

Diseño de un pavimento rígido permeable como sistema urbano de drenaje sostenible

Design of a rigid permeable pavement as a sustainable urban drainage system

Pedro Ronald Guerra Chayña¹
guerra.piter.16@gmail.com

**EP. Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura,
Universidad Peruana Unión, Lima Perú**

César Edwin Guerra Ramos²
cguerraramos699@gmail.com

**EP. Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura,
Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Perú**

.....

Resumen

Los pavimentos rígidos permeables, empleados en áreas urbanas, permiten lograr un sistema de drenaje sostenible. En la presente, se analiza el desempeño de un pavimento rígido permeable en la mejora de la calidad en el drenaje a través del diseño de 4 tramos de vías de estudio, como infraestructura urbana de bajo tránsito, ubicado en la ciudad de Juliaca, Sur del Perú, que actuó como sistema urbano de drenaje sostenible durante la presencia de lluvias en la localidad, haciendo énfasis a los parámetros de comportamiento, mecánicos e hidráulicos; puesto que el diseño convencional de pavimentos en el Perú se centra más en la resistencia, mas no en la preservación del agua. La metodología de la investigación es de tipo aplicada con un diseño pre-experimental. Para el desarrollo se introducen aspectos básicos del concreto permeable en conjunto con parámetros necesarios para diseñar pavimentos urbanos y la guía AASHTO 93. En el diseño para el concreto se realizaron tres diseños de mezcla adicionando tiras de polipropileno. El diseño de mezcla optimo (0.05% de polipropileno) obtuvo como resultados mecánicos: a los 28 días, una resistencia a la compresión del concreto, de 196.95 kg/cm², módulo de rotura 31.74 kg/cm² y como

1 Ingeniero Civil, Investigador de la Universidad Peruana Unión, Perú.

2 Ingeniero Civil, Maestría en Ingeniería Civil mención Geotecnia, Docente e Investigador de la Universidad Nacional del Altiplano, Perú. Consultor de obras, Past-Decano CIP-CD Puno.

resultado hidráulico se logró una permeabilidad de 0.463 cm/s. Para dimensionar la estructura del pavimento se consideró los criterios vigentes de la guía de diseño AASHTO 93 logrando como resultados: espesores de losa de concreto permeable de 20 cm., una subbase granular filtrante de 30 y 40 cm, con una tubería perforada de 25 cm, 30 cm y 35 cm de diámetro, en tramos y colectores principales respectivamente y una capa anticontaminante de 5 cm usada para proteger la subbase. El tiempo en que el agua se infiltra por la superficie del pavimento hacia el subdrenaje es de 1:36 horas. Concluyendo que el pavimento rígido permeable es una alternativa con aplicación eficiente en la evacuación del agua de lluvia y cumple los requerimientos estructurales, para un bajo tránsito vehicular.

Palabras clave:

Calidad en el drenaje; estructura de pavimento; sistema urbano; vías de bajo tránsito.

Abstract

Rigid permeable pavements, used in urban areas, allow to achieve a sustainable drainage system. In the present, the performance of a rigid permeable pavement in improving drainage quality is analyzed through the design of 4 sections of study roads, as urban infrastructure with low traffic, located in the city of Juliaca, South of the Peru, which acted as a sustainable urban drainage system during the presence of rains in the locality, emphasizing the behavioral, mechanical and hydraulic parameters; since conventional pavement design in Peru focuses more on resistance, but not on water preservation. The research methodology is of an applied type with a pre-experimental design. For the development, basic aspects of permeable concrete are introduced together with the parameters necessary to design urban pavements and the AASHTO 93 guide. In the design for concrete, three mix designs were made adding polypropylene strips. The optimal mix design (0.05% polypropylene) obtained as mechanical results: after 28 days, a compressive strength of the concrete of 196.95 kg/cm², modulus of rupture 31.74 kg/cm² and as a hydraulic result a permeability was achieved 0.463 cm/s. To size the pavement structure, the current criteria of the AASHTO 93 design guide were considered, achieving the following results: permeable concrete slab thickness of 20 cm., A filtering granular subbase of 30 and 40 cm, with a 25 cm perforated pipe. , 30 cm and 35 cm in diameter, in sections and main collectors respectively and a 5 cm anti-pollution layer used to protect the subbase. The time in which the water infiltrates the pavement surface into the sub-drain is 1:36 hours. Concluding that the permeable rigid pavement is an alternative with efficient application in the evacuation of rainwater and meets the structural

requirements, for low vehicular traffic.

