

Implementación de Hormigón Permeable Sobre Cunetas para la Gestión Ecológica del Agua en Sucre

Ventura, H.a, Rodríguez, A.b

(a) Estudiante de pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil (USFX), Destacamento 317, Ex Campus REFISUR, 573, Sucre, Bolivia. E-mail: hyandirahelen123@gmail.com

(b) Docente de la Facultad de Ingeniería Civil (USFX), Destacamento 317, Ex Campus REFISUR, 573, Sucre, Bolivia. E-mail: rodriguez.abel@gmail.com

Recibido: 03/10/2024

Aceptado: 10/10/2024

Publicado: 10/11/2024

RESUMEN

Este estudio se enfoca en el diseño de una plataforma de hormigón permeable que se colocará sobre las cunetas en la ciudad de Sucre, Bolivia, con el objetivo de mejorar la gestión de aguas pluviales, evitar obstrucciones por residuos y reducir los malos olores. La plataforma está diseñada para ajustarse a la estética colonial del centro histórico, ofreciendo una solución funcional y sostenible.

Se probaron cuatro diseños de hormigón permeable, variando la relación agua/cemento y el contenido de vacíos, y evaluando su resistencia a compresión y flexión. A partir de estos resultados, se determinó el caudal de infiltración para cada diseño, comparando su desempeño con diferentes pendientes de las calles de Sucre. Se realizaron pruebas con pendientes del 0% y 5% para medir la capacidad de infiltración del agua en cada caso.

Los resultados mostraron que el diseño con una relación agua/cemento de 0.33 y un contenido de vacíos del 15% es el más eficiente, especialmente en calles con pendientes moderadas. Este diseño logra un balance entre permeabilidad y capacidad estructural, lo que permite su implementación en calles de tránsito ligero en Sucre, donde el caudal de infiltración se ajusta a las necesidades del entorno urbano.

Palabras clave: hormigón, permeabilidad, sumideros, resistencia

ABSTRACT

This study focuses on the design of a permeable concrete platform to be placed over drainage gutters in the city of Sucre, Bolivia, with the goal of improving stormwater management, preventing blockages caused by debris, and reducing unpleasant odors. The platform is designed to fit the colonial aesthetic of the historic center, offering a functional and sustainable solution.

Four designs of permeable concrete were tested, varying the water/cement ratio and void content, and their compressive and flexural strength were evaluated. Based on these results, the infiltration rate for each design was determined, comparing its performance with different street slopes in Sucre. Tests were conducted on slopes of 0% and 5% to measure water infiltration capacity in each case.

The results showed that the design with a water/cement ratio of 0.33 and a void content of 15% is the most efficient, especially on streets with moderate slopes. This design achieves a balance between permeability and structural capacity, making it suitable for implementation on light-traffic streets in Sucre, where the infiltration rate meets the needs of the urban environment.

Keywords: concrete, permeability, drains, strength

INTRODUCCIÓN

El hormigón permeable ha surgido como una solución eficiente para la gestión de aguas pluviales en áreas urbanas, permitiendo la filtración del agua a través de sus poros y reduciendo la acumulación superficial. Aunque sus orígenes se remontan al siglo XIX, su uso se expandió en la década de 1970, principalmente en proyectos de control de erosión y drenaje urbano. Hoy en día, se utiliza en estacionamientos, aceras, plazas y áreas de tránsito ligero, y es valorado por su capacidad de mitigar inundaciones.

A pesar de sus ventajas, el hormigón permeable presenta una menor resistencia mecánica en comparación con el hormigón convencional, lo que limita su aplicación en áreas de tráfico pesado. Por esta razón, es fundamental investigar dosificaciones adecuadas que equilibren la permeabilidad con la capacidad de soportar cargas.

Este proyecto tiene como objetivo diseñar una plataforma de hormigón permeable que se instalará sobre las cunetas en la ciudad de Sucre, Bolivia, con el fin de mejorar la gestión de aguas pluviales, evitar malos olores y la obstrucción por basura. Sucre, reconocida como Patrimonio Cultural de la Humanidad, enfrenta problemas con su sistema de drenaje, debido a su topografía accidentada, lo que provoca acumulación de residuos y olores desagradables. Además de ofrecer una solución práctica, este estudio busca armonizar la infraestructura moderna con la estética colonial de la ciudad. Se espera que los resultados no solo mejoren la gestión de las aguas pluviales, sino que también promuevan la preservación del patrimonio arquitectónico, al integrar un diseño funcional y sostenible.

