión C2.

Clima e información hidrológica. Se calcularon intensidades de lluvia máximas

para periodo de retorno de 20 años, obteniendo 56.18 mm/h (60 min).

Diseño del paquete estructural según AASHTO-93. Se aplicó la fórmula de AASHTO-93 para calcular el espesor de losa, considerando coeficiente de drenaje (Cd) de 1.10, confiabilidad de 70%, desviación estándar (So) de 0.35, y módulo de reacción del suelo (K) de 58.6 MPa. La resistencia a flexo-tracción fue de 3.55 MPa y el módulo de elasticidad del concreto 21,457 MPa. Se estimó espesor de losa de 10 cm.

$$\text{Log}W_{8.2} = Z_R S_o + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t) \log \left[\frac{M_r C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{K}\right)^{0.25}} \right]} \right] \quad (20)$$

Donde W8.2 es el número estimado de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas a lo largo del periodo de diseño, ZR es la desviación normal estándar, So es el error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento, D es el espesor del pavimento de concreto (mm), ΔPSI es la diferencia entre los índices de servicio inicial y final, Pt es el índice de serviciabilidad o servicio final, Mr es la resistencia media del concreto (en MPa) a flexo tracción a los 28 días (método de carga en los tercios de luz), Cd es el coeficiente de drenaje, J es el coeficiente de transmisión de carga en las juntas, Ec es el

módulo de elasticidad del concreto, en MPa, y K es el módulo de reacción, dado en MPa/m de la superficie (base, subbase o subrasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

Determinación del espesor de base según metodología de Chile. Se aplicó la fórmula de volumen afluente e infiltrado, obteniendo volumen de almacenamiento requerido de 65.08 m³. Con porosidad del material de base de 0.60, se determinó espesor de base granular de 30 cm. El tiempo de vaciado fue de 7.94 h, cumpliendo con el límite de 48 h según Trujillo & Quiroz.

Volumen afluente acumulado

$$Vafl(d) = 1.25(0.001 \times C \times Id \times A \times d) \quad (21)$$

Donde, C coeficiente de escorrentía en este caso 0.80 de acuerdo al manual en estudio porque se trata de viviendas techadas mixtas con concreto y otras con techo de

calamina, A área total aportante, I_d intensidad de lluvia de periodo de retorno y duración d, d tiempo de lluvia (horas).

$$V_{afl}(d) = 1.25(0.001 \times 0.8 \times 56.18 \times 1304.20 \times 1) = 73.27 \text{ m}^3 \quad (22)$$

Volumen infiltrado acumulado

$$V_{inf}(d) = 0.001(f \times C_s \times A_{pav} \times d) \quad (23)$$

Donde, f capacidad de infiltración del suelo, A_{pav} área del pavimento poroso, d tiempo acumulado de lluvia, C_s coeficiente de seguridad.

$$V_{inf}(d) = 0.001(30.28 \times 0.75 \times 360.77 \times 1) = 8.19 \text{ m}^3 \quad (24)$$

Volumen de almacenamiento

$$V_{alm} = V_{afl}(d) - V_{inf}(d) \quad (25)$$

$$V_{alm} = 73.27 - 8.19 = 65.08 \text{ m}^3 \quad (26)$$

Espesor necesario de base granular

$$e = \frac{V_{alm}}{n \times A_{pav}} \quad (27)$$

Donde, n es la porosidad de la base granular considerada como 0.60, A_{pav} área pavimentada.

$$e = \frac{65.08}{0.60 \times 360.77} = 0.30 \text{ m} \quad (28)$$

Tiempo máximo de vaciado

$$tm = \frac{n \times e}{C_s \times f} \quad (29)$$

Donde, e es el espesor de la base granular, f tasa de infiltración del suelo, C_s coeficiente

de seguridad adaptado, n porosidad de la base de relleno.

$$tm = \frac{0.60 \times 300.64}{0.75 \times 30.28} = 7.94 \text{ h} \quad (30)$$

Espesor del pavimento permeable según metodología de Chile. Utilizando regla de tres compuesta y considerando CBR de 7.4% y tránsito de 1.66 EAL, se estimó

espesor mínimo de losa de 8 cm. Sin embargo, se adoptó el espesor mayor determinado por AASHTO (10 cm) como se muestra en Tabla 6.