Keywords:

Low-traffic roads; pavement structure; quality in drainage; urban system.



Introducción

Actualmente, en la práctica moderna para resolver los problemas de drenaje en las áreas urbanas se encuentra la construcción de pavimentos con drenajes sostenibles ya que, a comparación del desarrollo de viabilidades típicas con estándares convencionales en el diseño y la construcción en sus superficies de rodamiento, los diversos problemas que se presentan por el drenaje no son solucionados.

Los criterios tradicionales para el diseño y construcción de sus superficies de rodamiento usualmente se refieren a la accesibilidad, la resistencia y a la eficiencia económica, esto es, que los beneficios directos para el tránsito de vehículos sean mayores a los costos involucrados, sin tomar en cuenta externalidades producidas como los daños al medioambiente. (Cárdenas, Albiter, & Jaimes, 2017).

A lo largo de los últimos años se han presentado en el Perú problemas en el drenaje provocadas por las precipitaciones como es la falta de evacuación de aguas pluviales, contaminación, interrupción del ciclo hidrológico, aumentos del caudal de escorrentía. Disminución de tiempo de concentración e incremento de inundaciones; todo esto generado por el aumento de áreas pavimentadas que va de la mano con el aumento de la población, ya que al crecer más las áreas a urbanizar se altera el equilibrio en el medio ambiente. El fenómeno de inundaciones urbanas, que está relacionado con la falta de capacidad de diseño de los sistemas de drenaje cuando se presenta una precipitación elevada, es un problema global que tiene por consiguiente consecuencias económicas y sociales. (Alfaro, 2017).

Juliaca sumergida actualmente en esta realidad tiene constantes inundaciones en épocas de avenida, es así que la lluvia juega un papel importante ya que al no realizar una gestión integral adecuada para el drenaje año tras año colapsa estancando agua y provocando inundaciones en la superficie de los puntos más bajos de la ciudad, generando deterioro del pavimento convencional (flexible o rígido) como son fallas superficiales y en otros casos fallas estructurales, todo esto genera congestión y un fluido ineficiente del tránsito, además el drenaje urbano con el que cuenta la ciudad de Juliaca ha sido incapaz de evacuar el agua de lluvia concentrada en la superficie del pavimento generando contaminación en las aguas estancadas. Casi toda la ciudad de Juliaca tiene la topografía llana y por ende el agua no puede evacuarse por gravedad, todas estas características actuales de la ciudad juntamente con el excesivo uso de pavimentos impermeables o convencionales genera el colapso de drenaje pluvial derivando así en un impacto negativo.

Debido a esta necesidad los sistemas de drenaje sostenible emergen con el objetivo de recuperar el ciclo natural del agua y disminuir los impactos negativos que generan la construcción de obras, por ende, resulta necesario que se desarrolle el diseño de un drenaje sostenible que pueda otorgar una solución hacia esta problemática y el pavimento permeable aparece como solución.

Los pavimentos permeables son un tipo especial de pavimento, que gracias a su diseño permite la infiltración del agua por medio de su estructura y permite el almacenamiento temporal de la misma en la subbase, para su posterior disposición o infiltración en el terreno (Falcon & Santos, 2016). Estas técnicas alternativas pretenden complementar, o en algunos casos sustituir, los sistemas de drenaje convencionales aliviando las demandas excesivas que se presentan de manera puntual en el tiempo de las redes de alcantarillado pluvial y combinado (Alfaro, 2017).

Metodología

Tipo de investigación.

De acuerdo a la orientación la investigación es Aplicada, algunos autores lo nombran “investigación práctica o empírica”, pues se caracteriza por buscar la aplicación y utilización de los conocimientos, mediante pruebas o experimentos en laboratorio, con diseño pre-experimental con pre-prueba y post-prueba.

Figura 1. Diseño pre-experimental



Para el diseño de la investigación se realizó una medición antes y después del estímulo en este caso diseño, analizando en cuanto tiempo el agua evacua por el pavimento rígido con sistema de drenaje tradicional, con el de un pavimento rígido permeable como sistema urbano de drenaje sostenible, en la Tabla 1 muestran los criterios de que se tomaron para realizar la evaluación:

Tabla 1. Calidad en el drenaje

| Coefficiente de Drenaje | Tiempo que tarda el agua en ser evacuada |
|-------------------------|--|
| Excelente | 2 horas |
| Bueno | 1 Día |
| Regular | 1 Semana |
| Pobre | 1 Mes |
| Muy Pobre | El agua no evacua |

Fuente: AASHTO 93.

