

Permeable Pavements as an Alternative for Meteorological Impact Attenuation in the Urban Environment of the City of Trujillo, 2022

Ascon-Orbegozo Renzo, Br.¹ ; Burga-Angulo José, Br.² ; Sagástegui-Vásquez Germán, Mg. Ing.³ 

^{1,3}Universidad Privada del Norte [UPN], Trujillo, Perú, N00049146@upn.pe, german.sagastegui@upn.edu.pe

²Universidad Privada del Norte [UPN], Trujillo, Perú, N00055702@upn.pe

Abstract– Defective urban planning, deficient drainage systems, basin hydrological studies in addition to traditional pavements, which prevent the penetrability of water and lead to waste and inadequate management of it, demonstrated that the city of Trujillo is not in the right conditions to deal with the problems derived from precipitation. That is why, under an applied, quantitative, experimental quasi-experimental and explanatory investigation, we sought to analyze the influence of permeable pavement in the urban environment as an alternative for the attenuation of meteorological impacts that affect the town in 2022. The technique of information gathering was observation and used the observation guide as an instrument; likewise, as materials, the data collection sheet and information tables on the samples were used, these samples were the cylindrical and prismatic specimens of porous concrete with a percentage of voids at 13, 15 and 17. As a result of the process, it was found that the proposal for rigid permeable pavement presented the opportunity to improve human coexistence with the road infrastructure available in the city of Trujillo because by offering a porous configuration that reduces water runoff while facilitating common vehicle traffic, it generates safety for the pedestrians as the drivers through the control of rains; its application, likewise, contributes to the natural environment by generating the conservation of the water cycle and brings Trujillo closer to being a sustainable city.

Keywords-- pervious rigid pavement, porous concrete, rain control, sustainable city.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Pavimentos Permeables como Alternativa para la Atenuación de Impactos Meteorológicos en el Entorno Urbano de la Ciudad de Trujillo, 2022

Ascon-Orbegozo Renzo, Br.¹; Burga-Angulo José, Br.²; Sagástegui-Vásquez Germán, Mg. Ing.³

^{1,3}Universidad Privada del Norte [UPN], Trujillo, Perú, N00049146@upn.pe, german.sagastegui@upn.edu.pe

²Universidad Privada del Norte [UPN], Trujillo, Perú, N00055702@upn.pe

Resumen– Una defectuosa planificación urbana, sistemas deficientes de drenaje, estudios hidrológicos de cuenca en adición a los pavimentos tradicionales, que impiden la penetrabilidad del agua y suscitan al desaprovechamiento y conducción inadecuada de la misma, demostraron que la ciudad de Trujillo no se encuentra en las condiciones de hacer frente a los problemas derivados de la precipitación. Es por ello que, bajo una investigación de tipo aplicada, cuantitativa, experimental cuasiexperimental y explicativa se buscó analizar la influencia del pavimento permeable en el entorno urbano como una alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos que afectan a la localidad en 2022. La técnica de recolección de información fue la observación y empleo como instrumento a la guía de observación; asimismo, como materiales se utilizó la ficha de recolección datos y tablas de información sobre las muestras que fueron los especímenes cilíndricos y prismáticos de concreto poroso con porcentaje de vacíos a 13, 15 y 17. Como resultado del proceso, se encontró que la propuesta de pavimento rígido permeable presentó la oportunidad de mejorar la convivencia humana con la infraestructura vial que dispone la ciudad de Trujillo debido a que al ofrecer una configuración porosa que aminora la escorrentía de agua a la vez que faculta el tránsito común de vehículos genera una seguridad al paso del peatón como de los vehículos por medio del control de lluvias; su aplicación, asimismo, contribuye con el medio natural generando la conservación del ciclo del agua y acerca a Trujillo a ser una ciudad sostenible.

Palabras clave: pavimento rígido permeable, concreto poroso, control de lluvias, ciudad sostenible.

I. INTRODUCCIÓN

La naturaleza presenta un carácter hostil y espontáneo, su incidencia en la actividad humana es tal que el hombre, en el paso del tiempo, ha buscado la manera de controlar y mitigar la acción de los fenómenos meteorológicos que trae consigo el entorno natural. La búsqueda de estructuras resistentes al paso del tiempo con la función del manejo de aguas y su aprovechamiento fue siempre un tópico primordial en las culturas desarrolladas. Un ejemplo claro es remitirse al legado preincaico que perdura hasta hoy con los Andenes del Valle Sondondo, siendo este un sistema agrario que, por el empleo de distintas capas de materiales en su estructura y su diseño aterrazado escalonado, permite aprovechar las aguas pluviales para riego, controlar la erosión de las montañas, regular la escorrentía, asimismo, de ayudar con la siembra de agua [1]. El ser humano contemporáneo busca emendar el error de haber omitido la herencia cultural precolombina trayendo la

ciencia de aquella época y plasmarla en la actual a fin de reformar las estructuras que rodean al foco urbano, así pues, incrementar las posibilidades para manejar el recurso hídrico en el medio [2].

Actualmente, la estructura de mayor extensión longitudinal en las ciudades es el pavimento, estos cubren alrededor del 30 – 45% de las superficies urbanas [3]. La capa de rodadura del pavimento estándar junto a su diseño estructural impermeable origina que la escorrentía afecte su esqueleto, así mismo, de ser obstrucción para que el agua vuelva a la tierra. El rubro de construcción civil, en necesidad de soluciones a dicho problema, ha indagado en la implementación de pavimentos con capa drenante en vez de una estructura vial impermeable convencional, con el fin de optimizar el reciclaje del recurso hídrico proveniente de lluvias y seguir obteniendo provecho de sus cualidades como recurso matriz de la sociedad [4].

En el Perú, la construcción año a año ha ido creciendo en importancia dado que satisface las necesidades de los diferentes sectores de una población al proveer de vías de acceso, vivienda, lugares de esparcimiento y trabajo. Pero, lo ofrecido se ve afectado por los fenómenos de precipitación recurrentes que se presentan en el país, así como, la poca visión estratégica para con el manejo, drenaje y conducción de agua de lluvia. Si no se tiene un plan para manejar los impactos meteorológicos generados por la precipitación, estos generan desastres de diferentes magnitudes. Dentro de ellos, las aguas provenientes del Niño Costero 2017 fueron las que ocasionaron daños a la vida y salud de las personas dejando un saldo de 1 millón 782 mil personas damnificadas, perjuicio a tierras de cultivo en 131 mil 600 hectáreas afectadas, menoscabo a la infraestructura pública y privada, y el deterioro paulatino o inmediato de las estructuras viales tradicionales, construidas para hacer frente al crecimiento poblacional, en 234 mil 50 kilómetros de carreteras [5].

