

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis

**Análisis del concreto permeable para el aprovechamiento de aguas pluviales
en el parque Kennedy del distrito de Wanchaq - Cusco, 2024**

Asesor:

Mg. Ing. Flores Condori, Jessica

Autor:

Auccaylla Bejar, Edwin

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Cusco – Cusco – Perú

2026



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Acta N°: 007

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Cusco, a los 16 días del mes de Enero del 2026, siendo las 11:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Sub Directoral N° 027-2026-UTEA-FC-FI-EPIC de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mg. Laimé Calvo Edixon
Dictaminante:	Mg. Chávarry Morveli Daniel
Replicante :	Mg. Cuno Rojas Eleazar

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Análisis del concreto permeable para el aprovechamiento de aguas pluviales en el parque Kennedy del distrito de Wánchaq – Cusco, 2024

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: Auccaylla Bejar Edwin

(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) **APROBADO (S)**:

Por: Unanimidad

(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Br. Auccaylla Bejar Edwin	Aprobado

Siendo las 13:00 p.m horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mg. Laimé Calvo Edixon

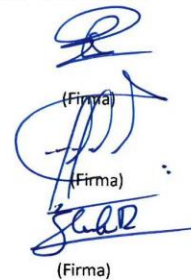
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

Dictaminante: Mg. Chávarry Morveli Daniel

(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

Replicante: Mg. Cuno Rojas Eleazar

(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)



(Firma)
(Firma)
(Firma)

(*): **Mayoría:** Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; **Unanimidad:** Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.

(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.




22% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 16%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 17%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Metadatos

Datos del Autor	
Apellidos y Nombres	: Auccaylla Bejar, Edwin
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 73747786
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0003-2503-4979
Datos del Asesor	
Apellidos y Nombres	: Mg. Ing. Flores Condori, Jessica
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 45216690
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0002-6206-5331
Datos de la investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Civil
Línea de Investigación	: Gestión de la Infraestructura para el Desarrollo Sostenible
Rango de años en que se realizó la Investigación	: Agosto 2024 - diciembre 2025
Fuente de Financiamiento	: Autofinanciado
Porcentaje de Similitud	: 22%
URL de OCDE	: https://purl.org/perepo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

A mis padres, por haber estado a mi lado en cada paso en mi carrera, por su fortaleza y constante apoyo incondicional. A mi pequeño hijo Matt, por haber sido el motor para impulsar el término de esta etapa, a mis hermanos y familiares, amigos y docentes quienes fueron parte de mi formación.

Gracias por acompañarme en los momentos difíciles y por alentarme a seguir adelante. Este logro es el reflejo de su amor y dedicación, y siempre les estaré agradecido por creer en mí en cada paso de este camino.

Agradecimiento

Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a mi asesora de tesis, la Mg. Ing. Jessica Flores Condori. Su experiencia, comprensión y paciencia contribuyeron a mi experiencia en el complejo y gratificante camino de la investigación. Su guía constante y su fe inquebrantable en mis habilidades me han motivado a alcanzar alturas que nunca imaginé. No tengo palabras para expresar mi gratitud por su inmenso apoyo durante este camino del saber.

Gracias infinitas a mis padres, por su amor incondicional y su apoyo moral. Su fe en mí, incluso en los momentos más difíciles, ha sido el pilar de este logro. También expreso mi gratitud a mis hermanos y primos, quienes supieron brindarme su tiempo para escucharme y apoyarme. Sin ustedes, todo esto no habría sido posible. Su amor y sacrificio han sido la luz que guio mi camino a través de este viaje académico.

Resumen

El concreto permeable es una clase especial de concreto que deja que el agua fluya a través de su composición a la gran cantidad de espacios interconectados que tiene, a diferencia del cemento tradicional. Esta propiedad ayuda a disminuir la impermeabilidad de las superficies en las ciudades, previniendo problemas estructurales causados por acumulación de agua y escurrimiento superficial. En el estudio actual se diseñó una mezcla de concreto permeable con una resistencia deseada de 175 kg/cm^2 , utilizando el método ACI 522. R, con el objetivo de analizarlo como una opción viable.

Para esto, se elaboraron diversas mezclas en el laboratorio considerando contenidos de agregado fino de 0%, 5%, 10% y 15% en peso, identificándose la mezcla más adecuada en este rango. La mezcla elegida presentó una relación de agua a cemento 0.35 y un contenido de agregado fino de 10% como parte de la validación del experimento, se diseñó un sistema para recolectar y almacenar aguas pluviales en un tanque cisterna, utilizando tubería cribada y geomembrana impermeable bajo el pavimento. Los resultados alcanzados mostraron una resistencia a la compresión de 182.178 kg/cm^2 y una permeabilidad de 1.16 cm/s , evidenciando su funcionalidad.

Palabras claves: Concreto permeable; Diseño de mezcla; Permeabilidad; Resistencia a la compresión, Tubería cribada

Abstract

Pervious concrete is a special type of concrete that allows water to flow through its structure due to the large number of interconnected voids within its composition, unlike conventional concrete. This property helps reduce surface impermeability in urban areas, preventing structural problems caused by water accumulation and surface runoff. In the present study, a pervious concrete mix was designed with a target compressive strength of 175 kg/cm², using the ACI 522R method, with the objective of analyzing its feasibility as a viable alternative.

For this purpose, several mixes were prepared in the laboratory considering fine aggregate contents of 0%, 5%, 10%, and 15% by weight, identifying the most suitable mix within this range. The selected mix exhibited an appropriate water-to-cement ratio 0.35 and a 10% fine aggregate content. As part of the experimental validation, a system was designed to collect and store stormwater in a cistern tank, using perforated pipes and an impermeable geomembrane beneath the pavement. The results obtained showed a compressive strength of 182.178 kg/cm² and a permeability of 1.16 cm/s, demonstrating its functional performance.

Keywords: Pervious concrete; Mix design; Permeability; Compressive strength; Perforated pipe.

Índice

Portada.....	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud.....	iii
Metadatos.....	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento.....	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice.....	ix
Índice de tablas.....	xii
Índice de figuras	xiv
Índice de anexos	xvi
I. Introducción.....	17
II. Planteamiento del problema.....	19
2.1. Descripción y Formulación del Problema.....	19
2.2. Objetivos.....	21

2.2.1. Objetivo General	21
2.2.2. Objetivos Específicos	22
2.3. Justificación	22
2.4. Hipótesis	24
2.5. Variables	25
III. Marco Teórico	27
3.1. Antecedentes de investigación	27
3.2. Bases teóricas	35
3.3. Definición de términos	47
IV. Metodología	48
4.1. Tipo y Nivel de investigación.....	49
4.2. Ámbito temporal y espacial	50
4.3. Población y muestra	52
4.4. Técnicas e instrumentos	55
4.5. Procedimiento	57
4.6. Análisis de Datos	114
4.7. Consideraciones éticas	127

V. Resultados y discusión	128
VI. Conclusiones.....	134
VII. Recomendaciones	136
VIII. Referencias	137
IX. Anexos	141

Índice de tablas

Tabla 1 Tipos de Concreto	36
Tabla 2 Cuadro resumen de muestras según tipos de ensayos y dosificación	55
Tabla 3 Datos iniciales de diseño de mezcla de concreto permeable	66
Tabla 4 Coeficiente b/b_0	71
Tabla 5 Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de las muestras de concreto a los 7 días de curado	78
Tabla 6 Resistencia a la compresión de las muestras de concreto a los 14 días de curado	80
Tabla 7 Resistencia a la compresión de las muestras de concreto a los 28 días de curado	82
Tabla 8 Tasa de Infiltración de las muestras de concreto	86
Tabla 9 Cuadro de estaciones meteorológicas del Cusco con información	90
Tabla 10 Precipitación máxima diaria - Registros históricos Estación Granja K'ayra	91
Tabla 11 Evaluación de Parámetros.....	93
Tabla 12 Resultados de las funciones de distribución por probabilidad	96
Tabla 13 Resultados de la Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov.....	97
Tabla 14 Precipitaciones máximas en 24 horas (mm)	98
Tabla 15 Precipitaciones (mm) asociadas a distintas recurrencias y duraciones por el Método de Dick-Peschke	99
Tabla 16 Intensidades (mm/h) asociadas a distintas recurrencias y duraciones por el Método de Dick-Peschke.....	99
Tabla 17 Criterio para determinar diseño y periodo de retorno según tipo de obra hidráulica	100
Tabla 18 Hietogramas para diferentes periodos de retorno evaluados en 5 horas de precipitaciones.....	101

Tabla 19	Caudal pico para distintas recurrencias	103
Tabla 20	Valores de permeabilidad y coeficiente de escorrentía para diferentes porcentajes de agregado fino en concreto permeable.....	105
Tabla 21	Granulometría del Agregado grueso – Cantera 3 de Mayo	115
Tabla 22	Granulometría del Agregado fino – Cantera Zurite.....	117
Tabla 23	Peso Unitario del Agregado Grueso – Cantera 3 de Mayo.....	119
Tabla 24	Peso Unitario de la Agregado fino – Cantera Zurite	120
Tabla 25	Peso Específico del Agregado grueso – Cantera 3 de Mayo	121
Tabla 26	Peso Específico del Agregado Fino – Cantera Zurite.....	122
Tabla 27	Resumen de Dosificaciones de concreto permeable ACI 522R	124

Índice de figuras

Figura 1 Concreto permeable.....	37
Figura 2 Ensayo de consistencia del concreto permeable.....	40
Figura 3 Ensayo granulométrico por tamizado del agregado grueso – Cantera 3 de Mayo .	60
Figura 4 Ensayo granulométrico del agregado fino – Cantera Zurite.....	61
Figura 5 Ensayo de peso unitario suelto y compactado	62
Figura 6 Ensayo de gravedad específica y absorción.....	64
Figura 7 Contenido de vacíos en función de la relación agua cemento para el concreto permeable.....	67
Figura 8 Esfuerzo de Compresión vs Contenido de vacíos.	68
Figura 9 Permeabilidad vs Contenido de aire en %.....	69
Figura 10 Ensayo de resistencia a la compresión - probetas de concreto permeable	77
Figura 11 Variación de resistencia a compresión (Edad 7 días).....	79
Figura 12 Variación de resistencia a compresión (Edad 14 días).....	81
Figura 13 Variación de la resistencia a compresión de las muestras a 28 días de curado ..	83
Figura 14 Anillo de infiltración para ensayo de permeabilidad.....	85
Figura 15 Sección de pavimento permeable (Vista transversal).....	87
Figura 16 Precipitación máxima diaria - Registros históricos Estación Granja K'ayra.....	94
Figura 17 Registros históricos de precipitaciones Estación K'ayra Periodo 1964 - 2024	95
Figura 18 Curvas IDF por el Método de Dick-Peschke Estación Granja K'ayra (1964 - 2024)	100
Figura 19 Histograma de Precipitaciones para $T_r=10$ años.....	102
Figura 20 Caudales pico de la cuenca Cachimayo para distintos periodos de recurrencia	103
Figura 21 Zonificación del área de estudio parque Kennedy	106
Figura 22 Vista general de área con red de evacuación y almacenamiento de agua	111
Figura 23 Curva granulométrica del Agregado Grueso – Cantera 3 de Mayo.....	115