Objeto de estudio

La investigación se desarrolló en la región Puno, provincia de San Román,

distrito de Juliaca, Villa Chullunquiani, ubicada a 5 km de la ciudad de Juliaca (cercado) a una altura de 3824 metros de altura sobre el nivel del mar. La cantera utilizada es la del río Isla, de la cual se extrajeron los materiales granulares para el desarrollo de la investigación, situada en la salida al centro poblado de Isla, con una distancia de 9.72 km en línea recta desde el centro de la ciudad de Juliaca hasta ella, a pocos metros del puente del mismo nombre. La cantera mencionada pertenece al río Cabanillas. El objeto de estudio para la investigación fue designado en 4 tramos designados de la siguiente manera: Tramo I, II, III y IV.

Proceso metodológico

Se realizaron mediante 3 etapas en las cuales se definieron los tramos, se hizo la recolección de datos correspondientes, los diseños requeridos, la validez realizada mediante los ensayos y la confiabilidad que nos pueden otorgar estos.

Estudios básicos de ingeniería

Información topográfica

Según (Narváez, 2005), “la topografía como ciencia tiene por objeto representar el terreno sobre el papel de la manera más exacta posible, permitiéndonos determinar todo el conjunto de particularidades de la configuración de un terreno”. Reconocimiento de Terreno, delimitación de las áreas de interés o de estudio, levantamiento topográfico y trabajo en gabinete (procesamiento de información).

Estudio geotécnico

El estudio geotécnico tiene un papel importante en obras viales ya que la mayoría de, obras viales utilizan la geología para realizar el estudio de los suelos de los lugares que serán usadas para dichas obras. Para realizar el diseño de pavimentos, es esencial conocer las propiedades físicas y mecánicas del suelo, ya que estos datos nos permitirán comprender las

características generales y sus comportamientos del terreno usado para el proyecto.

Estudio hidrológico

Como parte del diseño del proyecto se deben considerar proyectos hidráulicos que se refieren a la defensa contra los daños que ocasiona el agua en este caso específico el drenaje urbano y vial, es decir la precipitación como factor principal y los factores que se determinan a partir de este. La precipitación es toda forma de humedad que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo. (Villón, 2002). Recopilación de información tomada de la carta nacional 31v, cálculo de la precipitación máxima para un determinado periodo de retorno, cálculo de las curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia.

Estudio de tráfico

Probablemente la variable más importante en el diseño de una vía es el tránsito, pues, si bien el volumen y dimensiones de los vehículos influyen en su diseño geométrico, el número y el peso de los ejes de estos son factores determinantes en el diseño de la estructura de pavimento (Montejo, 2002). A partir del Aforo vehicular, se calculan repeticiones de ejes equivalentes, presión de neumáticos, tipo de tráfico y tasas de crecimiento y proyección hasta expresarlos en números ESAL (Equivalent Single Axle Load), Eje de Carga Simple Equivalente.

Diseño geométrico

El (MTC, 2014), indica que “El diseño geométrico es esencial en una vía ya que establece la condición geométrica del conjunto tridimensional que supone, para así cumplir la funcionalidad, seguridad, estética, comodidad, economía, etc.”, Clasificación de vía, definición de velocidad y vehículo de diseño, alineamientos reglamentación y criterios de diseño.

Elaboración de especímenes

Para las elaboraciones de las muestras se realizaron 3 diseños de mezcla, primero se colocó el agregado grueso y fino de la cantera Isla, el grueso en mayor cantidad que el fino, la mezcla se mezcló en un tiempo aproximadamente de 1 minuto y se colocó el cemento, continuando su mezcla por otro minuto, seguidamente se añadió las tiras de polipropileno en 3 proporciones para cada diseño (0.00%, 0.05%, 0.010%) el mezclado se hizo hasta lograr una buena adherencia de los materiales; la mezcla fue colocada en los moldes previamente a su uso lubricadas con combustible (petróleo) para facilitar el desmoldado y evitar pérdidas al momento de sacarlo del molde, al momento de rellenar los moldes se compactó con golpes por cada capa puesta distribuidas uniformemente en toda el área del molde, se enrasó tratando de homogenizar la mezcla usando una barra de compactar, para finalmente envolver las mezclas con plástico para iniciar con el curado. Para el curado después de 24 horas fueron desmoldados e inmersos en agua en una poza de curado por 7, 14 y 28 días para ensayar las muestras.