Tabla 6. Datos para iterar y determinar el espesor de la losa de concreto poroso

EAL	CBR	Espesor de losa (mm)
5	7.5	229
1.66	7.4	x= 77.06

$$\frac{229}{x} = \frac{7.4}{7.5} \times \frac{5}{1.66} \quad (31)$$

$$x = 77.06 \text{ mm} \cong 80 \text{ mm} \quad (32)$$

Análisis de datos

En este estudio, el análisis de datos realizado fue de carácter descriptivo con el fin de verificar si el sistema diseñado cuenta

con la capacidad suficiente para evacuar el volumen de agua generado por eventos de lluvia.

$$tm = \frac{n \times e}{Cs \times f} \quad (33)$$

Donde, e es el espesor de la base granular, f tasa de infiltración del suelo, Cs coeficiente

de seguridad adaptado, n porosidad de la base de relleno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dosificación para la preparación de concreto poroso

Tabla 7. Dosificaciones de concreto poroso elaborado con arena fina de la cantera Conchán y agregado grueso de la cantera Choctapata

Consideraciones de Diseño			Resultados de Diseños					
Diseño	Relación a/c	Contenido de Vacíos (%)	Agregado Fino (%)	Cemento (kg/m ³)	Ag. Fino (kg/m ³)	Ag. Grueso (kg/m ³)	Agua (l/m ³)	Aditivo (ml/m ³)
D1	0.30	18.00	10.00	432.22	107.77	1429.44	121.88	5084.99
D2	0.30	20.00	8.00	368.19	142.58	1447.89	103.47	4331.66
D3	0.28	15.00	15.00	463.06	202.04	1383.33	122.31	5447.75
D4	0.33	20.00	Sin Finos	366.59	No aplica	1521.66	112.87	4312.87
D5	0.35	20.00	Sin Finos	355.73	No aplica	1521.66	116.50	4185.02

En el análisis de las dosificaciones del concreto poroso con resistencia de diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, se observaron variaciones en la relación agua/cemento, el contenido de vacíos y la proporción de agregado fino, siguiendo las recomendaciones de la ACI 522R-10. La relación a/c fluctuó entre 0.28 y 0.35, dentro del rango sugerido por dicha norma (0.26–0.45).

Estos resultados, son similares a los reportados por Molina et al. (2024), quienes

determinaron que una relación baja favorece la permeabilidad y una alta mejora la resistencia. De otro lado, El contenido de vacíos varió entre 15% y 20%, evidenciando que D3 (15%) logró mayor compactación y resistencia, no obstante, D2, D4 y D5 (20%) mostraron mejor drenaje; este comportamiento es coherente con lo encontrado por Pomalaza (2021) y Arcos (2022), quienes identificaron una relación inversa entre vacíos y resistencia mecánica.

Respecto al agregado fino, su presencia aumentó la densidad y compactación del concreto, tal como señalaron Pomalaza (2021) y Arrieta & Lozada (2024), quienes concluyeron que su inclusión mejora el desempeño estructural, sin embargo, su ausencia favorece la filtración. En el uso de aditivos plastificantes, D3, con mayor cantidad (5447.75 ml/m³), mostró mejor trabajabilidad sin aumentar el agua, en línea con Ayala (2024), quien destacó que aditivos como la microsílíce pueden aumentar la resistencia sin afectar la permeabilidad. El contenido de cemento osciló entre 355.73 kg/m³ (D5) y 463.06 kg/m³ (D3), superando este último el límite sugerido por Benites (2013) de 415 kg/m³, quien señaló que los efectos económicos y

estructurales de un exceso de cemento; por lado, D1 y D2 se mantuvieron dentro del rango recomendado, de acuerdo con lo señalado por Castro et al. (2024), quienes lograron buen desempeño con una proporción 1:4 de cemento y grava, y relación a/c de 0.30.

Las 05 dosificaciones de trabajo se muestran en Tabla 7.

Propiedades de las mezclas de concreto poroso

El análisis de las mezclas de concreto poroso en estado fresco permitió evaluar su comportamiento en función de la relación a/c, contenido de vacíos, agregado fino y otros parámetros físicos, cada diseño de mezcla (D1 a D5) muestra variaciones en sus propiedades en estado fresco (Tabla 8).

Tabla 8. Propiedades del concreto poroso en estado fresco de acuerdo con el diseño.