De la misma forma, el rápido crecimiento poblacional con la inherente y paulatina ampliación longitudinal de viviendas han generado problemas al Estado para ejecutar infraestructuras modernas que suplan la necesidad urbana-medioambiental y acompañen al progreso económico sostenible [6]; además de, ralentizar la implementación del Plan de Ordenamiento Territorial que nace con el objetivo de

proteger áreas ambientales, proveer áreas seguras para vivienda, fomentar la inclusión social y diseñar una adecuada pavimentación a fin de lograr bienestar a la población [7]. Consecuencia de ello, para el diseño de la infraestructura vial en las ciudades, en el afán de abastecer la creciente urbanización, se procede a priorizar el criterio de la resistencia y celeridad de realización dejando de lado, indirectamente, aspectos de diseño importantes como el drenaje de agua y condiciones ambientales olvidando de esta manera la posible alteración de ciclos naturales. Dicho accionar conjunto, de desplazamiento no previsto de la población junto a la priorización de resistencia y celeridad en la pavimentación, agrava, aún más, la creciente impermeabilización de suelos por actividad antropogénica. La impermeabilización del suelo por actividades humanas, como la urbanización, altera la capacidad de infiltración del mismo y puede volverse un proceso irreversible por el uso de materiales como el asfalto o el concreto [8].

Una defectuosa planificación urbana, sistemas deficientes de drenaje en adición a pavimentos que impiden la penetrabilidad del agua, que a su vez suscitan al desaprovechamiento y conducción inadecuada de la misma, generan alteración funcional no solo al medio urbano sino también al ambiente. El criterio constructivo de suprimir la apertura al marco sostenible y la arquitectura bioclimática por apresurar la implementación de una infraestructura consuetudinaria, ante una urbanización cada vez mayor, genera que el sellado de suelos, la pérdida de la fertilidad de terrenos circundantes y la alteración del ciclo del agua sea más común; conllevando, por se a una degradación de la capacidad de carga medioambiental [9]; es por ello que, se hace prioridad el observar con detenimiento la aplicación de estructuras eco amigables como las que incorporan el recubrimiento poroso a su mecánica operacional para así disminuir los efectos negativos procedentes de la alteración continua del entorno.

El desarrollo de estructuras viales capaces de dar solución a la problemática derivada de fenómenos meteorológicos y brindar funcionalidad operacional es el foco de búsqueda principal de países como China, España y Estados Unidos. Verbigracia, China ha puesto como objetivo nacional la creación de nuevas estructuras que vayan en sintonía con el entorno a fin de reducir su huella de carbono generado por las grandes ciudades y campos de producción; entre ellas se encuentran las autopistas de propiedades permeables que suman a su función de conectar el país el idóneo manejo pluvial [10]. Por su parte, España ha puesto esfuerzo mayor en la materialización de estructuras capaces de ser útiles en operación como en formar parte de un sistema de urbano, hidrológico y paisajístico al cual denominan Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS); la obra del Aparcamiento Permeable de Gijón, desarrollada en [11], logra una gran funcionalidad como SUDS y muestra posibilidad para que el agua almacenada por la subbase sirva de riego para las zonas verdes. En la misma línea, Estados Unidos reconoce al

concreto permeable como una de las Buenas Prácticas de Gestión para con el agua de lluvia [12]; la aplicación de concreto poroso en el estacionamiento del Estadio Finley, de la comunidad homónima en Tennessee, logró captar el agua de lluvia, almacenarla y, mediante una cámara de bombeo, irrigar el campo del estadio, para de esta manera, disminuir costos en el servicio [13]. En consecuencia, [3] colige que los pavimentos permeables ofrecen una oportunidad para reducir los impactos de fenómenos, ayudando a restaurar el ciclo natural del agua y contribuyendo a hacer las ciudades más resilientes. De la misma manera, [12] integran, con la estructura porosa, una opción de diseño diferente al convencional alcanzando beneficios sociales, ambientales y económicos que con solo el diseño clásico impermeable no se puede obtener. En respuesta a la problemática mencionada, presente en los países alrededor globo, el pavimento permeable explora la alternativa de ser un nexo entre ser una estructura contemporánea capaz de resistir el paso de vehículos y permitir el paso del agua sin generar daños extremos en su estructura.

Debido a ello, se plantea lo siguiente: ¿De qué manera influyen los pavimentos permeables como alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo, 2022?

El objetivo principal del estudio se establece en Analizar la influencia de los pavimentos permeables como alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo, 2022. Como objetivo específico se tiene: 1. Establecer las propiedades físicas de los agregados destinados a la fabricación del pavimento permeable; 2. Determinar las características mecánicas e hidráulicas del concreto permeable en estado fresco y estado endurecido según las Normas Técnicas Peruanas y Normas ACI; 3. Elaborar el diseño estructural del pavimento rígido permeable según el Manual de Suelos y Pavimentos del Perú; y, 4. Determinar los impactos meteorológicos capaces de ser mitigados con la aplicación de pavimentos permeables en el entorno urbano.

En tanto este trabajo planea realizar una investigación de propósito aplicada, de enfoque cuantitativo, con un diseño experimental y de nivel explicativo. Donde, las variables de estudio serán los pavimentos permeables y los impactos meteorológicos; la unidad de estudio serán los pavimentos permeables y la delimitación geográfica y temporal será la ciudad de Trujillo, Perú en el año 2022. Como hipótesis se tiene que los pavimentos permeables influyen significativamente en la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo, 2022.

II. MATERIALES Y METODOS

A. Muestra y Ensayos:

Caracterización de Agregados

La caracterización del agregado comprende el entender cómo sus propiedades y sus componentes físicos y químicos son indispensables para lograr un diseño de mezcla capaz de satisfacer las necesidades intrínsecas del proyecto; estos al tener su forma, textura y gradación influyen en el comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido [14]; es por ello que, se aplicó cinco ensayos para conocer sus propiedades. Siendo estos: extracción y preparación de muestras, análisis granulométrico de los agregados, peso unitario y peso específico de los mismos, y contenido de humedad.

Ensayos en Estado Fresco

El estado fresco del concreto, denominado también estado plástico, es el proceso previo a la hidratación del mismo, en el que presenta condición para ser transportado o manejado antes de lograr que el cemento inicie el proceso químico de endurecimiento y rigidez; siendo este definido como el transcurso en que la pasta está blanda y permanece como estado plástico hasta que empieza a fraguar el concreto [15]. Para determinar sus características se desarrolló tres ensayos, el de revenimiento o asentamiento, peso unitario y temperatura.

Ensayos en estado endurecido

El concreto utiliza la pasta, que viene a ser la unión entre el material cementante y el agua, para unir a sus materiales componentes; esto es debido, a que al entrar en su proceso químico de fraguado genera cristales hidratados que une las partículas de los agregados haciendo que el gel producido vaya solidificándose hasta lograr el estado endurecido. Por lo que, el estado endurecido del concreto debe entenderse como la etapa en que un concreto pasa del estado plástico al de endurecimiento en el cual va ganando resistencia y endurecimiento conforme va pasado el tiempo [15]. Para este proceso, se realizó cuatro ensayos; los cuales fueron la elaboración y curado de especímenes de concreto, de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y permeabilidad.