Figura 24	Distribución granulométrica de agregado grueso cantera 3 de Mayo	116
Figura 25	Curva granulométrica del agregado fino – Cantera Zurite	118
Figura 26	Distribución del agregado fino - cantera Zurite	118
Figura 27	Comparación de pesos unitarios entre agregado fino y agregado grueso	121
Figura 28	Peso específico y %Absorción de agregados.....	123
Figura 29	Proporciones de agregados por bolsa de cemento	124
Figura 30	Curva de resistencia a la compresión de las muestras.....	125
Figura 31	Relación de infiltración del concreto permeable	126

Índice de anexos

Anexo 1	Matriz de consistencia.....	142
Anexo 2	Matriz de operacionalización de variables.....	143
Anexo 3	Instrumentos de Información.....	144
Anexo 4	Resultados ensayo de compresión de probetas.....	150
Anexo 5	Resultados ensayo de permeabilidad.....	154
Anexo 6	Evidencias fotográficas	155

I. Introducción

El rápido crecimiento urbano y la expansión de superficies que no absorben agua han provocado grandes desafíos en la gestión de aguas de lluvia, lo que ha llevado a un aumento de la escorrentía superficial, acumulación de agua en calles y mayor riesgo de inundaciones. Este problema ha sido agravado por el cambio climático, que ha alterado los patrones de lluvia, resultando en precipitaciones más fuertes y concentradas en cortos espacios de tiempo. Ante esta situación, es esencial poner en práctica soluciones sostenibles que mejoren el drenaje de las ciudades y utilicen eficazmente el agua de lluvia.

Dentro de este escenario, el concreto permeable se muestra como una solución innovadora en el ámbito de la ingeniería civil, gracias a su habilidad para permitir que el agua se infiltre a través de su estructura, lo que disminuye la escorrentía superficial y favorece la recarga del suelo. A diferencia del concreto tradicional, este material tiene un mayor porcentaje de interconexión de poros, lo que proporciona propiedades hidráulicas beneficiosas sin sacrificar los estándares mínimos de resistencia que son necesarios para su uso en áreas públicas, parques y pavimentos con poco tráfico.

En Cusco, particularmente en el distrito de Wanchaq, los problemas derivados de la acumulación de aguas pluviales durante la temporada de lluvias son una situación frecuente que impacta la funcionalidad de los espacios públicos y la calidad de vida de los habitantes. El

Parque Kennedy, como un espacio recreativo urbano, pone de manifiesto la necesidad de contar con sistemas de drenaje eficaces que gestionen adecuadamente el agua de lluvia y que posibiliten su reutilización, especialmente para el riego de zonas verdes. La baja capacidad de infiltración del suelo y la falta de sistemas sostenibles de recolección de agua de lluvia hacen urgente evaluar opciones constructivas que se adapten a estas condiciones.

Por tal motivo, esta investigación tiene como objetivo analizar la eficacia del concreto permeable como solución técnica para el aprovechamiento de las aguas pluviales en el Parque Kennedy del distrito de Wanchaq en Cusco. El estudio se centra en examinar la resistencia a la compresión y la permeabilidad del concreto permeable con distintas proporciones de agregado fino (0%, 5%, 10% y 15%) en referencia al peso del agregado grueso, con el propósito de encontrar un diseño de mezcla que garantice un rendimiento óptimo tanto mecánico como hidráulico del material.

Adicionalmente, esta investigación sugiere el desarrollo de un sistema para recolectar, conducir y almacenar aguas pluviales utilizando pavimento permeable, tuberías cribadas con geomembrana de impermeabilización y una cisterna, lo que hará posible la reutilización del agua almacenada. De este modo, el estudio busca contribuir al avance de soluciones sostenibles para la gestión del agua en áreas urbanas, promoviendo el uso eficiente de los recursos hídricos y fortaleciendo la resistencia de la infraestructura urbana ante eventos climáticos adversos.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y Formulación del Problema

A nivel mundial, uno de los principales desafíos en el manejo de aguas pluviales radica en el cambio en los patrones de escorrentía debido al rápido crecimiento de la población urbana. Anteriormente, las áreas urbanas solían tener una menor proporción de superficies impermeables, lo que permitía que una parte significativa del agua de lluvia se infiltrara naturalmente en el suelo. Sin embargo, con la expansión urbana, se han incrementado las superficies pavimentadas y construidas, como calles, carreteras, edificios y aceras. Estas superficies impermeables impiden que el agua de lluvia se filtre en el suelo, generando un aumento en agua superficial en las calles (Chow, 2023)

A nivel latinoamericano, la urbanización rápida y descontrolada ha generado desafíos similares en muchas ciudades. La falta de planificación urbana adecuada y la inversión insuficiente en infraestructura de drenaje han llevado a la acumulación de aguas pluviales y a la degradación del medio ambiente urbano. Implementar soluciones innovadoras y sostenibles, como el uso de concreto permeable, puede ayudar a mitigar estos problemas y promover la resiliencia urbana en toda la región (Serebrisky, 2023).

La problemática asociada a las lluvias en Perú se agrava por el cambio de uso de suelo en diversas regiones del país. Anteriormente, áreas que solían ser no urbanas y destinadas a la agricultura ahora se han convertido en zonas urbanas debido al crecimiento demográfico y

la expansión de los asentamientos humanos. Este cambio en el uso del suelo ha resultado en la impermeabilización de grandes extensiones de terreno, lo que limita la capacidad de infiltración del agua de lluvia en el suelo (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), 2023). En estas zonas urbanas recién establecidas, la falta de áreas de infiltración natural aumenta la escorrentía superficial durante las lluvias, contribuyendo así a la rápida acumulación de agua en las calles y la inundación de viviendas y vías. La topografía montañosa y las laderas empinadas amplifican este problema, ya que el agua tiende a concentrarse y fluir rápidamente hacia las áreas más bajas, aumentando el riesgo de huaycos y deslizamientos.

Durante la temporada de lluvias en Cusco, los residentes enfrentan un desafío constante: la rápida acumulación de agua en las calles, transformándolas en riachuelos que inundan viviendas y vías. Esta problemática se atribuye principalmente a la ausencia de un sistema adecuado de evacuación de aguas pluviales en la ciudad. Factores como el deficiente sistema de alcantarillado y desagüe, así como el crecimiento poblacional y de viviendas en las últimas tres décadas, han exacerbado esta situación. El aumento en la urbanización ha significado una mayor impermeabilización del suelo, lo que reduce la capacidad del terreno para absorber el agua de lluvia. Esto, combinado con la falta de infraestructura de drenaje adecuada, ha resultado en inundaciones recurrentes que afectan la calidad de vida de los habitantes de la ciudad.

La investigación actual se centra en abordar esta necesidad urgente ofreciendo alternativas para mejorar el drenaje de aguas pluviales en las zonas deprimidas de la ciudad de Cusco. Ubicada a una altitud de 3,399 metros sobre el nivel del mar, la ciudad experimenta precipitaciones irregulares a lo largo del año, con una marcada temporada de lluvias entre diciembre y abril. La situación se agrava con un promedio anual de 40.8 mm de precipitación total (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), 2023).

2.1.1. Problema General

¿De qué manera influye el uso de concreto permeable en el aprovechamiento de aguas pluviales en el Parque Kennedy del distrito de Wanchaq – Cusco en el año 2024, considerando su resistencia a la compresión y su capacidad de permeabilidad?

2.1.2. Problemas Específicos

PE.01. ¿Cómo influye el contenido de agregado fino en proporciones de 0%, 5%, 10% y 15% en peso, en la resistencia a la compresión del concreto permeable destinado al aprovechamiento de aguas pluviales en el Parque Kennedy del distrito de Wanchaq – Cusco 2024?

PE.02. ¿Cómo influye el contenido de agregado fino en proporciones de 0%, 5%, 10% y 15% en peso, en la capacidad de permeabilidad del concreto permeable, en el contexto del aprovechamiento de aguas pluviales en el Parque Kennedy del distrito de Wanchaq – Cusco 2024?

PE.03. ¿Qué alternativa tecnológica puede implementarse para la conducción y el almacenamiento de aguas pluviales mediante el uso de concreto permeable en espacios públicos como el Parque Kennedy del distrito de Wanchaq – Cusco?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

Determinar de qué manera influye el uso de concreto permeable en el aprovechamiento de aguas pluviales en el Parque Kennedy del distrito de Wanchaq – Cusco 2024, a partir del análisis de su resistencia a la compresión y su capacidad de permeabilidad.

2.2.2. Objetivos Específicos

- OE.01. Evaluar la influencia del contenido de agregado fino en proporciones de 0%, 5%, 10% y 15% en peso, sobre la resistencia a la compresión del concreto permeable destinado al aprovechamiento de aguas pluviales en el Parque Kennedy del distrito de Wanchaq – Cusco 2024.
- OE.02. Analizar cómo varía la capacidad de permeabilidad del concreto permeable en función del contenido de agregado fino en proporciones de 0%, 5%, 10% y 15% en peso, en el contexto del aprovechamiento de aguas pluviales en el Parque Kennedy.
- OE.03. Identificar una alternativa tecnológica sostenible que permita implementar el uso de concreto permeable para la conducción y el almacenamiento de aguas pluviales en espacios públicos como el Parque Kennedy del distrito de Wanchaq – Cusco.