Consideraciones de Diseño		Propiedades Físicas del Concreto en Estado Fresco							
Diseño	Relación a/c	Contenido de Vacíos (%)	Agregado Fino (%)	Contenido de Vacíos por Variación de Volúmenes (%)	Contenido de Aire por Método de Presión (%)	Asentamiento o Slump	Temperatura (°C)	Peso Unitario (kg/m ³)	
D1	0.30	18.00	10.00	11.06	15.45	0.00	17.60	2261.88	
D2	0.30	20.00	8.00	17.04	16.80	0.00	18.40	2128.32	
D3	0.28	15.00	15.00	19.22	14.50	0.00	17.60	2053.64	
D4	0.33	20.00	Sin Finos	18.05	17.40	0.00	17.20	2096.73	
D5	0.35	20.00	Sin Finos	15.60	16.80	0.00	18.00	2151.30	

El peso unitario de las mezclas permitió evaluar la compactación en estado fresco, siendo D1 la más densa (2261.88 kg/m³), seguida por D5 y D2, entre tanto, D3 presentó la menor densidad (2053.64 kg/m³), lo que indica mayor porosidad. Estos resultados coinciden con Molina et al.

(2024), quienes señalaron que un mayor contenido de agua disminuye la densidad y resistencia del concreto poroso, ahora bien una dosificación controlada mejora la compactación.

En cuanto al contenido de aire, este varió entre 14.5% (D3) y 17.4% (D4), confirmando

que las mezclas sin agregado fino tienen mayor porosidad. D1 y D2 mostraron un equilibrio adecuado entre resistencia y permeabilidad. Este comportamiento respalda lo planteado por Barua e Islam (2024), quienes indicaron que porosidades mayores al 8.3% reducen la resistencia a compresión, pero incrementan la capacidad de infiltración, resaltando la necesidad de balancear estos factores en el diseño del concreto poroso.

Propiedades del concreto poroso

El análisis del concreto poroso en estado endurecido permite evaluar su desempeño en términos de resistencia a compresión, resistencia a flexión y permeabilidad, parámetros fundamentales para su aplicación en pavimentos permeables. A partir de los resultados obtenidos en la tabla, se identifican variaciones entre los diseños de mezcla D1 a D5, las cuales están directamente relacionadas con la relación agua/cemento (a/c), el contenido de vacíos y la presencia de agregado fino (Tabla 9).

Tabla 9. Propiedades del concreto poroso endurecido de acuerdo con el diseño de mezcla

Consideraciones de Diseño				Propiedades Mecánicas		Propiedad Hidráulica	
Diseño	Relación a/c	Contenido de Vacíos (%)	Agregado Fino (%)	Resistencia a compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la Flexión (kg/cm ²)	Coeficiente de Permeabilidad (cm/s)	
D1	0.30	18.00	10.00	219.49	52.22	0.20	
D2	0.30	20.00	8.00	210.09	43.10	0.21	
D3	0.28	15.00	15.00	225.59	57.08	0.19	
D4	0.33	20.00	Sin Finos	203.89	44.88	0.22	
D5	0.35	20.00	Sin Finos	207.18	47.20	0.21	

El análisis del concreto poroso con agregados de Conchán y Choctapata evidenció que la resistencia mecánica y la permeabilidad varían según la relación agua/cemento, el contenido de vacíos y la presencia de agregado fino. D3 presentó la mayor resistencia a compresión (225.59 kg/cm²) y flexión (57.08 kg/cm²), seguido de D1, que mostró un mejor equilibrio estructural e hidráulico (219.49 kg/cm², 52.22 kg/cm² y 0.20 cm/s), Resultados similares fueron determinados por Molina et al. (2024), quienes reportaron que una menor relación a/c mejora la resistencia, en el mismo sentido, Palomino (2023) y Díaz

(2022), observaron desempeños similares con vacíos entre 15% y 18%. Arcos (2022) y Pomalaza (2021) también respaldan que, la presencia de agregado fino incrementa la resistencia flexional, de otro lado, Barua e Islam (2024) y Matthew et al. (2024) advierten que altos niveles de porosidad aumentan la permeabilidad, pero reducen significativamente la resistencia. Asimismo, Arrieta & Lozada (2024) destacaron que las mezclas sin finos ofrecen mayor filtración, aunque a costa del desempeño estructural. En ese sentido, aunque D4 y D5 registraron mayor permeabilidad (0.22 y 0.21 cm/s), no cumplieron con la resistencia mínima

requerida (210 kg/cm²). Por tanto, D1 se considera la mezcla más adecuada para pavimentos permeables en Chota, al garantizar un balance óptimo entre resistencia y capacidad de infiltración.