Estudio de tráfico vial

El Estudio de Tráfico vial tiene dos objetivos, los cuales son conocer la capacidad de los tramos viales para mantener volúmenes de tráfico durante su vida útil y ser un indicador de cuantas repeticiones de ejes equivalentes puede estimarse para formar parte del diseño estructural [16]. El índice medio diario anual (IMDA) se realizó por tipo de vehículos mediante intervención directa; a partir de ello, se elaboró los cálculos de repeticiones de ejes equivalentes, presión de neumáticos, tipo de tráfico, tasas de crecimiento de crecimiento vehicular y el Eje de Carga Simple Equivalente (ESAL).

Diseño de paquete estructural

La metodología empleada en el diseño del pavimento rígido es la desarrollada por la AASHTO 93. La cual tiene como proceso la iteración de espesor de losa hasta encontrar el que mejor se adecua para hacer frente a una vida útil de cargas de tránsito. Los parámetros que intervienen en el proceso son dos, el periodo de diseño y las variables. Por periodo de diseño fue para 20 años; mientras que, las variables delimitadas de tránsito, serviciabilidad, confiabilidad, módulo de reacción de subrasante, drenaje, transferencia de cargas, resistencia a la flexotracción y módulo elástico del concreto del concreto se obtuvieron por medio del Manual de Suelos y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC).

Reportes de precipitación de SENAMHI e INDECI

El fenómeno hidrológico interviniente en el estudio son las precipitaciones anuales en la ciudad de Trujillo, por lo que, la cuenca estudiada tiene por nombre la Cuenca del Río Moche. Como herramienta para el proceso, se utilizó el Módulo de Estimación de Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) que proporciona el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Este módulo proporcionó la visualización numérica y gráfica de las curvas IDF; además, ayudó a determinar las intensidades de precipitación para periodos de retorno desde los 2 hasta los 1000 años y duraciones entre 1 y 24 horas. Para la investigación, se estudió la duración e intensidad de lluvias en la cuenca para un periodo de retorno de 2, 5, 10 y 30 años.

B. Técnicas e Instrumentos de Recolección y Análisis de Datos

Materiales

Para la elaboración de las muestras de concreto se empleó el Cemento Tipo I de la marca Pacasmayo; el agregado grueso y agregado fino que fueron la piedra chancada de huso 67 y la arena gruesa zarandeada, respectivamente, se compraron de la Cantera El Milagro. El agua fue de la misma localidad siendo la que dispone la empresa potabilizadora para consumo humano; y, el aditivo empleado fue el plastificante SikaCem Plastificante de la marca Sika.

Técnica de recolección de datos

Se tiene como técnica de recolección a la observación puesto que busca ver, analizar y ensayar en los laboratorios lo concerniente a cómo está constituido con pavimento permeable y sus capas [17].

Para determinar las características físicas de los agregados, siendo estos la primera aproximación para determinar los diseños de mezcla se tuvo como guía a la NTP 400.012, a la NTP 339.185, a la NTP 400.021 y NTP 400.022, asimismo, la NTP 400.017, relacionadas con el análisis granulométrico de agregados, el contenido de humedad, peso

específico de los agregados y el peso unitario de los mismos, respectivamente. Se incluyó, además, la extracción y preparación de muestras de estudio, bajo tutela de la NTP 400.010.

Para la caracterización del concreto en su estado fresco se tuvo por orientación a la NTP 339.035, la NTP 339.046 y la NTP 339.184; siendo estas las encargadas de guiar los ensayos del asentamiento del concreto o *slump*, el peso unitario y la temperatura, correspondientemente. Asimismo, con el propósito de conocer el desempeño del concreto en su estado endurecido se tuvo por dirección, para su observación y medición, a la NTP 339.183, la NTP 339.034 y la NTP 339.078; encargadas estas de la elaboración y curado de especímenes de concreto, del ensayo a la compresión, así como, del ensayo a la tracción. El diseño de mezcla de concreto y ensayo a la permeabilidad se consiguieron por la aplicación de la norma ACI 522R10.

Con el objetivo de plantear un diseño de pavimento estructural se tomó al Manual de Suelos y Pavimentos 2014 como principal referente puesto que especifica la metodología con el cual se concibe [16].

Por último, para el estudio de precipitación se utilizó el Módulo de Estimación de Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) que proporciona el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

Instrumentos

[18] señala que un instrumento es todo recurso, dispositivo o formato que se utiliza para registrar y guardar la información. Para esta investigación se estableció a la guía de observación debido a que es un formato para recolectar los datos de manera sistemática y uniforme.

C. Procedimiento

El proceder de la investigación consistió en, primero, caracterizar los agregados según su granulometría, peso unitario suelto y compactado, peso específico, absorción y contenido de humedad para de esta manera pasar al diseño de mezclas de concreto. Inmediatamente, se creó tres dosificaciones de mezcla de concreto permeable a diferente porcentaje de vacíos determinados en 13, 15 y 17; así, se pasó a la elaboración de 15 especímenes cilíndricos y 3 elementos prismáticos por cada diseño, siendo evaluados a 3, 7 y 28 días de curado. Estos fueron examinados según su comportamiento en estado fresco y endurecido. Del estado fresco se determinó el asentamiento, temperatura y peso unitario del concreto; mientras que, para el estado endurecido se evaluó la resistencia a la compresión, el módulo de rotura o resistencia a la flexión y permeabilidad. Realizado ello, se prosiguió a efectuar el estudio de tráfico vial junto al diseño de capas que debe tener el pavimento permeable para, posteriormente,

evaluar el firme rígido permeable respecto a la intensidad de lluvia máxima que se estima en la ciudad de Trujillo según periodo horario de 24h para tiempos de retorno de 2, 5, 10 y 30 años. Finalmente, se concluyó resaltando los aportes relevantes del estudio.

III. RESULTADOS

A. Propiedades físicas de los agregados destinados a la fabricación del pavimento permeable

La Tabla 1 y 2 muestran la caracterización de la piedra chancada de huso 67, como agregado grueso, y de la arena gruesa zarandeada, como agregado fino, especificando el tipo de ensayo, unidad de medida, norma técnica vigente y el resultado promedio.