Pruebas

Las pruebas realizadas fueron: resistencia a la compresión, resistencia a la flexión (módulo de rotura), permeabilidad; basándose en las siguientes normativas:

Tabla 2. Ensayos para el concreto permeable

| Ensayos | Normativa |
|-----------------------------|---------------|
| Resistencia a la Compresión | ASTM C39/C39M |
| Resistencia a la Flexión | ASTM C293/02 |
| Permeabilidad | ACI 522R |

Fuente: Elaboración propia.

Diseño de pavimento

Los pavimentos permeables al ser una alternativa de mitigación de la escorrentía superficial y los caudales pico, genera zonas donde el agua

infiltra o se almacena amortiguando la cantidad de agua de la lluvia, la estructura está diseñada de forma que funcione como sistema de drenaje sostenible, con una capa de rodadura que permite la entrada de agua, capa compuesta de material granular, capa de transición como capa protectora; estos puntos son importantes para realizar su correcto diseño. Actualmente, no existe un método normado para pavimentos de concreto permeable, es por ello que se diseñara mediante el método de diseño AASHTO 93, se evaluará y analizará la calidad en el drenaje que tiene en este diseño. Para la subbase permeable los parámetros tomados serán en base a las especificaciones técnicas generales para construcción y las recomendaciones correspondientes.

Parámetros necesarios para el diseño de la estructura del pavimento

Se hace necesario la determinación de los parámetros de diseño, para ello se evalúa las condiciones locales y la realidad física encontrada correspondiente a la zona de estudio.

- Datos de ingeniería básica obtenidos para el diseño

La Tabla 3 muestra los datos de ingeniería obtenidos para desarrollar el diseño del pavimento rígido permeable.

Tabla 3. Datos iniciales de diseño

| Pendiente promedio (m/m) | CBR de diseño | Intensidad (mm/hr) | ESAL | Tipo de Vía |
|--------------------------|---------------|--------------------|--------|-------------------------|
| 0.0124 | 13.8 | 55.20 | 728000 | Urbana de bajo tránsito |

Fuente: Elaboración propia.

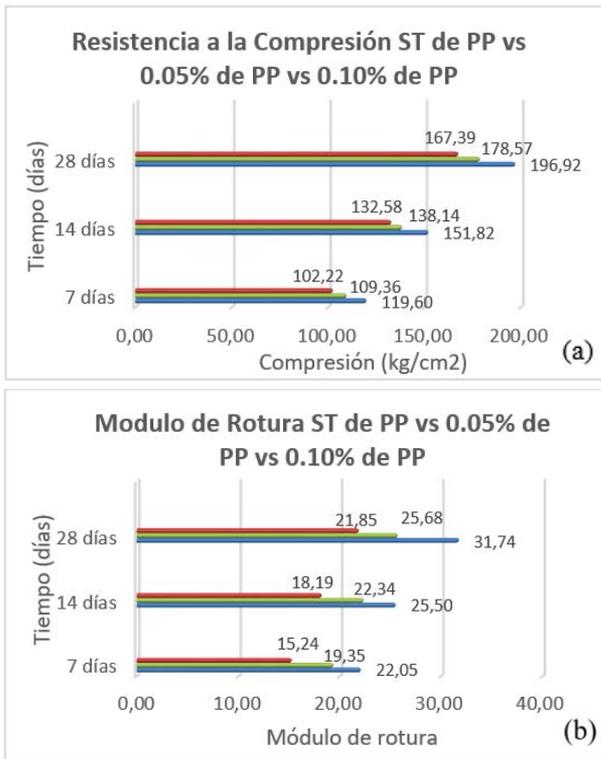
- Losa de Concreto Permeable

Para obtener la losa de concreto permeable se realizaron tres diseños de mezcla adicionando porcentajes de tiras de polipropileno una con 0.05%, otra con 0.10% y una última sin tiras para ver cual tiene mejores resultados en cuanto a las propiedades físico-mecánicas (resistencia a la compresión y flexión) e hidráulicas (permeabilidad).

- **Resistencia Mecánica de la losa de concreto**

Los parámetros de resistencia mecánica para evaluar la capacidad del concreto para resistir los esfuerzos que se producirán son de resistencia a la compresión que comprende a la capacidad que tiene para soportar una fuerza que comprime el material y lleva a su deformación última, y la resistencia a la flexión que determina la resistencia a la tracción del concreto.