El diseño y construcción de pavimentos permeables se presenta como una solución efectiva para mejorar la gestión del agua pluvial y la transitabilidad urbana. En esta investigación, se desarrolló un pavimento rígido con concreto poroso para la ciudad de Chota, considerando parámetros de resistencia, infiltración y estabilidad estructural, con base en la guía ACI 325.12R-02. Se definió una losa de 10 cm de concreto

poroso, una base granular de 30 cm y una capa de mejoramiento (over) de 20 cm. La verificación demostró que la capacidad de infiltración del concreto es superior a la intensidad de lluvia de diseño (56.18 mm/h), aunque el suelo presenta una menor capacidad (30.28 mm/h), por lo que el agua se almacena temporalmente en la base granular, vaciándose en un tiempo aceptable de 8 horas. Tras evaluar cinco diseños de mezcla, se seleccionó el diseño D1 por su mayor resistencia a compresión (219.49 kg/cm²) y buen desempeño mecánico e hidráulico (Tabla 10 y Figura 8).

Tabla 10. Espesores preliminares del pavimento poroso

Capas del pavimento	Espesores definidos por AASHTO 93	Espesores definidos por la metodología de Chile	Espesor electo
Losa de pavimento permeable	10 cm	8 cm	10 cm
Base granular (grava de ¾")	15 cm	30 cm	30 cm
Mejoramiento con over	20 cm	20 cm	20 cm

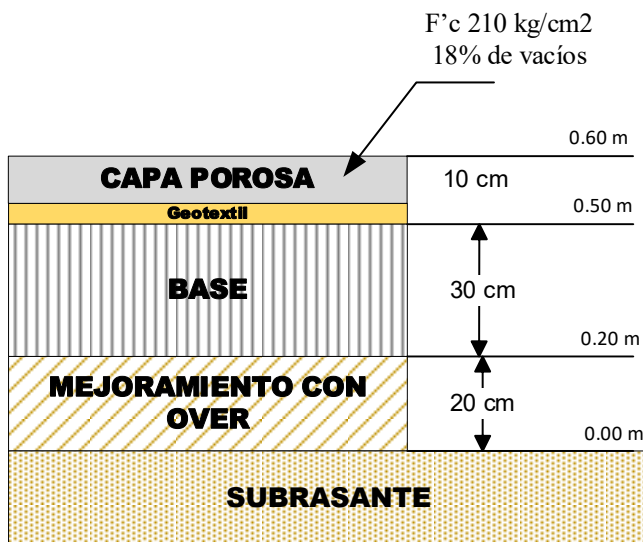


Figura 8. Estructura Final de pavimento peatonal pasaje Teófilo Idrogo

Una vez definidos los espesores preliminares del pavimento poroso, se realizó la verificación de infiltración para comprobar que el sistema pueda evacuar el agua de lluvia a través de sus capas. Los resultados mostraron que la infiltración de la losa de concreto poroso (más de 6900 mm/h en todos los diseños) supera ampliamente la intensidad de la lluvia de diseño (56.18 mm/h), lo que garantiza una adecuada evacuación del agua. Sin embargo, la capacidad de infiltración del

suelo (30.28 mm/h) es menor, lo que genera acumulación temporal en la base granular. Por ello, se evaluó el tiempo máximo de vaciado, el cual, con espesor de base de 30 cm, resultó ser de 7.94 horas, cumpliendo con el límite internacional de 48 horas establecido por Trujillo & Quiroz (2013), por lo que no fue necesario modificar los espesores ni incorporar sistemas de drenaje adicionales tal como se presenta en Tabla 11.