A.1. Piedra chancada huso 67

TABLA I
CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO GRUESO
PIEDRA CHANCADA 3/4" HUSO 67

Ensayo	U.M	Norma	Resultado
Tamaño máximo nominal (TMN)	pulg	NTP 400.012	3/4
Módulo de Finura	-	NTP 400.012	6.53
Peso unitario suelto	kg/m3	NTP 400.017	1625.00
Peso unitario compactado	kg/m3	NTP 400.017	1785.00
Peso específico	gr/cm3	NTP 400.022	2.56
Absorción	%	NTP 400.022	1.40
Contenido de humedad	%	NTP 339.185	0.70

A.2. Arena gruesa zarandeada

TABLA II
CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO FINO
ARENA GRUESA ZARANDEADA

Ensayo	U.M	Norma	Resultado
Módulo de Finura	-	NTP 400.012	2.50
Peso unitario suelto	kg/m3	NTP 400.017	1670.00
Peso unitario compactado	kg/m3	NTP 400.017	1917.00
Peso específico	gr/cm3	NTP 400.022	2.56
Absorción	%	NTP 400.022	0.80
Contenido de humedad	%	NTP 339.185	1.00

B. Características mecánicas e hidráulicas del concreto permeable en estado fresco y estado endurecido

B.1. Diseño de mezcla

La Tabla 3 detalló la dosificación de mezcla por m3 del concreto permeable con porcentaje de vacíos de 13. Este empleó una relación *a/c* de 0.30 y una relación de agregados de 95%, para el grueso, y de 5% para el fino. El aditivo, fue al 1% del peso del cemento.

TABLA III
DOSIFICACIÓN DE MEZCLA PARA CONCRETO PERMEABLE CON 13% DE VACÍOS

Diseño de Mezcla N.º 1 (13% de vacíos)			
Material	Volumen (m3)	Masa (kg/m3)	Tanda 30L (kg)
Cemento	0.145	455.300	13.659
Agua	0.137	146.311	4.389
Agregado Grueso	0.551	1420.434	42.613
Agregado Fino	0.029	74.982	2.249
Aditivo (SikaCem Plastificante)	0.010	4.553	0.137
% de vacíos	0.130	-	-
Total	1.001	2101.580	63.047

La Tabla 4 detalló la dosificación de mezcla por m3 del concreto permeable con porcentaje de vacíos de 15. Este empleó una relación a/c de 0.32 y una relación de agregados de 90%, para el grueso, y de 10% para el fino. El aditivo, fue al 1% del peso del cemento.

TABLA IV
DOSIFICACIÓN DE MEZCLA PARA CONCRETO PERMEABLE CON 15% DE VACÍOS

Diseño de Mezcla N.º 2 (15% de vacíos)			
Material	Volumen (m3)	Masa (kg/m3)	Tanda 30L (kg)
Cemento	0.130	409.400	12.282
Agua	0.131	140.081	4.202
Agregado Grueso	0.522	1345.674	40.370
Agregado Fino	0.058	149.965	4.499
Aditivo (SikaCem Plastificante)	0.010	4.094	0.123
% de vacíos	0.150	-	-
Total	1.001	2049.214	61.476

La Tabla 5 detalló la dosificación de mezcla por m3 del concreto permeable con porcentaje de vacíos de 17. Este empleó una relación a/c de 0.34 y una relación de agregados de 85%, para el grueso, y de 15% para el fino. El aditivo, fue al 1% del peso del cemento.

TABLA V
DOSIFICACIÓN DE MEZCLA PARA CONCRETO PERMEABLE CON 17% DE VACÍOS

Diseño de Mezcla N.º 3 (17% de vacíos)			
Material	Volumen (m3)	Masa (kg/m3)	Tanda 30L (kg)
Cemento	0.121	381.700	11.451
Agua	0.130	138.016	4.140
Agregado Grueso	0.485	1249.002	37.470
Agregado Fino	0.086	221.069	6.632
Aditivo (SikaCem Plastificante)	0.010	3.817	0.115
% de vacíos	0.170	-	-
Total	1.001	1993.604	59.808

B.2. Características en estado fresco

La Tabla 6 especifica la temperatura, revenimiento y peso unitario alcanzado de cada diseño de mezcla según su contenido de vacíos. Se especifica cada norma técnica empleada, así como, la unidad de medida respectiva a cada ensayo.

TABLA VI
REGISTRO DE ENSAYOS DE TEMPERATURA, ASENTAMIENTO Y PESO UNITARIO DEL CONCRETO

Muestra	Ensayos en estado fresco del concreto		
	NTP 339.184 Temperatura (°C)	NTP. 339.035 Asentamiento (pulg)	NTP. 339.046 P.U.C (kg/m3)
Diseño de mezcla con 13% de vacíos	20.0	5.00	2426.00
Diseño de mezcla con 15% de vacíos	20.0	5.25	2380.00
Diseño de mezcla con 17% de vacíos	22.5	5.50	2360.00

B.3. Características en estado endurecido

Resistencia a la compresión

La Tabla 7, 8 y 9 exponen la resistencia a la compresión lograda por los especímenes cilíndricos de concreto permeable según Diseño de Mezcla N.º 1, N.º 2 y N.º 3 a 3, 7 y 28 días de curado. De la misma manera, se especificó las dimensiones de probetas, carga máxima soportada y el tipo de fractura.

TABLA VII
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE CON 13% DE VACÍOS A 3, 7 Y 28 DÍAS DE CURADO

Resistencia a la compresión del concreto permeable con 13% de vacíos							
Edad de ensayo (días)	Muestra	Diámetro promedio (cm)	Área de sección promedio (cm2)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (Kg/cm2)	Promedio (Kg/cm2)	Tipo de Fractura
3	D13-P01	10.20	81.60	90.70	113.34	117	5
	D13-P02	10.24	82.40	84.50	104.57		2
	D13-P03	10.27	82.80	107.70	132.63		2
7	D13-P04	10.20	81.60	136.00	169.95	156	2
	D13-P05	10.22	82.00	124.10	154.32		2
	D13-P06	10.19	81.60	116.10	145.08		2
28	D13-P07	10.16	81.10	184.70	232.23	220	2
	D13-P08	10.18	81.30	167.70	210.34		2
	D13-P09	10.26	82.70	173.70	214.17		2
	D13-P10	10.25	82.50	190.50	235.67		2
	D13-P11	10.20	81.70	172.20	214.92		2
	D13-P12	10.30	83.30	174.50	213.61		2

TABLA VIII
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE CON 15% DE VACÍOS A 3, 7 Y 28 DÍAS DE CURADO

Resistencia a la compresión del concreto permeable con 15% de vacíos							
Edad de ensayo (días)	Muestra	Diámetro promedio (cm)	Área de sección promedio (cm2)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (Kg/cm2)	Promedio (Kg/cm2)	Tipo de Fractura
3	D15-P01	10.17	81.20	112.70	141.53	134	2
	D15-P02	10.20	81.60	102.80	128.46		2
	D15-P03	10.21	81.80	106.80	133.13		2
7	D15-P04	10.16	81.00	155.70	196.01	189	2
	D15-P05	10.12	80.40	139.50	176.93		2
	D15-P06	10.15	80.90	154.00	194.11		2
28	D15-P07	10.18	81.30	212.50	266.53	263	2
	D15-P08	10.32	83.60	207.90	253.58		2
	D15-P09	10.24	82.40	221.10	273.61		2
	D15-P10	10.30	83.30	199.40	244.09		2
	D15-P11	10.29	83.20	219.80	269.39		2
	D15-P12	10.27	82.80	217.60	267.98		2