Figura 2. Resistencia Mecánica de la losa de concreto (Compresión y Flexión) sin tiras de polipropileno vs 0.05% y 0.10% con tiras de polipropileno



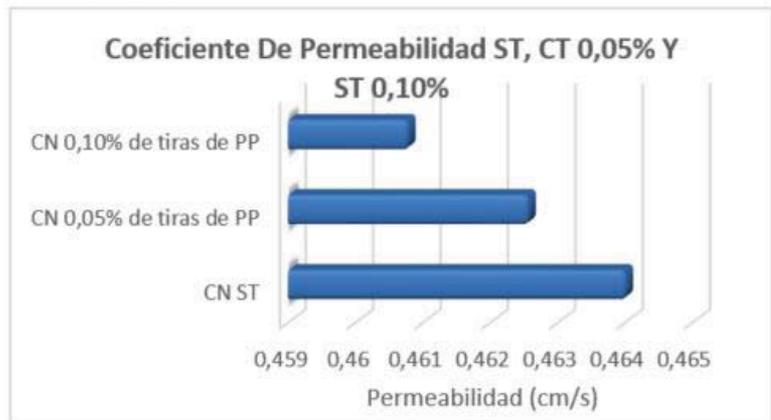
Fuente: Elaboración propia

La figura 2 muestra los valores determinados dentro de los parámetros establecidos por el ACI 522 R-10 (compresión), que indica que las protecciones deben estar en algún lugar en el rango de 70 y 280 kg/cm². Y la Norma Técnica Peruana NTP 334.003 (flexión), usada para conocer el módulo de rotura para que se pueda aplicar en estructuras de pavimentos rígidos.

- Permeabilidad

La prueba de permeabilidad en el concreto fue realizada por un permeámetro elaborado con tuberías de PVC, conforme a lo estipulado en el reporte de la ACI522R en el que se colocaron las muestras cilíndricas para su análisis. Una vez que el equipo de permeabilidad estuvo listo, el espécimen de concreto permeable se colocó dentro de las tuberías ensambladas envueltas en plástico, luego el equipo se saturó con agua hasta que se cubrió el espécimen, para terminar se abrió la válvula inmediatamente y se tomó el tiempo necesario del agua para descender. En cuanto al cálculo del coeficiente permeabilidad fue realizado utilizando la ley de Darcy. Obteniendo los siguientes resultados:

Figura 3. Coeficiente de permeabilidad sin tiras de polipropileno, 0.05% y 0.10% con tiras de polipropileno



Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos nos muestran que la variación es mínima puesto que la que no cuenta con tiras y las que cuentan con 0.05 % y 0.10 % de tiras de polipropileno no reduce en gran cantidad la permeabilidad.

Tabla 4. Resultados obtenidos a partir de los ensayos de compresión, flexión y permeabilidad con los distintos porcentajes de tiras de polipropileno

| Porcentaje de Tiras de polipropileno | Ensayo | | |
|--------------------------------------|---|--|----------------------|
| | Resistencia a la Compresión (kg/cm ²) | Resistencia a la Flexión (kg/cm ²) | Permeabilidad (cm/s) |
| 0.00 % de tiras | 167.39 | 21.85 | 0.464 |
| 0.05 % de tiras | 196.95 | 31.74 | 0.463 |
| 0.10 % de tiras | 178.57 | 25.68 | 0.461 |

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos a partir de los ensayos de compresión, flexión y permeabilidad en la que los testigos fueron analizados con las 3 distintas dosificaciones, de esta forma se puede deducir que la mezcla más adecuada es la que contiene 0.05% de tiras de polipropileno.

Parámetros necesarios para el diseño del sistema de drenaje sub superficial en el pavimento rígido permeable

Para determinar el espesor que debe tener la subbase como sistema de subdrenaje las consideraciones tomadas fueron en base a las especificaciones técnicas generales para construcción para una subbase granular y el (MIN-VU, 1996) para los criterios hidrológicos obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 5. Consideraciones de diseño para el sistema de subdrenaje

| Periodo de Retorno (años) | Precipitación Máxima (mm) | Área del pavimento (m ²) |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| 30 | 55,20 | 6964,12 |

Fuente: Elaboración propia.

El material granular de la subbase está inmersa entre los parámetros de la gradación A, según los requerimientos granulométricos que recomienda la EG-2013, viendo que es óptima para el lugar del objeto de estudio.