Tabla 11. Comparación entre filtración de pavimento poroso, intensidad de lluvia e infiltración del suelo

Diseño de mezcla	D1	D2	D3
Infiltración de la losa de pavimento permeable (mm/hr)	7183.26	7622.46	6928.47
Intensidad de la lluvia de diseño (mm/hr)	56.18	56.18	56.18
Infiltración del suelo (mm/hr)	30.28	30.28	30.28

$$tm = \frac{n \times e}{Cs \times f} \quad (34)$$

Donde, e es el espesor de la base granular, f tasa de infiltración del suelo, Cs coeficiente de seguridad adaptado, n porosidad de la base de relleno.

$$tm = \frac{0.60 \times 300.64}{0.75 \times 30.28} = 7.94 \text{ h} \quad (35)$$

En Figura 9 se presenta sección definitiva del diseño del pavimento peatonal del pasaje Teofilo Idrogo.

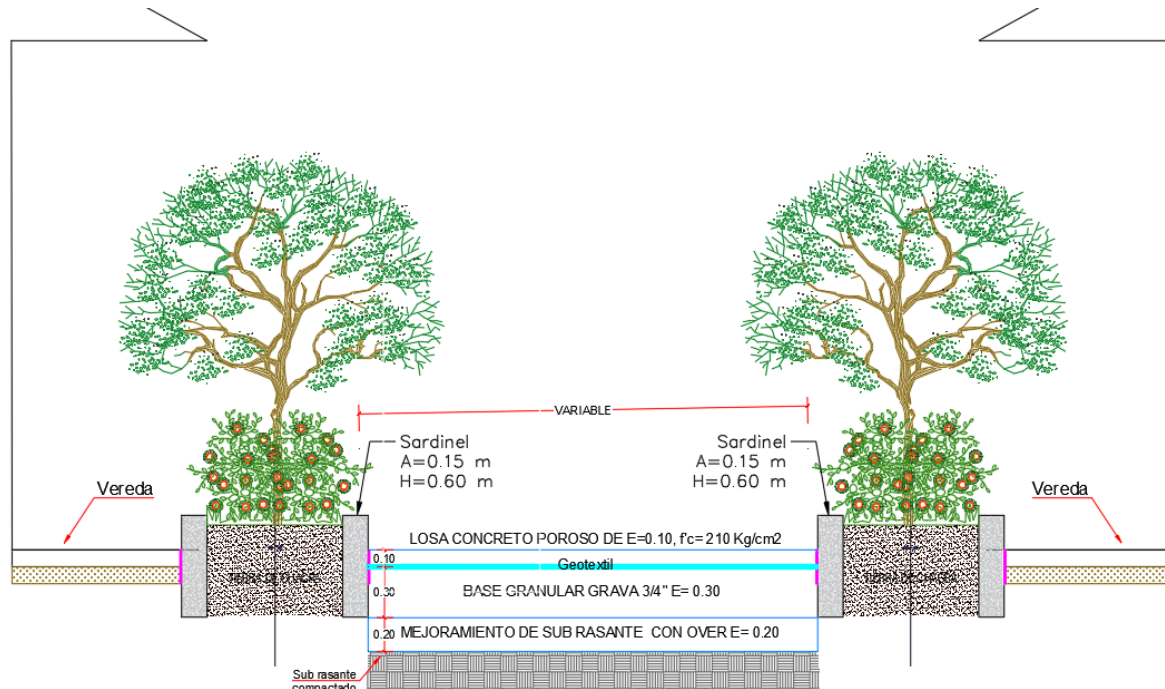


Figura 9. Sección transversal de pavimento permeable propuesta para el pasaje Teofilo Idrogo

Este diseño demostró un balance eficaz, ya que la infiltración de la losa (0.2 cm/s o 7183.26 mm/h) superó ampliamente la intensidad de lluvia de diseño (56.18 mm/h), mientras que el tiempo de vaciado fue de solo 8 horas, cumpliendo con los límites internacionales, como lo indican Molina et al. (2024) y Barua & Islam (2024). La permeabilidad obtenida es coherente con estudios previos. Pomalaza (2021) y Díaz (2022), reportaron coeficientes entre 0.17 y 0.23 cm/s para condiciones similares. D1 fue seleccionada como la mezcla óptima por su equilibrio entre resistencia (219.49 kg/cm²) y permeabilidad (0.2 cm/s), a diferencia de D3, que, aunque más resistente, tuvo menor capacidad de drenaje, lo cual concuerda con las observaciones de Pomalaza (2021) y Zhang et al. (2024) sobre la importancia de balancear resistencia y capacidad de infiltración. Además, la relación a/c de 0.30 y el 18% de vacíos empleados en D1 fueron