Tabla IX
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE CON 17% DE VACÍOS A 3, 7 Y 28 DÍAS DE CURADO

Resistencia a la compresión del concreto permeable con 17% de vacíos							
Edad de ensayo (días)	Muestra	Diámetro promedio (cm)	Área de sección promedio (cm ²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)	Tipo de Fractura
3	D17-P01	10.19	81.50	118.70	148.51	161	2
	D17-P02	10.21	81.90	138.20	172.07		2
	D17-P03	10.21	81.80	131.00	163.30		2
7	D17-P04	10.14	80.70	188.00	237.55	227	2
	D17-P05	10.18	81.40	171.90	215.34		2
	D17-P06	10.13	80.60	180.00	227.72		2
28	D17-P07	10.26	82.60	260.70	321.84	315	2
	D17-P08	10.23	82.10	259.80	322.68		2
	D17-P09	10.30	83.20	256.50	314.37		2
	D17-P10	10.20	81.60	241.20	301.41		2
	D17-P11	10.20	81.70	262.00	327.00		2
	D17-P12	10.24	82.30	244.30	302.69		2

Se aprecia que el Diseño Tercero, perteneciente al concreto con 17% de vacíos, logra mayor incidencia para cada día de rotura que sus homólogos, dando como resultado un concreto apto para la aplicación en losas de pavimentos rígidos, puesto que, supera el mínimo requerido de 280 kg/cm² que estipula el Manual de Suelos y Pavimentos 2014 del MTC.

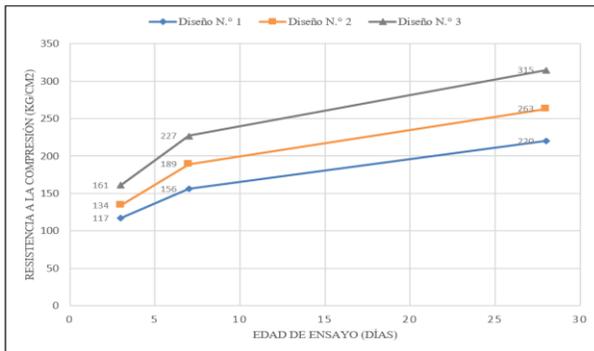


Fig. 1 Resistencia a la compresión promedio del Concreto Permeable por cada tipo de diseño de mezcla a 3, 7 y 28 días

Resistencia a la flexión

La Tabla 10 exhibe la resistencia a la flexión lograda por los especímenes prismáticos de concreto permeable según Diseño de Mezcla N.º 1, N.º 2 y N.º 3 a 3, 7 y 28 días de curado. De la misma manera, se especificó las dimensiones de vigas, carga máxima soportada y el tipo de falla.

Tabla X
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE SEGÚN DISEÑO A 13, 15 Y 17% DE VACÍOS ENSAYADO A 28 DÍAS

Resistencia a la flexión de vigas de concreto permeable según Diseño									
Edad de ensayo (días)	Diseño	Muestra	Ancho promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Longitud de tramo (cm)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la Flexión (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)	Falla
N.º 1		D13-V01	14.90	15.00	49.00	40.00	59.7	57.9	Tercio Central
		D13-V02	14.90	15.20	49.10	38.30	55.7		Tercio Central
		D13-V03	15.20	15.20	49.10	41.00	58.4		Tercio Central
28	N.º 2	D15-V01	15.00	15.50	49.00	47.40	65.7	62.7	Tercio Central
		D15-V02	15.00	15.30	49.00	46.40	66.1		Tercio Central
		D15-V03	15.00	15.40	49.00	40.20	56.5		Tercio Central
N.º 3		D17-V01	15.00	15.50	49.00	44.70	61.9	71.8	Tercio Central
		D17-V02	15.00	15.00	49.00	50.70	75.0		Tercio Central
		D17-V03	15.00	15.00	49.00	52.90	78.3		Tercio Central

En la misma línea, se logra apreciar que el promedio de resistencias de los Diseños alcanza y superan el mínimo requerido de 40 kg/cm² que estipula el Manual de Suelos y Pavimentos 2014; no obstante, el Tercer Diseño tiene mayor prevalencia. El último diseño cumple a su vez con el mínimo de resistencia a la compresión tal como se precisa en la Fig 1.

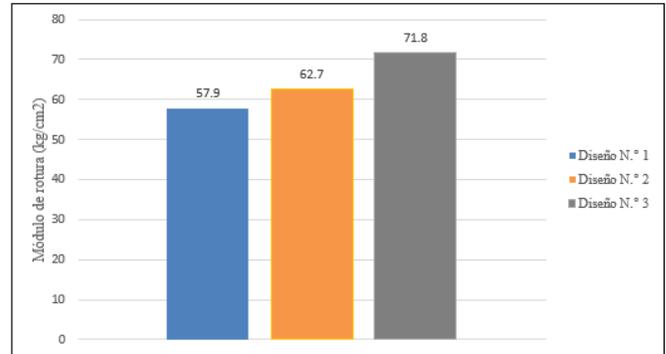


Fig. 2 Resistencia a la flexión promedio del Concreto Permeable por cada tipo de diseño de mezcla a 28 días

Permeabilidad

La Tabla 11 precisa los coeficientes de permeabilidad que obtienen el Diseño de Mezcla N.º 1, N.º 2 y N.º 3 para cada probeta cilíndrica ensayada. La totalidad de especímenes evacuaron el mismo volumen de agua de 500 cm³, que, expresados en columna de agua en centímetros fue de 6.17.