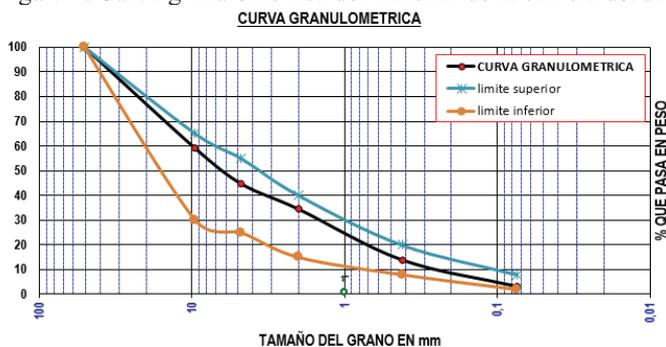
Tabla 6. Requerimientos granulométricos para subbase granular

| Tamiz | Porcentaje que pasa en Peso | |
|----------------|-----------------------------|------------------|
| | Gradación A (1) | Cantera Isla (2) |
| 50 mm. (2") | 100 | 100 |
| 9,5 mm. (3/8") | 30-65 | 59,1 |
| 4,75 mm. (4") | 25-55 | 44,8 |
| 2,0 mm. (10") | 15-40 | 34,5 |
| 425 um. (40") | 8-20 | 14,0 |
| 75 um. (200") | 2-8 | 3,3 |

Fuente: (1) EG – 2013, (2) Elaboración propia

(1) La curva de Gradación "A" deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnm.

Figura 4. Curva granulométrica del material de la cantera usada



Fuente: Elaboración propia

Resultados

Con los datos obtenidos en la anterior sección se realiza el diseño el análisis y discusión de los resultados adquiridos durante la investigación, con el objetivo de evaluarlos y contrastarlos, considerando una de las etapas más significativas y aplicables.

- Sistema de sub drenaje compuesto por material granular y tubería perforada

Los resultados obtenidos en el diseño para el subdrenaje pluvial nos permite determinar el caudal que pasara por la red vial conformada en el área de estudio, logrando el predimensionamiento del volumen de almacenamiento, espesor de la subbase y el diámetro de la tubería para la captación de las aguas pluviales.

Tabla 7. Resultados de subbase

| Volumen Subbase (m3) | Espesor de Subbase (m) | Tipo de Tubería | Diámetro de la tubería (cm) |
|----------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|
| 2101.63 | 0.30 | PVC - Cribada | 25-30-35 |

Fuente: Elaboración propia

Calidad en el drenaje

La calidad en el drenaje determinada juega un papel importante para el diseño del pavimento, comparando mediante el diseño pre experimental se obtienen los siguientes datos:

Tabla 8. Calidad del drenaje en el pavimento rígido (convencional) O1 vs pavimento rígido permeable O2

| Tipo de Pavimento | Tiempo (horas) | Observación |
|---------------------------------|----------------|-------------|
| Pavimento rígido (convencional) | 15.685 | O1 |
| Pavimento rígido permeable | 1.363 | O2 |

Fuente: Elaboración propia

- **Diseño estructural del pavimento Rígido permeable**

El diseño de la estructura del pavimento rígido permeable involucra diversos factores de diseño (Tabla 9), todos necesarios para vaticinar un comportamiento confiable que permita funcionar de forma óptima evitando que colapse en su vida de servicio. AASHTO 93 nos permite determinar estos factores de diseño como se muestra a continuación:

Tabla 9. Datos de diseño del pavimento rígido permeable

| | |
|--|--------------------------|
| Serviciabilidad | 2,5 |
| ESAL | 728000 |
| Periodo de diseño | 15 años |
| Módulo de rotura | 31,74 kg/cm ² |
| Módulo de Elasticidad | 3009714,033 PSI |
| Confiability | 70% |
| Desviación Estándar | 0,39 |
| Coefficiente de transferencia de carga | 3,1 |
| Módulo de Reacción | 92 Mpa/m |
| Capacidad de trafico | Bajo a medio |

Fuente: Elaboración propia

- **Estructura obtenida por espesores en el pavimento rígido permeable**

El pavimento cuenta con una losa de concreto drenante, una subbase granular, una capa anticontaminante la cual permite el flujo vertical del agua y aporta estabilidad y una tubería cribada la cual funciona como un sub-drenaje, como se ve en la Tabla 10.