validados por Arrieta & Lozada (2024), quienes obtuvieron resultados similares. Este diseño no solo es funcional y estructuralmente estable, sino que se alinea con lo reportado por Palomino (2023) en Andahuaylas y Pomalaza (2021) en Huancayo, reforzando su aplicabilidad en entornos urbanos con demandas similares. Finalmente, el sistema propuesto representa una solución sostenible y eficiente para la gestión del agua pluvial y la durabilidad del pavimento peatonal, en línea con los beneficios identificados por Yasar et al. (2024) en cuanto a permeabilidad, resistencia media y contribución ambiental.

CONCLUSIONES

- La verificación hidráulica demostró que el sistema permite una infiltración superior a la lluvia de diseño y cumple con el tiempo de

vaciado requerido (7.94 h < 48 h), garantizando funcionalidad estructural e hidráulica en el pasaje Teófilo Idrogode de la Ciudad de Chota, en Cajamarca.

Financiamiento

“Los autores no recibieron financiamiento o patrocinio para ejecutar el trabajo de investigación”

Conflicto de intereses

“No existe ningún tipo de interés con los contenidos del artículo científico”.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ab Latif, A., Putrajaya, R., & Ing, D. S. (2023). A Review of Porous Concrete Pavement: Compressive Strength and Clogging Investigation. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 29(3), 128-138. doi:<https://doi.org/10.37934/araset.29.3.128138>

ACI 522R-10. (2011). *Report on Pervious Concrete*. Obtenido de <https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=52210&Format=PRO>

ACI Committee 522. (3 de enero de 2010). 522R-10: Report on Pervious Concrete. *American Concrete Institute (ACI)*, pág. 38 pp. Obtenido de <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal/m/details/id/51663557>

América Noticias. (05 de octubre de 2022). Cajamarca: Lluvias inundan calles y hospital en Chota. *América Noticias*. Obtenido de

<https://www.americatv.com.pe/noticias/actualidad/cajamarca-lluvias-inundan-calles-y-hospital-chota-n462129>

Arcos, C. C. (2022). *Concreto permeable para el control de aguas pluviales en vías urbanas en la ciudad de Abancay, 2019*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac]. Obtenido de https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/1080/T_710.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Arora, M., Chopra, I., Nguyen, M. H., Fernando, P., Burns, M. J., & Fletcher, T. D. (2023). Flood Mitigation Performance of Permeable Pavements in an Urbanised Catchment in Melbourne, Australia (Elizabeth Street Catchment): Case Study. *Water*, 15(3), 562-570. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167196>

Arrieta, J. F., & Lozada, A. K. (2024). *Diseño de un poroso concreto para la captación del agua a través de un sistema de drenaje pluvial Piura 2024*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/156933>

Ayala, J. M. (2024). *Evaluación de la resistencia de un concreto permeable aplicando microsíllice como aditivo según la norma ACI 522-R10*. [Tesis de grado, Universidad Santo Toribio de Mogrovejo]. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12423/8007>

- Barua, G., & Islam, G. S. (2024). Low tortuous permeable concrete pavement material: A new approach to improve physical properties. *Cleaner Engineering and Technology*, 20(1), 1-10. doi:<https://doi.org/10.1016/j.clet.2024.100750>
- Benites, J. (2013). *Características físicas y mecánicas del concreto permeable usando agregados de la cantera rio Jequetepeque y el aditivo chemaplast*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Obtenido de <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/522>
- Castro, A. S., Morais, H. C., Peixoto, A. D., Fonseca, A. A., & Souza, A. P. (2024). A utilização estratégica de blocos modulares de concreto permeáveis em vias municipais. *PESQUISA & EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA*, 2(32), 1-31. Obtenido de <http://www.revista.universo.edu.br/index.php?journal=2013EAD1&page=article&op=viewArticle&path%5B%5D=15366>
- Díaz, O. V. (2022). *Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto poroso utilizando piedra chancada y arena gruesa, Chota*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. Obtenido de <https://repositorio.unach.edu.pe/handle/20.500.14142/17>
- Guzmán, N. J., & Patiño, L. F. (2018). *Estimación del módulo de reacción combinado para diferentes estructuras de subbase de pavimento rígido*. [Tesis de grado, Universidad Santo Tomás de Bogotá D.C.].
- INACAL. (06 de diciembre de 2019). NTP 339.046 CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto. 3a Ed. Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- INACAL. (2019). NTP 339.127 SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1ª Ed. Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- INACAL. (2019). NTP 339.128 SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico. 1ª Ed. Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- INACAL. (2019). NTP 339.129 SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos. 1ª Ed. Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- INACAL. (2019). NTP 339.141. SUELOS. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada ($2\ 700\ \text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$ ($56\ 000\ \text{pie}\cdot\text{lb}/\text{pie}^3$)). 1ª Ed. Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- INACAL. (2019). NTP 339.145. SUELOS. Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. 1ª Ed. Instituto Nacional de Calidad (INACAL).