Tabla XI
PERMEABILIDAD DEL CONCRETO PERMEABLE SEGÚN DISEÑO A 13, 15 Y 17% DE VACÍOS

Ensayo de permeabilidad de probetas de concreto permeable según Diseño										
Diseño	Muestra	Longitud promedio (cm)	Tiempo de descarga (s)	Área tubo de ensayo (cm ²)	Área promedio (cm ²)	Altura de carga inicial (cm)	Altura de carga final (cm)	K (cm/s)	K (mm/m)	Promedio (mm/m)
N.º 1	D13-K1	20.20	19.33	81.10	80.12	38.17	32.00	0.19	111.90	119.84
	D13-K2	20.30	17.67	81.10	81.00	38.17	32.00	0.20	121.68	
	D13-K3	20.50	17.50	81.10	79.80	38.17	32.00	0.21	125.94	
N.º 2	D15-K1	20.40	98.00	81.10	80.80	38.17	32.00	0.04	22.10	18.43
	D15-K2	20.15	132.00	81.10	80.12	38.17	32.00	0.03	16.35	
	D15-K3	20.30	127.68	81.10	81.03	38.17	32.00	0.03	16.83	
N.º 3	D15-K1	20.10	145.00	81.10	80.12	38.17	32.00	0.02	14.84	15.99
	D15-K2	20.35	105.00	81.10	79.20	38.17	32.00	0.03	20.99	
	D15-K3	20.30	182.60	81.10	78.54	38.17	32.00	0.02	12.14	

C. Diseño estructural de pavimento rígido permeable

C.1. Estudio de tráfico

Se estudió la Av. Antenor Orrego de la ciudad de Trujillo, ubicada entre la Av. Jesús de Nazareth y Ca. Los Colibríes, en el día una longitud de tramo de 1.590 km. La proyección de tránsito fue de 4 mil 810 vehículos; en los tipos de vehículos liviano, el auto fue el que tuvo mayor volumen, mientras que, en los tipos de vehículos pesado, fue el Camión de dos ejes simples.

TABLA XII
DEMANDA DE VOLUMEN DE TRÁFICO DE AV. ANTONOR ORREGO, TRUJILLO, 2022

Estudio de tráfico Vial Av. Antonor Orrego a Ca. Los Colibríes									
Configuración Vehicular	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Total Semanal	IMD
Auto liviano	2981	3924	3677	4307	3635	2768	3895	25187	3598
Camioneta SUV	395	663	507	706	514	512	596	3893	556
Pick up	243	473	420	546	335	260	353	2630	376
Combi	45	85	80	96	110	108	134	658	94
Camión 2 ejes (IRS + IRS)	56	53	70	85	81	64	72	481	69
B2	56	51	53	71	66	58	64	419	60
C2 - Camión 2 ejes (IRS+IRD)	24	27	37	59	52	39	58	296	42
C3 - Camión de 2 ejes (IRS+1 Tándem (2RD))	7	11	6	11	10	7	13	65	9
T2S1	6	3	4	7	4	8	9	41	6
Total de vehículos por tipo								33670	4810

El número de repeticiones de Ejes Equivalentes en su vida útil de 20 años como carretera de pavimento rígido permeable fue de 4 millones 588 mil 372 de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2tn. En consiguiente, la clasificación de tránsito del proyecto se ordena dentro del parámetro TP7 (Tránsito menor a 5 millones de ejes equivalentes de 8.2 tn).

TABLA XIII
NÚMERO DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES DE 8.2TN PROYECTADOS PARA UNA VIDA ÚTIL DE PAVIMENTO PERMEABLE DE 20 AÑOS EN AV. ANTONOR ORREGO

Configuración vehicular	Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2Tn					Número de repeticiones EE
	EE (día - carril)	n (años)	r (%)	FCA	Días	
Auto liviano	0.43	20	1.28	22.63	365	3,572.50
Camioneta SUV	0.60	20	1.28	22.63	365	4,964.37
Pick up	0.86	20	1.28	22.63	365	7,082.37
Combi	0.54	20	1.28	22.63	365	4,423.64
Camión 2 ejes (IRS + IRS)	86.76	20	5.90	36.39	365	1,152,487.85
B2	136.80	20	1.28	22.63	365	1,129,908.87
C2 - Camión 2 ejes (IRS+IRD)	114.56	20	5.90	36.39	365	1,521,798.95
C3 - Camión de 2 ejes (IRS+1 Tándem (2RD))	27.94	20	5.90	36.39	365	371,121.73
T2S1	29.59	20	5.90	36.39	365	393,011.49
Ejes Equivalentes de diseño						4,588,371.8

C.2. Diseño de paquete estructural

La metodología empleada fue la AASHTO 93, misma que es propuesta por el Manual Suelos y Pavimentos del MTC. Dicha metodología detalló que para la concepción de un diseño se necesita de dos parámetros que son el periodo de diseño, que fue de 20 años, y las 8 variables resumidas en la Tabla 14.

TABLA XIV
RESUMEN DE VARIABLES DE AASHTO 93

Diseño de variables a emplear en Ecuación 19 de la AASHTO93				
Variables de diseño	Símbolo	U.M.	Valor	
Espesor de losa de concreto	D	mm	158.86	
Número previsto de ejes equivalentes	W82	EE	4,588,372	
Resistencia media del concreto	Mr	MPa	7.00	
Módulo de elasticidad del concreto	Ec	MPa	26,312.23	
Módulo de reacción	K	MPa/m	76.30	
Desviación normal estándar	Zr	-	-1.036	
Error estándar combinado	So	-	0.35	
Diferencia entre índices de servicio inicial y final	ΔPSI	-	1.80	
Índice de serviciabilidad final	Pt	-	2.50	
Coefficiente de drenaje	Cd	-	1.00	
Coefficiente de transmisión de carga	J	-	3.20	

Ecuación (1) para de espesor de losa por medio de AASHTO 93.

(1)

$$\log_{10} W_{82} = Z_p S_0 + 7.35 \log_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \times \log_{10} \left(\frac{M_r C_{dr} (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times \left(0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{\left(\frac{E_c}{K} \right)^{0.25}} \right)} \right)$$

Producto de operar dichas variables dentro de la ecuación de AASHTO93 y de iterar hasta igualar valores, se obtuvo como resultado un espesor de losa de 160 mm. Por lo que, sumado al espesor de subbase granular de 150 mm, y posterior a una compactación de sub rasante, se tiene un pavimento final de 310 milímetros. Fig. 3 muestra la sección propuesta de pavimento permeable.

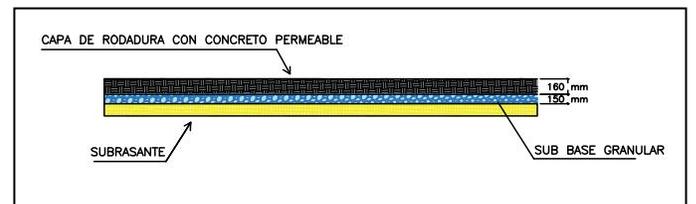


Fig. 3 Propuesta de pavimento permeable final según diseño AASHTO 93

No obstante, si uno sigue las recomendaciones del Catálogo Estructural propuesto por el MTC se debería tomar en cuenta un espesor de losa de 230 mm y una sub base granular de 150 mm dando como paquete estructural un pavimento de 380 mm. Fig. 4 muestra la sección propuesta de pavimento permeable según recomendaciones del MTC.