Figura 1: Plataforma de Hormigón permeable



Fuente: Elaboración propia

MATERIALES Y MÉTODOS

El hormigón permeable, también conocido como hormigón sin fino o porosidad mejorada, generalmente consta de cemento Portland normal, agregado grueso uniforme y agua.

MATERIALES

a) Agregados

Las granulometrías de los agregados utilizados en el hormigón permeable por lo general son de un solo tamaño entre 3/4 y 3/8 pulgadas. Según (ACI 522R-10,2010) pueden ser redondeados o triturados.

b) Materiales Cementales

Se utiliza como aglutinante principal.

c) Agua

La calidad del agua para el hormigón permeable se rige por los mismos requisitos que para el hormigón convencional, deben dosificarse con una relación a/c relativamente baja (0.26-0.40).

La normativa ACI522R-10,2010 nos proporciona rangos típicos de proporciones del hormigón permeable, como se puede observar en la siguiente tabla 1.

Tabla 1: Rangos Típicos de proporciones de materiales en el hormigón permeable.

PROPORCIONES KG/M3	
Materiales cementosos	270 a 450
Agregado	1190 a 1480
Masa por W/cm	0.27 a 0.34
Agregado: Radio de cemento por masa	4 a 4,5:1
Fino: Radio de agregado grueso por masa	0 a 1:1

Fuente: Extraído de la normativa ACI522R-2010, pág.17.

PROCESO EXPERIMENTAL

El método utilizado para esta presente investigación es el de volúmenes absolutos b/bo, independientemente de cómo se derive la mezcla de prueba, como se puede observar en la tabla 2, se tiene los parámetros de % finos y el tamaño del agregado.

Tabla 2: Valores b/bo efectivos

b/bo		
	ASTM C33/C33M	ASTM /C33M
Porcentaje de agregados finos	Tamaño N° 8	Tamaño N° 37
0	0,99	0,99
10	0,93	0,93
20	0,85	0,85

Fuente: ACI 522R-10 pág. 15, 2010

Donde:

- b/bo = Volumen de agregado grueso vaciado en seco en una unidad de volumen de hormigón.
- b= Sólido del agregado grueso en una unidad de volumen de hormigón.
- bo= Volumen de sólido de agregado grueso en una unidad de volumen de agregado grueso.

Los valores b/bo para los agregados de tamaño máximo nominal que se usan normalmente en el hormigón permeable es de 3/4 a 3/8.

Los especímenes se evaluaron mediante ensayos de resistencia a la compresión y flexión, aplicando diferentes % de vacíos y % de agregado fino.

Diseño 1

- Contenido de vacíos = 10%
- a/c = 0.27
- Agregado Fino = 10%

Diseño 2

- Contenido de vacíos = 10%
- a/c = 0.33
- Agregado Fino = 20%

Diseño 3

- Contenido de vacíos = 20%
- a/c = 0.33
- Agregado Fino = 3%

Diseño 4

- Contenido de vacíos = 15%
- a/c = 0.33
- Agregado Fino = 0%

En la siguiente tabla se muestran los parámetros de dosificación utilizados en el presente proyecto.

Tabla 3: Diseños de Dosificaciones

DISEÑO	A/C	B/BO	% VACÍOS	% FINO
Diseño 1	0,27	0,93	10	10
Diseño 2	0,33	0,86	10	20
Diseño 3	0,33	0,97	20	3
Diseño 4	0,33	0,99	15	0

Fuente: Elaboración propia

La normativa ACI 522-10, menciona una serie de pasos para su respectiva dosificación las cuales se muestran a continuación.

- Determinar el peso del agregado grueso
- Ajuste del Peso del agregado
- Determinar el volumen de la pasta
- Determinar el contenido de cemento
- Determinar el contenido de agua
- Determinar el contenido del sólido
- Verificar el contenido de vacíos
- Agrupamiento iterativo de pruebas.

ENSAYOS DE LOS AGREGADOS

Los ensayos que se realizaron al agregado grueso y fino se muestran a continuación.

- Contenido de Humedad
- Densidad, Peso específico y Absorción del agregado grueso
- Densidad, Peso específico y Absorción del agregado fino
- Peso unitario y porcentaje de vacíos del agregado.