2.3. Justificación

La justificación de esta investigación radicó en la urgente necesidad de abordar los desafíos asociados con el manejo de aguas pluviales en el contexto específico de la ciudad de Cusco, Perú. La problemática de la acumulación rápida de agua durante la temporada de lluvias, que conduce a inundaciones en calles y viviendas, representó una amenaza significativa para la seguridad y el bienestar de los residentes, así como para la infraestructura urbana. El crecimiento poblacional y la urbanización acelerada habían exacerbado este problema, aumentando la impermeabilización del suelo y reduciendo la capacidad de infiltración natural del agua de lluvia. A esto se sumó la insuficiencia de la infraestructura de drenaje existente, incluidos los sistemas de alcantarillado y desagüe, para manejar adecuadamente el volumen de agua durante eventos de lluvias intensas (Servicio Nacional de

Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), 2023).

En este contexto, la investigación propuesta buscó desarrollar soluciones innovadoras y sostenibles para mejorar el drenaje de aguas pluviales en Cusco. Al centrarse en las zonas de depresión de la ciudad y explorar alternativas como la implementación de tecnologías de gestión de agua eficientes, se buscó mitigar los impactos negativos de las inundaciones y promover la resiliencia urbana.

2.3.1. Viabilidad de la investigación

Este estudio evaluará rigurosamente la viabilidad del análisis del concreto permeable en el Parque Kennedy de Wanchaq, Cusco, para el aprovechamiento de aguas pluviales. Se verificará la disponibilidad de recursos técnicos (equipos de medición, materiales de laboratorio), recursos humanos capacitados, acceso al sitio de estudio y disponibilidad de datos, garantizando que el estudio pueda completarse dentro del plazo y presupuesto asignados (Hernández, 2020)

2.3.1.1. Social

Se ocupó de un tema significativo para el entorno urbano y ambiental al ofrecer una solución sostenible para el manejo de las aguas pluviales, generando beneficios tanto para la comunidad como para el medio ambiente (Hernández, 2020).

2.3.1.2. Técnica

Esta investigación se sustentó en metodologías sólidas de investigación, respaldadas por la disponibilidad de tecnología y herramientas de análisis adecuadas. Se hizo referencia a información proveniente de normativas reconocidas como la Norma Técnica Peruana (NTP), la norma de la ASTM International (ASTM C), y las recomendaciones del American Concrete Institute (ACI). Esto aseguró que el enfoque técnico utilizado fuera riguroso y confiable, permitiendo obtener resultados de alta

calidad y validez científica (Hernández, 2020).

2.3.1.3. Económica

Es viable económicamente, ya que se basó en recursos financieros disponibles dentro del presupuesto del investigador. Los costos incluyeron la adquisición de materiales y equipos necesarios para la recopilación de datos y análisis. Además, se consideraron los costos de transporte y logística para llevar a cabo los estudios de campo y laboratorio (Hernández, 2020)..

2.3.1.4. Limitaciones

Las limitaciones del estudio son aquellas condiciones fuera del control del investigador que pueden restringir la metodología y afectar la interpretación de los hallazgos (Creswell, 2020). Las limitaciones de esta investigación incluyeron la focalización en una muestra específica en el distrito de Wanchaq en la ciudad de Cusco, asimismo los agregados empleados se limitaron a las características encontradas en la cantera 3 de Mayo para el agregado grueso y la cantera Zurite para el agregado fino lo que limitó la generalización de los resultados. Además, hubo una dependencia de datos y recursos disponibles, lo que pudo restringir la profundidad y el alcance del estudio. También se consideraron las condiciones temporales y factores externos imprevistos que podrían haber influido en la ejecución.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

El concreto permeable influye sustancialmente para el aprovechamiento de aguas pluviales en el Parque Kennedy del Distrito de Wanchaq - Cusco 2024, evaluando su resistencia a la compresión y su capacidad de permeabilidad.

2.4.2. Hipótesis específicas

- HE.01. El aumento del contenido de agregado fino en proporciones de 0%, 5%, 10% y 15% en peso, incrementa la resistencia a la compresión del concreto permeable hasta un punto óptimo.
- HE.02. El aumento del contenido de agregado fino en proporciones de 0%, 5%, 10% y 15% en peso, disminuye la capacidad de permeabilidad del concreto permeable, debido a la reducción del tamaño y cantidad de poros interconectados.
- HE.03. La aplicación del concreto permeable integrado a un sistema de colección mediante tubería cribada constituye una alternativa tecnológica para la captación y almacenamiento de aguas pluviales en espacios públicos como el Parque Kennedy del distrito de Wanchaq – Cusco, 2024.

2.5. Variables

2.5.1. VI: Concreto permeable según contenido de agregado fino

Es un material de pavimentación caracterizado por su estructura porosa, que permite el paso del agua a través de su superficie. Su aplicación en áreas urbanas facilita la infiltración del agua pluvial hacia el subsuelo o su captación para usos secundarios, como el riego (American Concrete Institute, 2020).

2.5.2. VD: Aprovechamiento de aguas pluviales en el Parque Kennedy:

Se refiere al proceso de recolección, almacenamiento y uso eficiente del agua de lluvia en el área del parque. Este aprovechamiento busca optimizar los recursos hídricos mediante sistemas sostenibles que reduzcan la escorrentía superficial y fomenten la infiltración natural (Palla, 2020).

2.5.3. Relación entre variables

El concreto permeable influye directamente en el aprovechamiento de aguas pluviales, ya que su capacidad de infiltración permite captar, filtrar y almacenar el agua de lluvia, reduciendo la escorrentía superficial y promoviendo su reutilización dentro del parque. En consecuencia, a mayor permeabilidad y eficiencia del concreto, mayor será el volumen de agua pluvial aprovechado (American Concrete Institute, 2020).

III. Marco Teórico

3.1. Antecedentes de investigación

3.1.1. Nivel internacional

Sohel et al. (2020) en su artículo "Properties of pervious concrete made with different types of waste aggregate-A literature review" tuvieron el objetivo de mejorar la eficiencia y sostenibilidad del concreto permeable destinado a pavimentos. La metodología empleada consistió en realizar una revisión de literatura para analizar estudios previos y extraer conclusiones sobre el rendimiento de diferentes tipos de agregados en el concreto permeable, enfocándose en la influencia de la forma del agregado de desecho en sus propiedades mecánicas y permeabilidad. Los resultados obtenidos indicaron que ciertos materiales de desecho pueden ofrecer un rendimiento comparable o incluso superior al agregado natural, pero que la forma del agregado influye significativamente en las propiedades mecánicas y la permeabilidad del concreto permeable.

Como conclusión, los investigadores resaltaron la importancia de considerar tanto la selección como la forma del agregado de desecho en el diseño y fabricación de concreto permeable para pavimentos, con el fin de optimizar su resistencia y capacidad de drenaje.

Jia et al. (2023) en su artículo "The Effect of Phase Change Materials on the Physical and Mechanical Properties of Concrete Made with Recycled Aggregate", se centró

en en la necesidad de diseñar concreto permeable específicamente para su aplicación en pavimentos, con el objetivo de abordar problemas ambientales. La investigación tuvo como objetivo investigar varias combinaciones de agregados, incluyendo materiales de desecho, con el propósito de mejorar la eficiencia y sostenibilidad del material. La metodología empleada comprendió la revisión de materiales como la escoria de acero, el agregado reciclado y el clinker de aceite de palma, comparándolos con el agregado natural convencional.

Además, se analizó cómo la forma del agregado de desecho afecta las propiedades mecánicas y la permeabilidad del concreto permeable. Se observó que altos índices de elongación y aplanamiento se asociaron con una disminución en las propiedades mecánicas, pero con un aumento en la permeabilidad. Estos resultados subrayan la importancia de considerar la selección y la forma del agregado de desecho en el diseño y la fabricación de concreto permeable para pavimentos, con el fin de optimizar tanto su resistencia como su capacidad de drenaje, lo cual es fundamental para abordar problemas ambientales y mejorar la sostenibilidad de las infraestructuras viales. En conclusión, la investigación resalta la necesidad de adoptar enfoques más sostenibles en la construcción de infraestructuras viales, utilizando concreto permeable y materiales de desecho para mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental.

En el artículo realizado por Giuliani et al. (2020) titulado “Advancement in measuring the hydraulic conductivity of porous asphalt pavements” se ofrecen contribuciones significativas en el ámbito de la gestión del agua, especialmente en lo relacionado con la infraestructura vial y el drenaje urbano. El objetivo del estudio fue mejorar la precisión en la medición de la conductividad hidráulica de los pavimentos de asfalto permeable, lo cual es fundamental para comprender su impacto en el ciclo hidrológico urbano y la gestión de las aguas pluviales. La metodología utilizada se centra en el desarrollo de un método no

destrutivo que facilita la evaluación in situ de la conductividad hidráulica sin alterar el tamaño de las grietas en los pavimentos.

Los resultados del estudio tienen implicaciones directas para la gestión del agua en entornos urbanos al reducir la necesidad de grandes cantidades de agua para realizar mediciones de campo, lo cual es especialmente beneficioso en áreas con acceso limitado a este recurso. Se concluyó que el enfoque propuesto no solo mejora la precisión y eficiencia de las mediciones de conductividad hidráulica en pavimentos permeables, sino que también tiene el potencial de contribuir significativamente a la gestión sostenible del agua en entornos urbanos al proporcionar una herramienta más efectiva y accesible para evaluar el rendimiento hidráulico de la infraestructura vial.

El artículo de Da Silva et al. (2021) "The Effect of Periodic Maintenance on Pervious Concrete Pavements" destaca la importancia de manejar la acumulación de aguas pluviales mediante el uso de concreto permeable debido a su relevancia ambiental. El objetivo de este estudio fue investigar el impacto del mantenimiento periódico en la eficiencia hidráulica de los pavimentos de concreto permeable. La metodología empleada consistió en la implementación de un enfoque experimental, donde se establecieron diferentes tramos de pavimentos de concreto permeable en condiciones controladas para simular diversas situaciones de acumulación de sedimentos y obstrucción de los poros. Se realizó un seguimiento periódico de la tasa de infiltración de agua a través de los pavimentos y se registraron observaciones sobre el grado de obstrucción de los poros a lo largo del tiempo.

Los resultados consistieron en la comparación de la tasa de infiltración antes y después del mantenimiento para evaluar su efectividad en la restauración de la eficiencia hidráulica de los pavimentos permeables.

Este enfoque permitió obtener datos cuantitativos sobre el impacto del mantenimiento periódico en la funcionalidad de los pavimentos de concreto permeable en términos de su capacidad para gestionar las aguas pluviales. Se concluyó que el mantenimiento periódico de los pavimentos de concreto permeable es fundamental para conservar su eficiencia hidráulica a lo largo del tiempo.