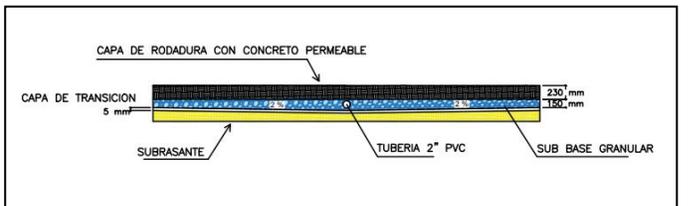


Fig. 4 Propuesta de pavimento permeable final con conducción de aguas según Catálogo Estructural del MTC

D. Mitigación de impactos meteorológicos

El fenómeno meteorológico analizado fue la precipitación anual que recibe la ciudad de Trujillo; ergo, se consideró el estudio de la cuenca hidrológica del Río Moche. Este último sirvió para precisar la intensidad de lluvia esperada que puede recibir la ciudad entre un periodo horario de 24 horas para tiempos de retorno de 2, 5, 10 y 30 años, y expresarla de forma gráfica a través de las Curvas IDF en la Fig. 5.

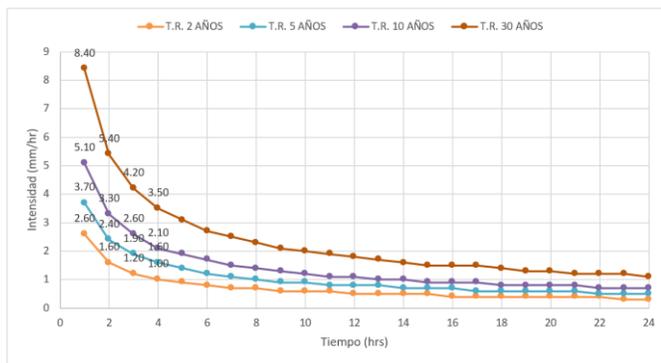


Fig. 5 Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) de la cuenca hidrográfica del Río Moche

Los valores de intensidad de lluvia presentados en la Fig. 5 resume el comportamiento probable que tendrán las precipitaciones en la localidad de Trujillo, siendo los valores de la primera hora los de mayor repercusión. Para un tiempo de retorno de 30 años se tuvo que la intensidad en la primera hora de lluvia fue de 8.40 mm/h; en tanto que, fue de 5.10, 3.70 y 2.60 mm/h para los periodos de retorno de 10, 5 y 2 años, correspondientemente.

Los datos de permeabilidad que puede afrontar el concreto de Diseño N.º 1, N.º 2 y N.º 03 fueron de 120 mm/m, 18 mm/m y 16 mm/m, respectivamente. Por lo que, el total de diseños cumplen con suplir la necesidad de drenaje que necesita Trujillo. Sin embargo, el Tercer Diseño es el único que puede ser aplicado como capa externa del pavimento dado que cuenta con una resistencia a ser comprimido de 315 kg/cm² y un módulo de rotura capaz de soportar 71.8 kg/cm².

Por lo que, los fenómenos meteorológicos capaces de ser mitigados están en orden a la facultad que tiene la estructura a soportar cargas vehiculares y la de drenar las masas de agua producto de la lluvia o la cotidianidad de las personas con el uso de este recurso. Como investigadores se identificó que el pavimento permeable propuesto para la Av. Antenor Orrego puede mitigar: el hidroplaneo de los vehículos, el deterioro de estructuras viales causado por precipitaciones, las escorrentías superficiales; y, brindar el control de lluvias en un periodo de retorno de hasta los 30 años, puesto que, fue el máximo determinado para el proyecto. De la misma manera, el pavimento rígido permeable planteado, al considerar la dualidad de servicio, disminuye la alteración del ciclo natural del agua al permitir el reingreso de esta al subsuelo.

IV. CONCLUSIONES

Se analizó la influencia que poseen los pavimentos permeables como alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo concluyendo que su aplicación trae beneficios para el control de lluvias sin abandonar su principal virtud de permitir el paso

continuo de vehículos durante su vida útil. La propuesta de pavimento permeable presentó la oportunidad de mejorar la convivencia humana con la infraestructura vial que dispone la ciudad de Trujillo debido a que al ofrecer una configuración porosa que aminora la escorrentía de agua a la vez que faculta el tránsito común de vehículos genera una seguridad al paso del peatón como de los vehículos; su aplicación, asimismo, contribuye con el medio natural generando la conservación del ciclo del agua, pues habilita el marco idóneo para el reintegro del agua al subsuelo, y acerca a Trujillo a ser una ciudad sostenible.

Se estableció las propiedades físicas de los agregados involucrados en la fabricación del pavimento permeable. La piedra chancada de huso 67, como agregado grueso, alcanzó un TMN de 3/4" y un módulo de finura de 6.53; mientras que, la arena gruesa zarandeada, como agregado fino obtuvo un módulo de finura de 2.50. Respecto al peso unitario de los agregados, se tuvo un peso unitario suelto y compactado de 1625 kg/m³ y 1785 kg/m³ para la piedra chancada; por su parte, el peso unitario suelto y compactado de la arena gruesa fue de 1670 kg/m³ y de 1785 kg/m³. Concerniente al peso específico de los materiales pétreos, el agregado grueso al igual que el agregado fino mostraron un valor de 2.56 gr/cm³; empero, en la absorción lograron valores distintos siendo 1.4% y 0.80%, respectivamente. En cuanto al contenido de humedad, la piedra de huso 67 consiguió un resultado de 0.70% y la arena gruesa zarandeado un resultado de 1%. Se concluye que la caracterización de agregados destinados a la fabricación del pavimento permeable permite distribuir su participación dentro del paquete estructural final, así como, desarrollar su dosificación en el diseño de mezcla de concreto.

Se determinó las seis características mecánicas e hidráulicas del concreto permeable, tres respecto a su estado fresco y tres para estado endurecido según dictó la Normativa Técnica Peruana y el Instituto Estadounidense de Concreto; asimismo, se elaboró tres diseños de mezcla de concreto poroso cada uno con diferentes porcentajes de vacíos definidos en 13, 15 y 17. El que presentó mejor desempeño fue el Diseño de Mezcla N.º 3 correspondiente a un concreto permeable con porcentaje de vacíos de 17. La distribución que tuvo por m³ fue: por material cementante, 381.70 kg, por contenido de agua, 138.016 L, por agregado grueso de huso 67, 1249.002 kg, por arena gruesa zarandeada, 221.069 kg, por aditivo plastificante (SikaCem Plastificante) 3.817 kg, por contenido de vacíos, 17%. Este mostró en su estado fresco una temperatura de 22.5 °C, un revenimiento de 5.50 pulgadas y un peso unitario de 2426 kg/m³, mientras que, en su estado endurecido logró una resistencia a la compresión de 315 kg/cm², una resistencia a la flexión de 71.8 kg/cm² y un coeficiente de permeabilidad de 16 mm/min. Se concluyó que, para la capa externa del pavimento permeable propuesto para la Av. Antenor Orrego en la ciudad de Trujillo, considerando el equilibrio mecánico y de drenaje, el diseño de mezcla a

utilizar es el N.º 3: concreto poroso con porcentaje de vacíos de 17.