Tabla 10. Resultados de diseño de la estructura del pavimento rígido permeable

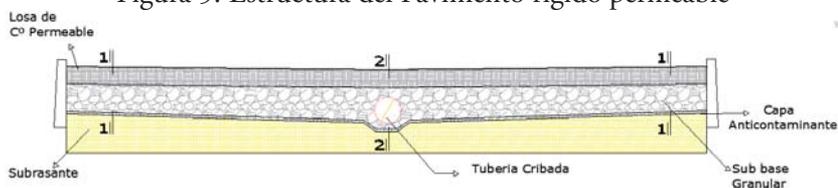
| Resultados de diseño | Pavimento Rígido Permeable (Sección 1-1) | Pavimento Rígido Permeable (Sección 2-2) |
|-------------------------|--|--|
| Espesor de losa (cm) | 20 | 20 |
| Espesor de Subbase (cm) | 30 – granular | 40 – granular |

| | | |
|----------------------------|--------------|--|
| Capa anticontaminante (cm) | 5 - granular | 5 - granular |
| Tubería de PVC | - | Cribada (10",12",14") con orificios de 1/4" cada 2" de forma alternada |

Fuente: Elaboración propia

La figura 5 muestra los resultados obtenidos del diseño, las secciones de los espesores de la estructura del pavimento rígido permeable y del sistema de drenaje sub superficial.

Figura 5. Estructura del Pavimento rígido permeable



Fuente: Elaboración propia

Discusión

En la investigación de (Hernández & Martínez, 2014) “diseño de un campo de prueba piloto de pavimentos permeables en la ciudad de Cartagena”. Se realizó el diseño de un pavimento de hormigón poroso, el aparcamiento diseñado cuenta con una subbase de 20 cm y una losa de hormigón poroso de 15 cm, el tipo de protector de la subbase es un geotextil, la permeabilidad es de 0.15 cm/s, la capacidad de tráfico es tomada para un aforo vehicular de bajo a medio, la vida útil estimada es de 20 años.

En la presente investigación se verificó que la subbase requiere un mayor espesor puesto que el área de diseño y los requerimientos hidrológicos son distintos, el protector de la subbase es una capa granular de material seleccionado que funciona como anticontaminante, la permeabilidad es mayor, esto debido a las características del material empleado, el aforo vehicular es para un tráfico urbano de medio a bajo, la vida útil estimada que

trabajara es de 15 años debido a la calidad del afluente y al mantenimiento regular que se tendrá ya que este sistema es distinto al convencional debido al alto porcentaje de vacíos. Los resultados obtenidos muestran la variación que hay entre los dos pavimentos tomando en consideración los criterios de diseño optado por las características de las dos zonas en estudio.

Tabla 11. Comparación de los resultados obtenidos del antecedente del Ph.D. Freddy Reyes con la presente investigación.

| Factor de diseño | Antecedente (Pavimento de hormigón poroso) | Presente investigación (Pavimento rígido permeable) |
|-------------------------|---|--|
| Espesor de losa (cm) | 17 | 20 |
| Subbase (cm) | 20 | 30,40 cm – granular |
| Protector de Subbase | Geotextil | Capa granular |
| Permeabilidad (cm/s) | 0.15 | 0.463 |
| Vida Útil (años) | 20 | 15 |
| Capacidad de Tráfico | Bajo | Bajo a medio |

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Este proyecto tuvo el propósito de realizar el diseño de la estructura de un pavimento rígido permeable tras una revisión de métodos de diseño existentes con el fin de evacuar las aguas pluviales que se originan en la zona logrando las siguientes conclusiones. Se obtuvieron los siguientes resultados: el espesor de losa de concreto permeable es de 20 cm, la subbase granular es de 30 y 40 cm, una tubería perforada de diámetro 25, 30 y 35 cm, una capa de transición de 5 cm como anticontaminante para proteger la subbase, estimando alcanzar una calidad de drenaje excelente (1:36 horas) según AASHTO 93 en la infiltración del agua en la superficie y un comportamiento mecánico adecuado. Concluyendo que se puede diseñar una estructura de pavimento rígido permeable como sistema urbano de drenaje sostenible.

Mediante el diseño de mezcla de concreto hidráulico poroso para una losa

de pavimento rígido permeable, utilizando agregados de la cantera Isla, determinando que el diseño recomendado es el que cuenta con una incorporación de 0.05% de adición de tiras de polipropileno. Ya que los resultados de las pruebas hidráulicas (0.463 cm/s) y mecánicas (compresión 196.95 kg/cm² y módulo de rotura: 31.74 kg/cm²) logran una aceptación adecuada.