Cahya et al. (2021) en su artículo “Inclined porous concrete surface impact on infiltration using recycled concrete aggregate”, aborda el desafío pendiente de anticipar la tasa de infiltración en superficies inclinadas, especialmente en relación con la intensidad de la lluvia. El objetivo de este estudio es evaluar el impacto de la superficie inclinada del concreto permeable en su capacidad de infiltración. La metodología del estudio incluyó pruebas de infiltración y permeabilidad en losas de concreto permeable en superficies inclinadas, variando la inclinación del 0 al 30%. El artículo destaca que las superficies inclinadas presentan una capacidad reducida para generar estancamiento, lo que resulta en un mayor escurrimiento y tasas elevadas de erosión. Los resultados indicaron que la tasa de infiltración disminuye a medida que la superficie se vuelve más pronunciada. Se concluyó que el concreto permeable fabricado con agregado grueso reciclado demostró un rendimiento superior en permeabilidad e índice de infiltración en comparación con el concreto producido con agregado natural.

En su artículo Martins Vaz et al. (2020) titulado “Life cycle energy assessment and economic feasibility of stormwater harvested from pervious pavements” abordan un aspecto crucial en la gestión de aguas pluviales: el empleo de pavimentos permeables. Su objetivo principal es analizar el impacto de estos pavimentos en los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible, destacando su capacidad para permitir el paso del agua a través de ellos en lugar de repelerla. La metodología usada fue evaluar la eficacia de los pavimentos permeables en la infiltración del agua y el ahorro de recursos hídricos. Respecto a los

resultados obtenidos, se destaca que se logró un ahorro máximo de agua del 42%, lo que demuestra el impacto significativo de estos sistemas en la reducción de la demanda de agua.

Además, se menciona que la implementación de un sistema de captación de aguas pluviales permitiría un potencial de ahorro de agua de al menos un 37,0%. Los autores concluyeron que, en términos de viabilidad económica, se evidencia que, en comparación con los pavimentos no permeables, el aprovechamiento de aguas pluviales recolectadas del pavimento permeable resulta rentable.

El artículo de Tziampou et.al (2020) titulado “Fluid transport within permeable pavement systems: A review of evaporation processes, moisture loss measurement and the current state of knowledge” realiza una revisión exhaustiva de los procesos de transporte de fluidos dentro de los Sistemas de Pavimento Permeable, con un enfoque particular en la evaporación. El objetivo fue destacar la importancia de una gestión efectiva de las precipitaciones y las aguas pluviales para garantizar el correcto funcionamiento de estos sistemas. Se analizan detalladamente los diversos factores, que influyen en las tasas de evaporación en estos sistemas, incluyendo las características de las capas superficiales y subsuperficiales del pavimento, la presencia de sistemas de barrera/tratamiento de agua, la disponibilidad de agua cerca de la superficie y las condiciones ambientales.

Los resultados resaltan el papel clave de la evaporación en los Sistemas de Pavimento Permeable como un mecanismo beneficioso de eliminación de humedad y calor en diversos escenarios de drenaje. Autores concluyen que la evaporación emerge como un proceso clave para controlar la humedad y el calor en estos sistemas, ofreciendo beneficios significativos en diversos contextos de aplicación.

De Lima et al. (2020) en su artículo “Study of the Mechanical and Physical

Characteristics of the Permeable Concrete Using Empirical Dosage Method” se centra en evaluar dos formulaciones de concreto permeable con el objetivo de mejorar la gestión del aprovechamiento de aguas pluviales en entornos urbanos. El propósito fundamental es encontrar una solución efectiva para abordar los desafíos de inundación en áreas urbanas con alto grado de impermeabilización del suelo. La metodología empleada se basó en un enfoque empírico para dosificar las formulaciones de concreto permeable. Se llevaron a cabo pruebas de resistencia mecánica para evaluar su idoneidad para aplicaciones de tráfico y se realizaron pruebas de gestión de aguas pluviales para analizar su eficacia en la reducción de la escorrentía superficial y la infiltración en el subsuelo.

En cuanto a los resultados se destaca que el concreto permeable redujo la escorrentía superficial en un 30% en comparación con el pavimento convencional, lo que subraya su potencial para mitigar los efectos negativos de las precipitaciones intensas en áreas urbanas. Los autores concluyen que el estudio demuestra que el uso de concreto permeable puede ser una alternativa efectiva para mejorar la gestión del aprovechamiento de aguas pluviales y mitigar los efectos de las inundaciones en entornos urbanos.

3.1.2. Antecedentes nacionales

Gonzáles (2023) en su estudio “Desempeño del concreto permeable como propuesta para mitigar las inundaciones de aguas pluviales en la ciudad de Chiclayo – Lambayeque”, se centra en la aplicación del concreto permeable en entornos urbanos para abordar los desafíos relacionados con la escorrentía de aguas pluviales, particularmente en el departamento de Lambayeque, Perú, afectado por eventos climáticos extremos. El objetivo principal de esta investigación fue identificar la combinación óptima de concreto permeable destinada a reducir las inundaciones en el distrito de Chiclayo. La metodología fue que se adoptó un enfoque aplicativo y un diseño experimental. Se examinaron seis combinaciones de mezclas con dos tamaños de agregado grueso ($\frac{1}{2}$ ” y $\frac{3}{4}$ ”) y diferentes

proporciones agua/cemento (0.25, 0.35 y 0.45), generando un total de 54 especímenes para cada prueba.

Los resultados obtenidos mostraron que el diseño óptimo, con una relación agua/cemento de 0.25, demostró un coeficiente de permeabilidad de 3.82 mm/s y un contenido de vacíos del 20%. Se concluyó que el concreto permeable es una solución viable y efectiva para mitigar inundaciones causadas por aguas pluviales en Chiclayo, contribuyendo a la resiliencia de la infraestructura y la seguridad de las comunidades locales.

Jimenez (2020) en su investigación “Evaluación del concreto permeable como una alternativa sostenible para el control de las aguas pluviales en la ciudad de Castilla, provincia Piura”, tuvo como objetivo encontrar una solución sostenible para gestionar las aguas pluviales en la ciudad de Castilla, especialmente durante eventos climáticos como "El Niño". La metodología usada fue que se empleó un enfoque cuantitativo con un diseño experimental de laboratorio, siguiendo las pautas del informe ACI 522R-10 y ensayos según la Norma Técnica CE. 010 pavimentos Urbanos del Reglamento Nacional de Edificaciones. El estudio se enfocó en la creación de siete mezclas de concreto permeable, siguiendo las pautas del informe ACI 522R-10 y ajustando las proporciones para alcanzar niveles de permeabilidad de 0.14 cm/seg a 1.22 cm/seg,

Huallpa (2020) en su estudio “Diseño de un concreto permeable $f_c=175\text{kg/cm}^2$ como una alternativa para aguas pluviales incorporando canto rodado – Cusco 2021” tuvo como objetivo principal evaluar la eficacia de un tipo de concreto permeable con una resistencia a la compresión de 175 kg/cm², incorporando canto rodado, para abordar problemas de escorrentía en el Pueblo Joven Barrio de Dios. En la metodología, se adoptó un enfoque experimental, cuantitativa, aplicada y descriptiva, para analizar las propiedades físicas y mecánicas del concreto permeable propuesto. Los resultados obtenidos revelaron

que el diseño propuesto fue altamente efectivo en la evacuación de aguas pluviales, cumpliendo con los estándares normativos de resistencia y mostrando un coeficiente de permeabilidad de 0.919 cm/segundo. Se observó que la inclusión de canto rodado resultó beneficiosa para lograr una evacuación eficiente, cumpliendo con los requisitos de resistencia y mostrando permeabilidad.

En conclusión, el concreto permeable desarrollado se presenta como una solución efectiva para los problemas de gestión de aguas pluviales en la mencionada localidad cusqueña, destacando su potencial para mitigar los efectos de la escorrentía y mejorar la gestión hídrica en áreas urbanas vulnerables.

Kanashiro y Monzón (2020) “Determinación del rango óptimo de agregado fino en concreto permeable evaluado a partir de curvas de aproximación para su aplicación en pavimentos especiales”, cusco 2019, tuvo como objetivo determinar la proporción adecuada de agregado fino en el concreto permeable, específicamente diseñado para pavimentos especiales, de manera que cumpla con requisitos específicos de resistencia a compresión, resistencia a flexión equivalente y coeficiente de permeabilidad. En la metodología se llevaron a cabo ensayos utilizando diferentes porcentajes de agregado fino (0%, 5%, 10%, 15% y 20%) proveniente de canteras locales, y se empleó un aditivo plastificante. En total, se realizaron 45 muestras para cada propiedad evaluada. Los resultados obtenidos indican que la adición de un 11% a un 16% de agregado fino logra propiedades de resistencia que cumplen con los estándares requeridos, incluso superándolos en algunos casos.

Se destaca la utilidad de este tipo de concreto permeable para pavimentos especiales como una posible solución para abordar problemas de inundaciones por lluvias y para proponer alternativas sostenibles en el drenaje urbano. Los investigadores concluyeron que el rango óptimo de agregado fino se sitúa entre el 11% y el 16% para

cumplir con los criterios de resistencia y permeabilidad.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Concreto

El concreto es definido como un material compuesto esencial en la construcción, elaborado a partir de la mezcla de cemento, agregados (arena y grava o piedra triturada), agua y, en algunos casos, aditivos específicos (Makul, 2021). El concreto se caracteriza por ser una combinación de un medio cementante que integra partículas o fragmentos de agregados, y que, al endurecerse, se convierte en un material sólido con notables propiedades mecánicas (Bustillo, 2021).

Asimismo, enfatizan que la calidad del concreto está directamente relacionada con la proporción de sus componentes, los procesos de mezcla y curado, así como las condiciones ambientales presentes durante su endurecimiento (Mechtcherine, 2022).

3.2.2. Tipos de concreto

El concreto es un material versátil que se puede adaptar a una amplia variedad de aplicaciones dependiendo de los materiales utilizados en su composición, el diseño de la mezcla y el proceso de fabricación. Según diferentes necesidades constructivas, se han desarrollado diversos tipos de concreto que poseen propiedades específicas para satisfacer demandas particulares (González, 2023).