Se elaboró la sección estructural del pavimento rígido permeable para la Avenida Antenor Orrego según los parámetros exigidos por el Manual de Suelos y Pavimento del Perú y mediante la metodología de diseño estadounidense AASHTO 93. La composición de capas consistió en dos secciones, como capa de rodadura de concreto un espesor de 160 mm y como subbase granular un espesor de 150 mm. En contraste, el Catálogo Estructural del Ministerio de Transportes y Comunicaciones consideró un diseño estructural de 380 mm dividido en: 230 mm para la capa superficial de rodadura y 150 mm de subbase granular; a lo que, como autores, se le agregó una capa de transición, entre la subbase y la subrasante, de 50 mm compuesto de arena gruesa con una pendiente al interior del 2%; para conducción central de aguas, se añadió una tubería perforada de 2". Se concluyó que, ambos diseños de sección estructural de pavimento poroso se pueden aplicar en la Av. Antenor Orrego de la ciudad de Trujillo con el fin de proyectar una vía urbana de 20 años de vida útil pues guardan sintonía con la normatividad vigente.

Se determinó los impactos meteorológicos capaces de ser mitigados, producto de las precipitaciones que recibe de la cuenca hidrográfica del Río Moche, en el entorno urbano de Trujillo con la aplicación del pavimento permeable. Se concluye que estos están en orden a la facultad que tiene la estructura a soportar cargas vehiculares y la de drenar las masas de agua resultado de la lluvia o la cotidianidad de las personas con el uso de este recurso. Los problemas que el pavimento permeable atenúa son: el hidroplaneo de los vehículos, el deterioro de estructuras viales causado por precipitaciones y las escorrentías superficiales. Asimismo, brindó el control de lluvias y disminuyó la alteración del ciclo natural del agua al permitir el reingreso de esta al subsuelo.

Por lo argumentado, se permite validar la hipótesis planteada indicando que los pavimentos permeables influyen positivamente en la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo en 2022.

La principal limitante presentada en este estudio fue la falta de una norma técnica nacional referente al diseño, preparación, colocación, consolidación, curado y cuidado del pavimento rígido permeable. Esto genera que no se precisen factores como la protección ante climas extremos de frío y calor, así como, el grado de compactación de sub rasante según tipo de suelos.

AGRADECIMIENTO

A nuestro maestro y asesor Mg. Sagastegui Vásquez, German por aleccionar con amor y paciencia nuestro camino de investigación. De la misma manera, a nuestra institución, Universidad Privada del Norte y a la Escuela Profesional de

Ingeniería Civil por habernos dado la orientación y el conocimiento para el desarrollo de la investigación.

REFERENCIAS

- [1] Delgado Berrocal, S. (2019). Paisajes de altura: los andenes del distrito de Cabana, Valle del Sondondo, Perú. *Revista Proyecto, Progreso, Arquitectura*, N21, 72-85. DOI: <https://doi.org/10.12795/ppa.2019.i21.04>
- [2] Freire Delgado, B. y Díaz Ortiz, J. E. (2008). Manejo del recurso hídrico en culturas precolombinas. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, (7), 75-83. <http://hdl.handle.net/10893/2604>
- [3] Jato, D., Andrés, V., Rodríguez J., Castro, D. (2019). Pavimentos urbanos permeables. *Revista de Obras Públicas*, 166 (3607). 32-36.
- [4] Esquerre Silva, M. M. y Silva Silva, H. W. (2019). *Propuesta de diseño de pavimento drenante para la captación de agua de lluvias en zonas urbanas del norte del Perú* [Tesis de Grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)]. DOI: <https://doi.org/10.19083/tesis/625617>
- [5] Instituto Nacional de Defensa Civil, (2017). *Compendio Estadístico Del INDECI 2017 Gestión Reactiva*. Biblioteca Nacional del Perú N.º 2017 - 14971. <https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/201802271714541.pdf>
- [6] Abusada Salah, R. (18 de octubre de 2018). El pobre estado de nuestra infraestructura. *El Comercio*. <https://elcomercio.pe/opinion/columnistas/pobre-nuestra-infraestructura-abusada-salah-noticia-568823-noticia/>
- [7] Ministerio del Ambiente. (2015). *Orientaciones básicas sobre el Ordenamiento Territorial en el Perú*. (2 edición). Biblioteca Nacional del Perú N.º 2015-10791.
- [8] Salas Pérez, C., Coy Castro, D., Acuña Ramírez, K., Páez Cuervo, L., y Upegui, E. (2019). Crecimiento urbano e impermeabilización del suelo alrededor de la Reserva Forestal Thomas van der Hammen, en la ciudad de Bogotá. *Ambiente y Desarrollo*, 23(44). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd23-44.cuis>
- [9] Rodríguez Eugenio, N., McLaughlin, M. y Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta*. Roma, FAO.
- [10] Li, X.-J., Deng, J.-X., Xie, W.-J., Jim, C.-Y., Wei, T.-B., Lai, J.-Y. y Liu, C.-C. (2022). Comprehensive Benefit Evaluation of Pervious Pavement Based on China's Sponge City Concept. *Water*, 14(9), 1500. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14091500>
- [11] Flores Moras, M. A. (2014). *Construcción del aparcamiento de firmas permeables de la Guía, Gijón* [Tesis de Grado, Universidad de Cantabria]. Repositorio Abierto de la Universidad de Cantabria.
- [12] Cárdenas Gutiérrez, E., Albitzer Rodríguez, Á., Jaimés Jaramillo, J. (2017). Pavimentos permeables. Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso agua. *Ciencia Ergo Sum*, 24(2), 173 - 184. <https://doi.org/10.30878/ces.v24n2a9>
- [13] Ravello Bolo, M. R. L. y Baldeón Condori, A. S. (2020). Propuesta de concretos permeables para la captación de agua de lluvia en pavimentos de estacionamientos de hospitales en Arequipa [Tesis de Grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)]. <http://hdl.handle.net/10757/652418>
- [14] León, M. P. y Ramírez, F. (2010). Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes. *Revista Ingeniería de construcción*, 25(2), 215 - 240. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732010000200003>
- [15] Ayuque Gómez, E. (2019). *Propiedades del concreto en estado fresco y endurecido utilizando cementos comerciales en la ciudad de Huancavelica* [Universidad Nacional de Huancavelica]. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3178>
- [16] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2014). *Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección Suelos y Pavimentos*. Biblioteca Nacional del Perú N.º 2014-08985.
- [17] Campos y Covarrubias, G. y Lule Martínez, N. E. (2012). La observación, un método para el estudio de la realidad. *Xihmai*, 8(13), 45 - 60. Universidad La Salle de Pachuca.
- [18] Arias, F. G. (2012). *El Proyecto de Investigación: introducción a la metodología científica*. Editorial Episteme C.A.