- INACAL. (24 de octubre de 2019). NTP 339.147 SUELOS. Método de ensayo de permeabilidad de suelos granulares (carga constante). 1ª Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (marzo de 24 de 2020). NTP 339.035 CONCRETO. Medición del asentamiento del concreto de cemento hidráulico. Método de ensayo. 5ª Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (18 de febrero de 2020). NTP 400.017 AGREGADOS. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (07 de diciembre de 2020). NTP 400.018 AGREGADOS. Determinación de materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μm (No. 200) por lavado en agregados. Método de ensayo. 4ª Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (26 de noviembre de 2020). NTP 400.019 AGREGADOS. Determinación de la resistencia al desgaste en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles. Método de ensayo. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (01 de enero de 2020). NTP 400.021 AGREGADOS. Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Método de ensayo. *Instituto Nacional de Calidad*.
- INACAL. (15 de noviembre de 2021). NTP 339.034 CONCRETO. Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Método de ensayo. 5ª Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (15 de noviembre de 2021). NTP 339.183 CONCRETO. Práctica para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio. 3ª Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (15 de noviembre de 2021). NTP 339.184 CONCRETO. Determinación de la temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado. Método de ensayo. 3ª Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (15 de noviembre de 2021). NTP 339.185 AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo. 3ª Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (15 de noviembre de 2021). NTP 400.012 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo. 4ª Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (15 de noviembre de 2021). NTP 400.022 AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo. 4ª Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.

- INACAL. (03 de julio de 2023). NTP 339.079 CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo. 4ª Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- Kabir, T. (2023). *Development of Porous Rubber Pavement for the Canadian Climate*. [Thesis requirement for the degree of doctor of philosophy, University of Waterloo]. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10012/19268>
- Kia, A. (2023). Permeable concrete pavements for a climate change resilient built environment. *Adapting the Built Environment for Climate Change*, 1(1), 297-326. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95336-8.00006-8>
- Lopez, M. E., Huaraca, R., Cahuana, R., Machaca, J. C., Cuaquera, M. M., Mendoza, J., . . . Flores, N. F. (2023). Caso de estudio de gestión sustentable y control administrativo integral de pavimentos asfálticos, Perú. *International Conference on Sustainable Future and Environmental Science*, 1236(2023), 1-8. doi:[doi:10.1088/1755-1315/1236/1/012001](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1236/1/012001)
- Madrazo-Uribeetxebarria, E., Antín, M. G., Eguilegor, G. A., & Andrés-Doménech, I. (2023). Analysis of the hydraulic performance of permeable pavements on a layer-by-layer basis. *Construction and Building Materials*, 387, 131-137. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuil-dmat.2023.131587>
- Matthew, D., Hadiwardoyo, S. P., Iduwin, T., & Lumingkewas, R. H. (2024). Water Absorption Rate in Porous Concrete Paving Block as a Permeable Pavement Structure. *E3S Web of Conferences*, 517(1), 1-10. doi:<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202451712003>
- Molina, M., Reyes, J., Naspud, P., & Illescas, P. (2024). Análisis de las propiedades mecánicas y de filtración del hormigón poroso al modificar la relación agua/cemento. *Green World Journal*, 7(1), 103. doi:<https://doi.org/10.53313/gwj71107>
- MPCH. (2018). *Plan de desarrollo urbano PDU Chota 2017-2027*. Municipalidad Provincial de Chota (MPCH).
- MTC. (2014). *Manual de carreteras suelos, geología, geotécnia y pavimentos sección suelos y pavimentos*. Obtenido de www.mtc.gob.pe
- MVCS. (2010). Norma CE.010 Pavimentos Urbanos. En C. y. Ministerio de Vivienda, *Reglamento Nacional de Edificaciones* (págs. https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo2/05_CE/Pavimentos_Urbanos.pdf). Instituto Nacional de Gerencia (ICG).
- NRMCA. (2020). *El concreto en la práctica, Qué por qué y cómo? CIP 16 - Resistencia a flexión del concreto*. National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA). Obtenido de <https://www.nrmca.org/wp->