En base a los datos obtenidos el pavimento rígido permeable trabaja como sistema de drenaje sostenible, ya que se estima evacuar el agua acumulada infiltrada por la superficie a través de una subbase filtrante y una tubería perforada, de forma que permite una adecuada gestión del agua maximizando la capacidad de almacenamiento como la de recarga.

Referencias Bibliográficas

- AASHTO. (1993). *Guía AASHTO para el diseño de estructuras de pavimentos*. Washington D.C., Estados Unidos: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Alfaro, A. (2017). Concreto permeable como sistema de drenaje de aguas pluviales en estacionamientos, caso Farmacias Sa Pablo, Sucrusal Tiáhuac-Culhuacán. (*Tesis de licenciatura*). Instituto Politécnico Nacional, Tecamachalco, México.
- Cárdenas, E., Albiter, Á., & Jaimes, 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).
- Castro, D., Rodríguez, J., Bayón, J., & Ballester, F. (2005). Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS). *Revista Interciencia*, 255.
- CIRIA. (2007). *The SuDS Manual*. CIRIA. Londres: CIRIA.
- EPA. (1999). *Preliminary data summary of urban storm water*. Washington DC: EPA-821-R-99-012.
- Falcon, F., & Santos, J. (2016). Diseño de un pavimento rígido permeable con agregados de la cantera chullqui, para el drenaje urbano en estacionamientos en la ciudad de Huánuco. (*Tesis de licenciatura*). Universidad Nacional Hermilio Valdizan, Huánuco, Perú.
- Gómez, E., Castillo, E., & Castro, D. (2011). Análisis y contraste de

- diferentes pavimentos permeables para la gestión de aguas pluviales en un área de estacionamiento en el norte de España. *Water Resour Manage*, 25(1525-1535). España. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s11269-010-9758-x>
- Guerra, P. R. (2019). Calidad en el drenaje y diseño de un pavimento rígido permeable con agregados de la cantera Isla, en las vías de la Villa Chullunquiani del sector nor-oeste de la ciudad de Juliaca. (*Tesis de licenciatura*). Universidad Peruana Unión, Juliaca, Perú. Obtenido de <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/3013>
- Hernández, B., & Martínez, O. (2014). diseño de un campo de prueba piloto de pavimentos permeables en la ciudad de Cartagena. (*Tesis de licenciatura*). Universidad de Cartagena, Cartagena de Indias.
- Interpave. (2008). *Guide to the design, construction and maintenance of concrete block permeable pavements*. Leicester: Interpave The Precast Concrete Paving & Curb Association.
- MINVU. (1996). *Manual de Técnicas Alternativas Para Soluciones de Aguas*. Santiago: Ministerio de la Vivienda y el Urbanismo del.
- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos*. Bogotá: Stella Valbuena de Fierro.
- Moujir, Y. F., & Castañeda, L. (2014). Diseño y aplicación de concreto poroso para pavimentos. (*Tesis de licenciatura*). Pontificia Universidad Javeriana, Santiago de Cali, Colombia.
- MTC. (2013). *Manual de carreteras Especificaciones técnicas generales para construcción R.D. N°22-2013-MTC/14*. Lima, Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- MTC. (2014). *Manual de carreteras diseño geométrico DG-2014*. Lima, Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Muñoz, G., & Ruiz, C. (1999). Metodología de Diseño y Colocación de Mezclas Drenantes. *Revista EspecificMezclasDrenantes*, 11.
- Narváez, D. (2005). *Manual de Topografía General I y II*. Lima: UNI.
- Pérez, D. (2009). Estudio experimental de concretos permeables con agregados andesíticos. (*Tesis de maestría*). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Polanco, A. (2012). *Manual de prácticas de laboratorio de concreto*. México: Universidad Autónoma de Chihuahua.

- Rivera, G. (2011). *Concreto Simple, Ingeniería y Construcción*. Colombia: Universidad del Cauca.
- Tennis, P. L. (2004). *Pervious Concrete Pavements, EB302.02, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, and National Ready Mixed Concrete Association*. Maryland: Silver Spring.
- VCHI. (2005). *Manual de diseño geométrico de vías urbanas - 2005 - VCHI*. Lima, Perú: ICG.
- Villón, M. (2002). *Hidrología*. Lima: Villón.

Artículo Recibido: 13-05-2020

Artículo Aceptado: 21-08-2020