Tabla 1*Tipos de Concreto*

Tipo de Concreto	Propiedades	Aplicaciones Comunes	Normativa
Convencional o Normal	Resistencia de 20-40 MPa, buena durabilidad y costo moderado.	Edificaciones generales, muros, pavimentos.	ACI 318, ASTM C94.
Reforzado	Incluye barras de acero, mayor resistencia a tracción y flexión. Resistencia >50 MPa, baja	Columnas, vigas, estructuras sometidas a cargas.	ACI 318.
Alta Resistencia	relación agua/cemento, uso de aditivos superplastificantes.	Puentes, rascacielos, presas.	ASTM C39.
Permeable	Alta porosidad, permite el paso del agua, baja densidad.	Pavimentos, estacionamientos, drenajes.	ASTM C1688.
Fastrack	Fraguado rápido, alta resistencia inicial (30 MPa en 24 horas).	Carreteras, aeropuertos, reparaciones urgentes.	ASTM C143, ACI 325.
Liviano	Densidad <2000 kg/m ³ , reduce peso estructural.	Estructuras prefabricadas, cubiertas.	ASTM C330.
Fluido	Alta trabajabilidad, uso de aditivos plastificantes.	Cimentaciones, muros densamente reforzados.	ASTM C1017.
Autocompactante	Fluidez excepcional, no requiere vibración, mayor homogeneidad.	Prefabricados, columnas, muros.	ASTM C1611.
MR (Módulo de Ruptura)	Diseñado para resistir flexión, valor típico de 3- 5 MPa (según diseño).	Pavimentos rígidos, carreteras, aeropuertos.	ASTM C78, AASHTO T97.

Nota: La tabla muestra los tipos de concreto y las normativas correspondientes a cada uno

3.2.3. Concreto permeable

También conocido como concreto poroso, está diseñado para permitir el paso del agua a través de su matriz. Se utiliza en proyectos de drenaje sostenible y manejo de aguas pluviales, contribuyendo a la recarga de acuíferos y a la reducción del escurrimiento superficial.

El concreto permeable es una variante caracterizada por la ausencia o presencia mínima de finos y una baja proporción de agua/cemento. Su aplicación principal se

encuentra en proyectos de menor envergadura, destacándose por su baja resistencia, estado seco y permeabilidad. Ideal para pavimentos estructurales, facilita el drenaje eficiente del agua de lluvia, reduciendo el escurrimiento y contribuyendo al recargue de aguas subterráneas (González, 2023).

En proyectos viales, el diseño de pavimentos con estructura porosa ofrece ventajas como la reducción del riesgo de deslizamientos en condiciones de lluvia, la mitigación de gradientes térmicos y de humedad. Además, el concreto permeable actúa como material dual al drenar y autoventilar gracias al aumento de la estructura de macro poros, inducido por la infiltración del agua en la superficie del pavimento.

Figura 1

Concreto permeable



Nota: Ximetrika. (s.f.). Características del concreto hidráulico permeable [Fotografía]. Recuperado el 17 de julio de 2025, de <https://ximetrika.com/blog-1/f/caracter%C3%ADsticas-del-concreto-hidraulico-permeable>.

3.2.3.1. Importancia del concreto permeable.

El concreto permeable, también conocido como concreto permeable o drenante, se ha convertido en un material clave en la construcción sostenible debido a sus propiedades únicas que permiten la infiltración de agua a través de su estructura porosa. Su relevancia radica en su capacidad para abordar múltiples desafíos ambientales y urbanos relacionados con la gestión de aguas pluviales, la prevención de inundaciones y la reducción de las islas de calor urbano. A continuación, se detalla la importancia del concreto permeable en diversos aspectos (González, 2023).

3.2.3.2. Beneficios económicos a largo plazo

Aunque el costo inicial del concreto permeable puede ser mayor en comparación con pavimentos convencionales, sus beneficios económicos a largo plazo lo hacen una inversión atractiva. Estos beneficios incluyen:

- Menores costos en sistemas de drenaje y alcantarillado.
- Reducción de gastos asociados con inundaciones.
- Incremento en la vida útil de las infraestructuras urbanas.

3.2.3.3. Adaptación al cambio climático

En un contexto de cambio climático, donde se proyecta un aumento en la intensidad y frecuencia de lluvias extremas, el concreto permeable se posiciona como una solución resiliente. Su uso en áreas urbanas permite gestionar grandes volúmenes de agua, mitigando los efectos adversos de eventos meteorológicos extremos (Chow, 2023).

3.2.3.4. Materiales constitutivos del concreto permeable

El concreto permeable está diseñado para permitir el paso del agua a través de su estructura, lo cual se logra mediante el uso de materiales seleccionados y una

cuidadosa dosificación. Los componentes básicos del concreto permeable son similares a los del concreto convencional, pero su proporción y características específicas se ajustan para maximizar la porosidad y garantizar su funcionalidad. A continuación, se describen los principales materiales constitutivos:

- **Cemento:** El cemento es el agente aglutinante principal que proporciona cohesión y resistencia al concreto permeable. Se utiliza comúnmente cemento Portland debido a su versatilidad y disponibilidad.
- **Agregado grueso:** Los agregados gruesos constituyen la mayor parte del volumen del concreto permeable y son clave para generar los vacíos interconectados que permiten la permeabilidad.
- **Agregados finos:** A diferencia del concreto convencional, se observa ausencia o poco contenido de agregado fino para evitar el taponamiento de los vacíos.
- **Agua:** El agua se utiliza para hidratar el cemento y activar el proceso de fraguado y endurecimiento. En el concreto permeable, la relación agua/cemento es cuidadosamente controlada para equilibrar la trabajabilidad y la resistencia.

3.2.3.5. Propiedades del concreto permeable

A continuación, se describen las propiedades del concreto permeable tanto en estado fresco como endurecido, junto con los procedimientos típicos para evaluarlas de acuerdo con normas internacionales.

a. Propiedades en estado fresco

- **Trabajabilidad:** La trabajabilidad del concreto permeable es más baja que la del concreto convencional debido a la falta de finos y la presencia de grandes vacíos interconectados. Se evalúa mediante métodos específicos adaptados a su naturaleza.
- **Consistencia:** Capacidad del concreto fresco para fluir y ocupar el molde,

relacionándose directamente con su trabajabilidad y contenido de agua. El concreto permeable es de consistencia baja o nula.

Figura 2

Ensayo de consistencia del concreto permeable



Nota: Prueba de Slump del concreto permeable

b. Propiedades en estado endurecido

- **Resistencia a la compresión:** La resistencia a la compresión es crucial para evaluar la capacidad estructural del concreto permeable.
- **Permeabilidad:** La permeabilidad es la característica principal del concreto permeable, ya que determina su capacidad para permitir el flujo de agua. La prueba de permeabilidad se realiza según los parámetros descritos en la Norma ASTM C1701.

3.2.4. Pavimento rígido permeable

El pavimento rígido permeable es una solución innovadora dentro de la construcción de infraestructura urbana, diseñada para abordar problemas relacionados con la gestión del agua de lluvia y la sostenibilidad ambiental. Este tipo de pavimento combina las propiedades estructurales del concreto rígido con una alta capacidad de infiltración, permitiendo la percolación del agua hacia el subsuelo. Su relevancia radica en

los múltiples beneficios ambientales, sociales y económicos que aporta, especialmente en áreas urbanas con alta densidad de edificaciones y escasez de sistemas de drenaje adecuados.

3.2.4.1. Contribución de aguas pluviales mediante el pavimento rígido permeable

El pavimento rígido permeable actúa como un sistema de drenaje natural, mitigando los problemas asociados a la escorrentía superficial. Durante eventos de lluvia, el agua se filtra a través de su estructura porosa, contribuyendo a:

- La recarga de acuíferos subterráneos.
- La reducción del volumen de agua que fluye hacia sistemas de alcantarillado, disminuyendo el riesgo de inundaciones.
- La mejora de la calidad del agua, al permitir la filtración y retención de contaminantes como aceites, partículas suspendidas y metales pesados antes de que lleguen a los cuerpos de agua.

3.2.4.2. Beneficios de pavimentos rígidos permeables

- **Mitigación del Efecto Isla de Calor:** El concreto permeable tiene una mayor reflectancia solar en comparación con el asfalto tradicional y contribuye a la regulación térmica al permitir la evaporación del agua infiltrada. Esto ayuda a reducir el fenómeno conocido como el efecto isla de calor urbano, especialmente en ciudades densamente pobladas.
- **Mejora en la Calidad del Agua:** El pavimento permeable filtra contaminantes, promoviendo la purificación del agua a medida que esta se infiltra hacia el subsuelo. Esta función es particularmente valiosa en áreas urbanas, donde la escorrentía puede transportar residuos tóxicos hacia ríos, lagos y océanos.

- **Reducción de la Erosión y la Sedimentación:** La escorrentía superficial es una de las principales causas de erosión del suelo en áreas urbanas y rurales. Al permitir la infiltración directa del agua, el pavimento rígido permeable disminuye la velocidad del flujo de agua superficial, reduciendo los procesos erosivos y los problemas de sedimentación en canales y sistemas de drenaje.
- **Sostenibilidad Ambiental:** El uso de pavimento permeable promueve prácticas de construcción sostenible, contribuyendo a:
 - La reducción del consumo de recursos no renovables.
 - La integración de soluciones de infraestructura verde en el diseño urbano.
 - La disminución de la huella de carbono asociada con sistemas tradicionales de pavimentación y drenaje.
- **Beneficios Económicos:** Aunque la inversión inicial para instalar pavimento rígido permeable puede ser mayor que la de los sistemas convencionales, los beneficios a largo plazo incluyen:
 - Menores costos de mantenimiento en sistemas de alcantarillado pluvial.
 - Reducción de daños por inundaciones y erosión.
 - Extensión de la vida útil de las infraestructuras circundantes.
- **Aplicaciones Urbanas y Sociales:** El pavimento rígido permeable mejora la calidad de vida en áreas urbanas al proporcionar superficies seguras y funcionales para peatones y vehículos. Además, su implementación fomenta el desarrollo de ciudades más resilientes al cambio climático.
- **Contribución al Cumplimiento de Normativas Ambientales:** Muchos países están adoptando regulaciones más estrictas sobre la gestión del agua pluvial y la contaminación. El uso de pavimentos permeables ayuda a las ciudades a cumplir con estas normativas y a obtener certificaciones de sostenibilidad como

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) es el sistema de calificación de edificios sostenibles.

3.2.4.3. Tipologías de aplicación del pavimento rígido permeable

El pavimento rígido permeable es una solución versátil que puede ser implementada en diversos entornos y proyectos de infraestructura urbana, industrial y ambiental. A continuación, se describen las principales tipologías de aplicación según su funcionalidad y el tipo de área en el que se utiliza:

- Estacionamientos
- Calles y Vías Urbanas
- Aceras y andadores peatonales
- Áreas Verdes y Parques

a. Áreas verdes y parques

Aplicación: Áreas de recreación y paisajismo que requieren infraestructura que permita la infiltración del agua.