PLATAFORMA DE HORMIGÓN PERMEABLE

Para la presente investigación se realizó un prototipo de dimensiones 25x60x10 cm.

Se calculó la permeabilidad para el diseño 3 y 4, tomando en cuenta la pendiente del 0% y del 5%.

MÉTODO RACIONAL

Para el cálculo del caudal necesario que aporta a una calle utilizaremos la siguiente fórmula.

$$Q = 2.78 CR * I * A \quad (1)$$

C: Coeficiente de escorrentía (lps)

I: Intensidad (mm/h)

A: Área de la cuenca (ha)

Para la Intensidad se utiliza la siguiente fórmula, extraído de la NB688,2004. Específicamente para la ciudad de Sucre.

$$i = \frac{180,2457 x f^{0.33096}}{t^{0.70310}} \quad (2)$$

F: Frecuencia de lluvia (años)

T: Duración de la lluvia (min)

Para el cálculo del tiempo de entrada se utilizará la siguiente fórmula, extraído de la NB688,2004

$$T_e = \frac{0.7007 x (1.1-c)L^{1/2}}{s^{1/3}} \quad (3)$$

C: Coeficiente de escurrimiento

L: Longitud máxima de flujo de escurrimiento superficial (m)

S: Pendientes promedio

Para el cálculo del tiempo de recorrido se utilizará

$$T_r = \frac{L}{v x 60} \quad (4)$$

L: Longitud de la alcantarilla

V: Velocidad media de flujo en mps

Tp: Tiempo de trayecto en minutos

El tiempo de concentración es:

$$T_c = t_e + t_t \quad (5)$$

RESULTADOS

Se muestra a continuación los resultados de ensayos de laboratorio del agregado grueso y fino.

Tabla 4: Ensayos de Laboratorio del agregado

Agregado	PU Compactado (Kg/m ³)	PU Suelo (Kg/m ³)	% Absorción	Peso Específico (Kg/m ³)
Grava	1578	1513	1.23	2.61
Arena	1757	1586	2.18	2.53

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros utilizados para los 4 diseños se muestran a continuación.

Tabla 5: Especificaciones para la dosificación

Tamaño del agregado Grueso	Volumen total Cilindro	Volumen total Prisma	% Pasta	yw	Gec
3/8	0.0053	0.0113	0.32	1000	3.04
3/8	0.0053	0.0113	0.32	1000	3.04
3/8	0.0053	0.0113	0.22	1000	3.04
3/8	0.0053	0.0113	0.27	1000	3.04

Fuente: Elaboración propia

Las dimensiones utilizadas para los cilindros y prismas se muestran a continuación:

Tabla 6: Dimensiones del cilindro

Dimensiones		Vol. Cilindro (cm ³)	Vol. Cilindro (m ³)
Altura (cm)	30	5301.4376	0.0053
Diámetro (cm)	15		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7: Dimensiones del prisma.

Dimensiones		Vol. Prisma (cm ²)	Vol. Prisma (m ²)
Altura (cm)	15	11250.0000	0.0113
Ancho	15		
Largo	50		

Fuente: Elaboración propia

Las propiedades del cemento y agua se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 8: Propiedades del cemento y agua

	Cemento	Agua
P.E (Kg/m3)	3.04	1.00
Marca	Fancesa	
Tipo	IP-40	

Fuente: Elaboración propia

Figura 2: Vaciado del Hormigón permeable Diseño 1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3: Vaciado del Hormigón permeable diseño 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 4: Vaciado de hormigón permeable Diseño 3 y Diseño 4.



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se observan las propiedades mecánicas a la compresión y flexión del hormigón permeable.

Tabla 9: Resultados de la resistencia a compresión

Diseños	Resistencia a compresión del concreto	
	Día 7 Esfuerzo (Mpa)	Día 28 (Pry) Esfuerzo (Mpa)
Diseño 1	7.84	14,25
Diseño 2	38.5	70
Diseño 3	11.58	21.05
Diseño 4	22.66	41.2

Fuente: Elaboración propia

Figura 5: Ensayo de Compresión



Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Resultados de la resistencia a la flexión
Resistencia a Flexión del Concreto

Diseños	Día 7	Día 28 (pry)
	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo (Mpa)
Diseño 1	---	
Diseño 2	3.6	6.54
Diseño 3	2.1	3.82
Diseño 4	2.3	4.18

Fuente: Elaboración propia.