- content/uploads/2020/04/CIP16es.pdf
- Palomino, K. (2023). *Evaluación de la eficiencia del pavimento poroso como alternativa para la permeabilización de aguas pluviales en la sexta cuadra del jr. Manco Cápac, distrito de San Jerónimo, Andahuaylas 2021*. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Continental]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/13721>
- Pomalaza, Á. F. (2021). *Aplicación de pavimentos de concreto poroso como alternativa de control de la acumulación de precipitaciones pluviales en la provincia de Huancayo en el año 2017*. [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Continental]. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/9778/4/IV_FIN_105_TE_Pomalaza_Guillermo_2021.pdf
- Puspitasari, S. D., Elvirandra, L., Yulistian, M. B., Ningtyas, R. A., Harahap, S., Handayani, O. T., & Astuti, P. (2023). Application of permeable pavement in urban roads as an alternative flooding reduction in Jakarta. *AIP Conference Proceedings*, 2846(1), 1-10. doi:<https://doi.org/10.1063/5.0154274>
- Raimondi, A., Marrazzo, G., Sanfilippo, U., & Becciu, G. (2023). A probabilistic approach to stormwater runoff control through permeable pavements beneath urban trees. *Science of the Total Environment*, 905(1), 167-196. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167196>
- Rao, Y., Yang, T., Chen, H., Wu, Y., Li, H., & Wang, H. (2023). Comparison of gravimetric methods to measure regional porosity distribution in porous concrete pavement. *Road Materials and Pavement Design*, 24(3), 866-879. doi:<https://doi.org/10.1080/14680629.2022.2029754>
- SENAMHI. (13 de noviembre de 2023). *Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional*. Obtenido de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI): <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- Trujillo, A., & Quiroz, D. P. (2013). *Pavimentos porosos utilizados como sistemas alternativos al drenaje urbano*. Pontificia Universidad Javeriana. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/11174/TrujilloLopezAlejandra2013.pdf>
- Trujillo, A., & Quiroz, D. P. (2013). *Pavimentos porosos utilizados como sistemas alternativos al drenaje urbano*. Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/11174/TrujilloLopezAlejandra2013.pdf>
- Yasar, M. S., Razin, M. M., & Chowdhury, F. (2024). Can porous pavement be a sustainable solution for the newly

extended part of Dhaka in terms of solving water logging issues and groundwater level reclamation? *7th International Conference on Civil Engineering for Sustainable Development (ICCESD 2024), Bangladesh, 1(1)*, 1-9. Obtenido de http://www.iccesd.com/proc_2024/Papers/246.pdf

Yglesias-González, M., Valdés-Velásquez, A., Hartinger, S. M., Takahashi, K., Salvatierra, G., Velarde, R., . . . Lescano, A. G. (2023). Reflections on the impact and response to the Peruvian 2017 Coastal El Niño event: Looking to the past to prepare for the future. *Plos one, 18(9)*, 1-10. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290767>

Yu, F., Guo, J., Liu, J., Cai, H., & Huang, Y. (2023). A review of the pore structure of pervious concrete: Analyzing method, characterization parameters and the effect on performance. *Construction and Building Materials, 365(1)*, 1-10. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129971>

Zhang, H., Li, B., Shi, J., Lu, Y., & Xu, P. (2024). Framework structure design based on porous permeable concrete material in expressway tunnel drainage system. *Desalination and Water Treatment, 317(1)*, 1-10. doi:<https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100308>

Contribución de autoría

1. Wilmer Marin Diaz Medina: Concepción y elaboración del manuscrito
2. Neiser Solano Linares: Concepción y elaboración del manuscrito.
3. Luis Fernando Romero Chuquilin: Análisis de datos.

Recibido: 13-11-2025 Aceptado: 29-12-2025 Publicado: 31-12-2025