Beneficios:

- Favorece la recarga de acuíferos subterráneos.
- Evita la compactación del suelo en espacios verdes.
- Soporta actividades recreativas con mínimas alteraciones al medio ambiente.

Ejemplo: Jardines botánicos, campos deportivos y áreas de picnic.

3.2.5. Manejo hídrico en parques urbanos mediante el concreto permeable

El concreto permeable permite el manejo del agua en parques urbanos permitiendo que la lluvia se filtre a través de sus poros, recargando acuíferos y reduciendo inundaciones y escorrentía superficial, funcionando como un sistema de drenaje natural que disminuye

la contaminación y la saturación del alcantarillado, siendo ideal para senderos, estacionamientos y áreas recreativas. En el diseño de parques modernos se promueve:

- Uso de especies vegetales de bajo consumo hídrico.
- Incorporación de sistemas de captación y almacenamiento.
- Automatización del riego (aspersión o goteo).
- Esto fomenta la autonomía hídrica del parque y reduce costos operativos.

A continuación, se describen los componentes que comprenden el manejo hídrico en parques urbanos mediante el empleo del concreto permeable.

a. Sistemas de Captación y Reutilización del Agua

Tecnologías aplicables en parques:

- Biodrenes y zanjas de infiltración.
- Pavimentos permeables
- Cisternas o tanques de almacenamiento de aguas pluviales.
- Jardines de lluvia (rain gardens).
- Sistemas de riego por goteo o aspersión automatizados.

b. Cisternas o tanques de almacenamiento

Las cisternas o tanques de almacenamiento son estructuras diseñadas para recolectar y almacenar el agua de lluvia captada desde superficies impermeables como techos, pisos o áreas pavimentadas. Esta agua puede ser utilizada posteriormente para usos no potables, como riego de jardines, limpieza de áreas públicas, o recarga de sistemas de riego automatizados en parques urbanos.

3.2.5.1. Función dentro de la Gestión Hídrica

- Retención temporal del agua de lluvia para evitar escorrentías excesivas y reducir el riesgo de inundaciones.

- Aprovechamiento del recurso hídrico, disminuyendo el uso de agua potable.
- Regularización del suministro en zonas con lluvias estacionales o escasez hídrica.

3.2.5.2. Componentes del Sistema de Captación y Almacenamiento

- Superficie captadora: Pavimento permeable.
- Conducción de agua: Para pavimento permeable se aplica con tubería cribada.
- Filtros o separadores: Eliminan sedimentos o contaminantes gruesos.
- Almacenamiento: Cisternas o tanques Almacenamiento para el agua y su uso posterior.
- Bombas y válvulas: Facilitan la extracción o distribución del agua almacenada para casos de riego y/o evacuación de aguas para otros usos.
- Sistema de rebose: Permite el desalojo del exceso de agua durante lluvias intensas.

3.2.6. Marco conceptual

- NTP: Las Normas Técnicas Peruanas son regulaciones técnicas establecidas por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) en Perú. Estas normas tienen como objetivo proporcionar criterios y requisitos técnicos para productos, procesos y servicios con el fin de asegurar la calidad, seguridad y eficiencia en diversos sectores.
- ASTM: Estándares técnicos desarrollados por ASTM International, una entidad a nivel internacional especializada en la elaboración y difusión de estándares técnicos. Estas normas están diseñadas para guiar y regular la calidad y el rendimiento de materiales, productos, sistemas y servicios en diversas industrias.
- ACI: El ACI (American Concrete Institute) es una organización internacional, dedicada al desarrollo y difusión de información técnica sobre el uso del concreto en la construcción. Los informes, guías y comentarios del comité de ACI sirven como

orientación para la planificación, diseño, ejecución e inspección de proyectos de construcción. Además, el ACI impulsa la investigación y desarrollo en el campo del concreto, publicando informes técnicos y documentos de investigación. Organiza eventos, conferencias y programas educativos para fomentar el intercambio de conocimientos entre profesionales de la industria.

- **Peso Unitario:** Se hace referencia a una característica física de los agregados que determina la relación entre el peso del agregado recién compactado y el volumen del recipiente, de acuerdo con las pautas establecidas por la norma ASTM C29/C29M.
- **Peso Específico:** La similitud entre el peso de un volumen de líquido y su equivalente en volumen de árido se determina como peso específico, según la descripción proporcionada por las normas NTP 400.021 para agregado grueso y la NTP 400.022 para agregado fino, que siguen procedimientos similares a las normas internacionales ASTM C 127 y ASTM C 128.
- **Pavimento permeable:** Los pavimentos permeables son concebidos principalmente con la finalidad de favorecer la infiltración de las precipitaciones a través de las diferentes capas de la base, con el propósito de gestionar de manera efectiva las aguas pluviales y proporcionar ventajas ambientales.
- **Esorrentía urbana:** En áreas urbanas densamente pobladas, como en ciudades considerables, la tasa de infiltración es prácticamente insignificante, lo que resulta en un 95% de esorrentía superficial que requiere ser gestionada y drenada para mantener condiciones habitables ideales.
- **Pavimentos permeables en la hidrología:** Los pavimentos permeables desempeñan un papel crucial en el ciclo hidrológico natural y en la recarga de acuíferos al absorber el agua de esorrentía.

3.3. Definición de términos

- Concreto permeable: Tipo de concreto con baja o nulo contenido de agregados finos, que tiene alta capacidad de infiltración de agua.
- Pavimento permeable: Estructura de pavimento que permite la infiltración de agua.
- Sistema de captación de agua: Estructura diseñada para recolectar, conducir, almacenar y, en algunos casos, reutilizar el agua proveniente de fuentes naturales principalmente agua de lluvia.
- Alcantarillado pluvial: Conjunto de conductos subterráneos diseñados para llevar aguas de lluvia.
- Drenaje urbano: Sistema de drenaje en áreas urbanas.
- Intensidad de la lluvia: Cantidad de precipitación por unidad de tiempo.
- Lluvia efectiva: Parte de la lluvia que se convierte en escorrentía.
- Pendiente longitudinal: Inclinación del conducto a lo largo de su eje.
- Rasante: Nivel del fondo de un conducto.
- Sistemas de evacuación por gravedad: Sistemas que descargan agua libremente.
- Cisterna de almacenamiento: Depósito, generalmente subterráneo, diseñado para recolectar y almacenar agua para su posterior uso.
- Sistema de riego: conjunto de dispositivos, técnicas y estructuras diseñadas para suministrar agua de manera controlada y eficiente a áreas verdes, jardines entre otros.
- Riego por aspersión: sistema de irrigación presurizada que distribuye agua en forma de pequeñas gotas, simulando la lluvia natural, mediante dispositivos llamados aspersores.

IV. Metodología

El método de investigación que se empleará será el método Cuantitativo, sustentado en un razonamiento deductivo y en la aplicación del método científico, orientado al análisis técnico del concreto permeable como alternativa para el aprovechamiento de aguas pluviales en el Parque Kennedy del distrito de Wanchaq. El estudio partirá de principios generales relacionados con el comportamiento hidráulico del concreto permeable y la gestión de aguas pluviales en entornos urbanos, para luego ser contrastados en condiciones específicas del área de estudio, tales como la topografía, la intensidad de las precipitaciones y la capacidad de infiltración del suelo.

El método se desarrollará de manera sistemática a través de etapas que comprenderán la recopilación y análisis de datos hidrológicos, la caracterización del terreno, la elaboración y evaluación de mezclas de concreto permeable, así como la ejecución de ensayos de permeabilidad y resistencia mecánica. Para ello, se utilizarán procedimientos técnicos, modelos hidrológicos y criterios normativos vigentes en ingeniería civil, los cuales permitirán cuantificar los resultados obtenidos y evaluar la viabilidad técnica de la implementación del concreto permeable en el área de estudio. En concordancia con lo señalado por Hernández et al. (2014), el enfoque cuantitativo se fundamentará en la recolección de datos medibles mediante instrumentos estandarizados, lo que posibilitará un análisis objetivo y replicable de

los resultados.

4.1. Tipo y Nivel de investigación

4.1.1. Tipo de Investigación

La investigación se caracterizó por ser de tipo Aplicado, ya que se basó en investigaciones anteriores y propuso soluciones a los desafíos actuales que enfrentan las comunidades utilizando información actualizada como base (Chow, 2023). Además, la naturaleza de la investigación se alineó estrechamente con el enfoque aplicado, caracterizado por su enfoque práctico y orientado a la resolución de problemas concretos en el contexto de la gestión de aguas pluviales.

La investigación se basó en investigaciones previas relevantes y en información actualizada para proponer soluciones innovadoras y efectivas para abordar los desafíos específicos que enfrenta el Parque Kennedy en el Distrito de Wánchaq. Este enfoque aplicado permitió utilizar el conocimiento existente sobre el uso de concreto permeable para la gestión de aguas pluviales y adaptarlo a las necesidades particulares del parque y la comunidad circundante. Además, la investigación se apoyó en datos actualizados sobre las condiciones climáticas, topográficas y de infraestructura para informar las recomendaciones y garantizar su relevancia y eficacia.

Al combinar la investigación teórica con la aplicación práctica de soluciones innovadoras, la investigación buscó ofrecer respuestas tangibles a los desafíos de la gestión de aguas pluviales en el Parque Kennedy, contribuyendo así al desarrollo sostenible y al bienestar de la comunidad en el Distrito de Wánchaq, en la ciudad del Cusco.

4.1.2. Nivel o alcance de investigación

La investigación fue de carácter Descriptivo, ya que buscó detallar las propiedades,

atributos y rasgos de individuos, conjuntos, comunidades, procedimientos, elementos u otros fenómenos sujetos a un análisis (Hernández, 2014).

Para lograr una comprensión profunda de los procesos y elementos involucrados en el aprovechamiento de aguas pluviales en el Parque Kennedy, el enfoque de la investigación se caracterizó como descriptivo. Este enfoque permitió detallar meticulosamente las propiedades, atributos y rasgos tanto del parque como del sistema de manejo de aguas pluviales propuesto. La investigación se centró en describir las características físicas, hidrológicas y ambientales del Parque Kennedy, así como en explicar en detalle el diseño y funcionamiento del sistema de concreto permeable propuesto para la gestión de aguas pluviales y el sistema de drenaje. Además, se detallaron los procedimientos y métodos utilizados en la implementación del sistema.