Figura 6: Ensayo a Flexión



Fuente: Elaboración propia

Para el presente proyecto se realizaron moldes de madera con las dimensiones 25x60x10 cm, con los cuales se realizará los ensayos de infiltración considerando la variación del % pendientes.

Figura 7: Vaciado del hormigón permeable en los moldes de dimensiones 25x60x10cm



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se observan las propiedades hidráulicas capacidad de filtración, del concreto permeable para los diseños 3 y 4.

Tabla 11: Pendiente 0%

Diseños	Tiempo (s)	Q(L/s)
Diseño 3	5	0.7
Diseño 4	5.5	1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12: Pendiente del 5%

Diseños	Tiempo (s)	Q(L/s)
Diseño 3	5	0.58
Diseño 4	5.5	0.6

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Se puede notar que específicamente la dosificación del diseño 1 donde la relación agua cemento, es de 0.27 es insuficiente, como se puede observar en la siguiente imagen, la pasta parece apagada y muy poca de esta queda adherida a los guantes, la esfera se desmorona rápidamente.

Figura 8: Agua insuficiente



Fuente: Elaboración propia

La resistencia de compresión y flexión no fueron suficientes debido al mezclado y a la insuficiencia del agua.

Por ese motivo para las siguientes dosificaciones se aumentó la relación agua cemento a 0.33.

Cabe recalcar que la normativa ACI nos indica un parámetro de relación agua cemento, de 0.27 a 0.34.

Para esta presente investigación se tomaron los parámetros de inicio y fin, pero para siguientes investigaciones se recomienda optar por diferentes datos de relaciones de agua cemento, un valor intermedio para comprobar sus propiedades mecánicas e hidráulicas.

Para obtener una buena mezcla, se debe tener cuidado del % de agua para cada dosificación, teniendo los siguientes casos:

1. Para una correcta dosificación se forma una esfera con las manos y esta debe permanecer unida a la pasta de cemento que debe ser brillante. (Metodología de comprobación empírica)

Figura 9: Correcta cantidad de agua



Fuente: Elaboración propia

2. Se puede observar si se aumenta el % de agua la pasta parece plástica y los aguantos quedan cubiertos casi totalmente de pasta, mucha agua adelgaza la pasta y el concreto se siente suelto y viscoso. (Metodología de comprobación empírica)

Figura 10: Mucha agua



Fuente: Elaboración propia

La plataforma de hormigón permeable, con dimensiones de 25x60x10 cm, se puede notar que el diseño 4 es el más eficiente teniendo una mejor resistencia tanto a flexión como a compresión, con un caudal de 1 litro/seg, para una pendiente del 0%, y un caudal de infiltración de 0.7 Litros/seg para una pendiente del 5 %.

Figura 11: Plataforma de Hormigón permeable

Diseño 4



Fuente: Elaboración propia

Para una calle con una pendiente del 5% y un bombeo del 2%, y un ancho de 5 metros, se tomaron los siguientes valores:

- El tiempo de entrada (t_e) calculado es de 1.9 minutos. Sin embargo, de acuerdo a la norma NB688, el tiempo mínimo de entrada debe ser de 5 minutos.
- El tiempo de transporte (T_t) es de 2 minutos, lo que resulta en un tiempo total de concentración (t_c) de 7 minutos. La norma NB688 establece que el tiempo de concentración mínimo debe ser de 10 minutos.
- La intensidad de lluvia es de 18.58 mm/h y el coeficiente de escorrentía (C) es 0.95, lo que genera un caudal de entrada de 8 l/s.

Este caudal indica que serían necesarias 4 plataformas de hormigón permeable a cada lado de la calle para gestionar adecuadamente el flujo de agua pluvial.

BIBLIOGRAFÍA

- American Concrete Institute. (2010). *Report on pervious concrete (ACI 522R-10)*. American Concrete Institute.
- Samohod Romero, A. (2018). *Diseño de pavimento rígido permeable para la evaluación de aguas pluviales según la norma ACI 522R-10*. Universidad San Martín de Porres.
- Servicio Nacional de Normalización, Metrología y Calidad (IBNORCA). (2004). *NB 688: Drenaje pluvial urbano - criterios de diseño*. Instituto Boliviano de Normalización y Calidad.