Al adoptar un enfoque descriptivo, la investigación aspiró a proporcionar una visión completa y detallada de cómo se llevaría a cabo la gestión de aguas pluviales en el Parque Kennedy utilizando concreto permeable y el sistema de drenaje. Esto permitió una comprensión clara de los elementos clave involucrados y facilitó la evaluación de la viabilidad, eficacia y sostenibilidad del sistema propuesto.

4.2. Ámbito temporal y espacial

En el contexto de una investigación Cuantitativa, la delimitación constituye un procedimiento clave para definir con precisión el alcance del estudio, incluyendo sus dimensiones temática, espacial, temporal, muestral y metodológica. Esta delimitación permite al investigador enfocar su análisis en parámetros concretos y viables. Específicamente, la delimitación temática acota el contenido y aspectos conceptuales a abordar; la espacial define el lugar de la recolección de datos; y la temporal establece el lapso en que se llevará a cabo la investigación, lo cual facilita su ejecución (Guía Metodológica, 2025; Hernández Sampieri,

2014).

4.2.1. Espacial

Esta investigación se llevó a cabo específicamente en el parque Kennedy del distrito de Wánchaq de la ciudad de Cusco, Perú.

4.2.2. Temporal

La investigación se realizó en el año 2024. Los datos, análisis y resultados se basaron en información obtenida de ensayos y diseños realizados en laboratorio para este período, realizándose mejoras de análisis y estudio en el periodo del año 2025.

4.2.3. Social

El enfoque de este estudio se orientó hacia aspectos vinculados con la evaluación de concreto permeable y la gestión de aguas pluviales en parques. Los principales actores sociales involucrados incluyeron ingenieros civiles, constructores y autoridades locales relacionadas con la construcción, gestión y control de aguas pluviales en zonas urbanas.

4.2.4. Conceptual

La investigación se limitó a utilizar metodología establecida en la NTP (NTP 400.037, NTP 339.033, etc.), ASTM (ASTM C33, ASTM C150, ASTM D2434, etc.) y las recomendaciones del ACI (ACI 522R-10) para los ensayos de concreto. El enfoque conceptual se centró en identificar el control de aguas pluviales mediante el uso de concreto permeable en el parque Kennedy, con el empleo de los agregados de la cantera 3 de mayo (Agregado grueso) y Cantera Zurite (Agregado Fino), con agregado grueso de piedra chancada con Tamaño Máximo $\frac{3}{4}$ " y con contenido de agregado fino en diferentes proporciones como 0%, 5%, 10% y 15% en peso, Asimismo el cemento a emplear es de TIPO I y el agua empleada es potable de la Red de SEDA CUSCO.

4.2.5. Tecnológica

Esta investigación se delimita tecnológicamente al uso, análisis y evaluación del concreto permeable integrado a un sistema de colección mediante tubería cribada de PVC, como material innovador de infraestructura urbana para el aprovechamiento sostenible de aguas pluviales mediante una propuesta de sistema de captación por tubería cribada de 4" con cribas de 10mm de diámetro al 50% de la superficie de la tubería, almacenamiento en cisterna de concreto y su respectivo uso como en el riego por aspersión. El estudio se enfoca exclusivamente en las características técnicas del concreto permeable, tales como su capacidad de infiltración, resistencia mecánica y funcionalidad hidráulica en condiciones reales del entorno urbano. No se considerarán procesos industriales relacionados con la fabricación a gran escala del concreto, sino únicamente su aplicación práctica en espacios públicos urbanos, específicamente en el Parque Kennedy del distrito de Wanchaq, Cusco.

Asimismo, se emplearán herramientas tecnológicas básicas para la recopilación y procesamiento de datos, balanzas electrónicas, cronómetros digitales y software de análisis estadístico y diseño, (Excel, Hidroesta 2, Civil 3D), sin involucrar tecnologías computacionales avanzadas o modelamiento hidráulico tridimensional.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

Según (Hernandez, 2014) la población se refiere a un conjunto de elementos con características similares que pueden ser observados en un momento específico o durante un período determinado. En este contexto la población de estudio está constituida por todas las posibles mezclas de concreto permeable que pueden ser diseñadas y producidas conforme a la guía ACI 522R-10, destinadas al aprovechamiento de aguas pluviales en espacios públicos urbanos, específicamente en pavimentos permeables del Parque Kennedy del distrito de Wanchaq – Cusco, durante el año 2024.

Asimismo, forman parte de la población todos los especímenes de concreto permeable que pueden ser elaborados con variaciones en el contenido de agregado fino de (0%, 5%, 10% y 15%) y evaluados mediante ensayos de resistencia a la compresión y capacidad de permeabilidad en condiciones de laboratorio.

4.3.2. Muestra

En cuanto a la muestra, esta se define como un conjunto de elementos o características que exhiben similitudes y que deben ser considerados al llevar a cabo el proyecto (Arias et al., 2022).

La muestra está conformada por cuatro (04) diseños de mezcla de concreto permeable, determinados de manera no probabilística e intencional, en función de los objetivos de la investigación y del enfoque experimental del estudio.

Las mezclas seleccionadas consideran la variación del contenido de agregado fino en proporciones de 0%, 5%, 10% y 15% en peso, manteniendo constantes los demás componentes de la mezcla (cemento, agua y agregado grueso), de acuerdo con los criterios establecidos en la guía ACI 522R-10.

Para cada diseño de mezcla se elaborarán especímenes cilíndricos de concreto permeable, los cuales serán sometidos a ensayos de laboratorio conforme a las normas técnicas vigentes.

El muestreo para la investigación será de tipo intencional y no probabilístico, ya que la elección de los elementos de estudio se llevará a cabo considerando criterios técnicos, accesibilidad y viabilidad operativa, propios de una investigación en ingeniería civil. En este contexto, el área de estudio se centrará en el Parque Kennedy en el distrito de Wanchaq, el cual se seleccionará por sus características urbanas representativas, su ubicación estratégica y sus condiciones adecuadas para la evaluación del concreto permeable

utilizado para la captura de aguas pluviales. Esto permitirá investigar la viabilidad técnica de soluciones sostenibles en áreas públicas.

La muestra estará compuesta por los paneles de concreto permeable que se llevarán a cabo en la zona de estudio, seleccionándose según criterios técnicos que incluyen la representatividad del terreno, la accesibilidad y la viabilidad para realizar pruebas de permeabilidad, infiltración y resistencia mecánica. Además, la elección de los materiales se basará en criterios normativos técnicos, optando por la cantera “3 de Mayo” para el agregado grueso y la cantera “Zurite” para el agregado fino debido a que cumple con los parámetros establecidos en el ACI 522R y las normas ASTM pertinentes, tales como la granulometría, el contenido de finos y el porcentaje de vacíos interconectados, garantizando así un rendimiento hidráulico y mecánico adecuado del concreto permeable propuesto.

El tamaño de la muestra experimental se definirá de acuerdo a los requerimientos normativos y las condiciones experimentales de los ensayos de resistencia a la compresión y permeabilidad. Se trabajará con cuatro tratamientos de concreto permeable con porcentajes de agregado fino de 0%, 5%, 10% y 15%. En el ensayo de resistencia a la compresión se tomarán en cuenta tres tiempos de curado (7, 14 y 28 días), con tres probetas por tiempo y por tratamiento, sumando un total de 36 muestras. Para el ensayo de permeabilidad, se crearán tres especímenes por tratamiento, lo que dará un total de 12 muestras. El número de especímenes por grupo seguirá lo estipulado en las normas ASTM C39/C39M y ASTM C1701/C1701M.

Tabla 2

Cuadro resumen de muestras según tipos de ensayos y dosificación

	Ensayo	Contenido de Agregado Fino				TOTAL
	Edad (días)	0%	5%	10%	15%	
Compresión f'c=175Kg/cm ²	7	3	3	3	3	12
	14	3	3	3	3	12
	28	3	3	3	3	12
	TOTAL	9	9	9	9	36
	Permeabilidad	3	3	3	3	12

Nota: En la tabla se aprecia la cantidad de especímenes a emplearse según tipo de ensayo y dosificación correspondiente

4.4. Técnicas e instrumentos

Para el desarrollo de la investigación se emplearán técnicas e instrumentos que permitirán recopilar información confiable y precisa sobre el desempeño del concreto permeable y el comportamiento de las aguas pluviales en el Parque Kennedy del distrito de Wanchaq.

4.4.1. Técnicas

- **Observación:** Se utilizó la observación directa del entorno del Parque Kennedy para recopilar información sobre el comportamiento de las aguas pluviales, la infraestructura existente y cualquier otro aspecto relevante para el estudio. Esta técnica proporcionó datos de primera mano sobre la situación actual y los desafíos que enfrentaba el parque en términos de gestión de aguas pluviales.
- **Análisis documental:** Se recopilarán datos de fuentes secundarias, como lo son: documentos, Tesis (nacionales e internacionales), libros, Normas (ASTM, ACI y NTP), revistas Libros; Páginas web estatales con SENAMHI. Con el fin de usar esta información para el estudio de las variables de interés.
- **Ensayos de laboratorio:** Se realizó una serie de ensayos de laboratorio para evaluar las propiedades del concreto permeable y su eficacia en la gestión de

aguas pluviales. Estos ensayos permitieron determinar la permeabilidad, resistencia y otras características importantes del concreto permeable, lo que ayudó a entender mejor su desempeño y su idoneidad para su implementación en el Parque Kennedy.

4.4.2. Instrumentos

Los instrumentos utilizados en la investigación permitieron recolectar información válida y confiable, acorde a los objetivos planteados.

- **Ficha de Observación:** Instrumento estructurado que permitió registrar de manera ordenada las observaciones realizadas durante el proceso de elaboración y evaluación del concreto permeable y del área de estudio.
- **Guía de ensayos de laboratorio:** Documento técnico que estandarizó los procedimientos experimentales, conforme a las normas vigentes, tales como:
 - Ensayo de resistencia a la compresión (ASTM C39).
 - Ensayo de permeabilidad del concreto permeable (ASTM C1701).
 - Ensayo de granulometría de agregados (ASTM C33 / C33M, ASTM C136).
 - Guía para el diseño y construcción de concreto permeable (ACI 522R-10).
 - Manual para el diseño de mezclas de concreto permeable (ACI 211.3R-02).
- **Fichas de registros de datos:** Instrumento utilizado para consignar los resultados obtenidos en cada ensayo experimental, permitiendo una adecuada sistematización de la información.
 - Valores de ensayo granulométrica
 - Valores de resistencia a la compresión
 - Valores de permeabilidad
- **Instrumentos y Equipos:** Se emplearon equipos especializados para la medición de las variables del estudio, entre los que destacan.

- Prensa hidráulica para ensayo de compresión.
- Moldes cilíndricos normalizados.
- Tamices graduados
- Balanza digital.
- Cronómetro

4.5. Procedimiento

4.5.1. Estudios previos

4.5.1.1. Ubicación de la zona de estudio

El Parque Kennedy de Wanchaq – Cusco, está ubicada en el distrito de Wanchaq, en la ciudad de Cusco, Perú. Se encuentra en una zona residencial y comercial, y es un lugar de encuentro para los vecinos y visitantes, se encuentra entre la Calle Zafiros y Calle Diamantes, al margen derecho de la Av. Tupac Amaru encuentro con el puente By Pass.

Las coordenadas UTM aproximadas del Parque Kennedy en Wanchaq, Cusco, son: Este: 180,429 y Norte: 8´502,188. El sistema de coordenadas utilizado es WGS 1984 UTM Zona 19S.

El parque ofrece áreas verdes, juegos para niños, y espacios para realizar actividades al aire libre. Es un lugar ideal para relajarse, disfrutar del entorno y pasar tiempo con la familia y amigos. Algunos lugares cercanos al Parque Kennedy de Wanchaq pueden incluir:

- Centros comerciales y tiendas locales
- Restaurantes y cafeterías
- Instituciones educativas y oficinas

El Parque Kennedy de Wanchaq es un espacio importante para la comunidad

local, y contribuye a la calidad de vida de los residentes en la zona.

4.5.2. Selección de Materiales

- **Cemento:** Utilizar cemento Portland Tipo I o II, cumpliendo la norma ASTM C150. Dosificación típica: 250–300 kg/m³. El cemento empleado para el caso de esta investigación es: Cemento Yura tipo IP.
 - Tamaño: Agregados gruesos con tamaños entre 9.5 mm y 19 mm.
 - Granulometría: Cumplir con la norma ASTM C33, excluyendo partículas finas.
 - Dosificación típica: 1500–1700 kg/m³.
- **Los agregados** empleados para el caso de esta investigación son provenientes de la cantera 3 de Mayo para el agregado grueso y la cantera Zurite para el agregado fino.
- **Agua potable**, cumpliendo la norma ASTM C1602. Dosificación típica: 100–150 litros/m³. El agua usada en la mezcla para esta investigación es de SEDA CUSCO
- Para el caso de esta investigación no se emplearon aditivos, para efectos de trabajabilidad se recomienda emplear aditivos plastificantes, retardantes e inclusores de aire.

4.5.3. Propiedades físicas de los agregados

Los agregados empleados para materia de estudio se obtuvieron de la cantera 3 de mayo para agregados gruesos y de la cantera Zurite para agregados finos

- **La cantera 3 de Mayo:** Se encuentra ubicada en el distrito de Lucre, Provincia de Quispicanchi, Departamento de Cusco, a 29.8 km de la ciudad del Cusco, entre Huambutio y Huacarpay. El yacimiento petreo que explotan en esta cantera es de tipo sedimentario. El material que extraen es de canto rodado. Esta cantera produce agregados naturales, triturados y no triturados, con sus

diversas clasificaciones según la demanda del mercado.

- **Cantera Zurite:** La cantera de Zurite se encuentra emplazado dentro del distrito de Zurite, en la provincia de Anta y la Región de Cusco, Políticamente limita al norte con el Fundo Chinchaypujio, al este con la comunidad de Huarcocondo, al oeste con el distrito de Ancahuasi y al sur con el fundo Huaylla. La explotación de la cantera actualmente se realiza mediante la utilización de cargador frontal y su procesamiento se realiza mediante la utilización de chancadoras y zarandas.

4.5.4. Análisis granulométrico

4.5.4.1. Procedimiento de ensayo

- El análisis granulométrico del agregado grueso se realizó siguiendo las normas establecidas por:
 - ASTM C136 / AASHTO T27: Método de ensayo estándar para análisis por tamizado de agregados finos y gruesos.
 - ASTM C33 / AASHTO M6: Especificaciones estándar para agregados de concreto.
 - NTP 400.037: Norma técnica peruana para la granulometría de agregados.
 - ACI 522R-10: Guía para el diseño y construcción de pavimentos de concreto permeable.
 - ACI 211.3R-02: Manual para el diseño de mezclas de concreto permeable.
- Los materiales y equipos que se han utilizado son los siguientes:
 - Balanza con precisión de 0,1% del peso de la muestra.
 - Juego de tamices normalizados con abertura en milímetros.
 - Agregado fino y grueso secos (muestra representativa).
 - Cepillo de cerdas suaves y bandeja recolectora.

- La preparación de la muestra se realizó de la siguiente manera:
 - Se obtuvo una muestra representativa del agregado grueso y fino según ASTM C702 o NTP 400.012.
 - Se secó la muestra en horno a 110 ± 5 °C hasta alcanzar peso constante.
 - Se pesó la muestra seca y se registró su peso total (WT)
- Finalmente, el tamizado se realizó como se indica a continuación:
 - Se colocaron los tamices en orden decreciente de tamaño sobre una base recolectora.
 - Se vertió la muestra sobre el tamiz superior.
 - Se agitó manualmente por 10 minutos para garantizar una distribución completa.

Figura 3

Ensayo granulométrico por tamizado del agregado grueso – Cantera 3 de Mayo



Nota: Granulometría por tamizado de Agregado grueso HUSO AG-67

Figura 4

Ensayo granulométrico del agregado fino – Cantera Zurite



Nota: Distribución granulométrica por Tamizado ASTM C136

4.5.5. Peso Unitario Suelto y compactado

El ensayo se realizó conforme a la norma: ASTM C29 / AASHTO T19: Determinación del peso unitario y el porcentaje de vacíos en agregados y la NTP 400.017: Método de ensayo para determinar el peso unitario suelto y compactado de los agregados.

- Los materiales y equipos utilizados fueron los siguientes:
 - Balanza con precisión de 0,1% del peso de la muestra.
 - Molde cilíndrico de volumen conocido (3019 cm³).
 - Varilla de acero con diámetro de 16 mm y longitud de 600 mm.
 - Pala y cuchara para el manejo de muestras.
 - Regla metálica para nivelación.
- Para el peso unitario suelto se siguió lo detallado a continuación:
 - Se limpió y secó el molde antes de iniciar el ensayo.
 - Se llenó el molde con agregado suelto en tres capas sin aplicar compactación.
 - Se enrasó la superficie con una regla metálica para eliminar el exceso de

material.

- Se pesó el molde con el agregado suelto y se registró el peso total (WTsu).
- Para el peso unitario compactado se siguió lo detallado a continuación:
 - Se llenó el molde con agregado en tres capas de aproximadamente $\frac{1}{3}$ del volumen total.
 - Cada capa fue compactada con 25 golpes de la varilla de acero.
 - Se enrasó la superficie con una regla metálica para eliminar el exceso de material.
 - Se pesó el molde con el agregado compactado y se registró el peso total (WTco)

Figura 5

Ensayo de peso unitario suelto y compactado



Nota: Se realiza el ensayo de peso unitario suelto y compactado

4.5.6. Gravedad Especifica y Absorción

Se realizó según las siguientes normativas:

- El ensayo se ASTM C127: Gravedad específica y absorción del agregado grueso.
- ASTM C128: Gravedad específica y absorción del agregado fino.

- NTP 400.022: Determinación de la gravedad específica y absorción de agregados.
- Los materiales y equipos utilizados se detallan a continuación:
- Balanza con precisión de 0,1 g.
- Canasta de inmersión o frasco volumétrico.
- Toallas absorbentes.
- Horno para secado (105 ± 5 °C).
- Termómetro.
- Agua destilada.

El ensayo para el agregado grueso se desarrolló de la siguiente manera:

- El agregado grueso se saturó completamente sumergiéndolo en agua por 24 horas.
- Se retiró el exceso de agua superficial con toallas húmedas.
- Se pesó en aire (Peso A).
- Se colocó el agregado en una canasta sumergida en agua y se registró el peso (Peso B).
- Se secó el agregado en horno a 105 °C hasta peso constante.
- Se pesó nuevamente (Peso D).
- Se eliminó el exceso de agua y se pesó en aire (Peso A).
- Se llenó un frasco volumétrico con agua hasta un nivel fijo y se registró el peso (Peso B).
- Se agregó el agregado fino saturado y se registró el nuevo peso (Peso C).
- Se registró el peso del agua desplazada (Peso D).
- Se secó el agregado en horno a 105 °C hasta peso constante.

- Se pesó nuevamente (Peso F).
- Se saturó el agregado fino sumergiéndolo en agua por 24 horas.

Figura 6

Ensayo de gravedad específica y absorción



Nota: Realización de ensayo de gravedad específica y absorción

4.5.7. Justificación del uso de agregado fino en el concreto permeable

Aunque las normas internacionales, como el ACI 522R-10, definen al concreto permeable como una mezcla elaborada con agregado grueso y con “poco o ningún” agregado fino, diversos estudios han demostrado que la incorporación controlada de pequeñas proporciones de agregado fino (menores al 15 %) puede mejorar significativamente las propiedades mecánicas del material sin comprometer de forma crítica su permeabilidad.

El uso moderado de finos favorece una mejor cohesión y trabajabilidad de la mezcla, reduciendo la segregación del agregado grueso y mejorando la resistencia a compresión mediante un empaquetamiento más denso entre partículas. De esta manera, se optimiza el desempeño estructural del concreto permeable, lo cual resulta especialmente importante cuando se prevé su aplicación en zonas urbanas de tránsito peatonal o en superficies sometidas a cargas ligeras, como el Parque Kennedy del distrito

de Wanchaq – Cusco.

Sin embargo, es necesario mantener un equilibrio entre resistencia y permeabilidad, ya que el exceso de finos puede obstruir los poros interconectados y reducir la capacidad de infiltración del agua. Por ello, la presente investigación considera un contenido limitado y experimentalmente verificado de agregado fino, que cumplan simultáneamente con los criterios técnicos recomendados por las normas y estudios recientes.

En este sentido, el uso de agregado fino no responde a una decisión de conveniencia, sino a una adaptación técnica fundamentada en evidencia científica, que busca garantizar la viabilidad estructural y funcional del concreto permeable en condiciones locales, empleando materiales disponibles en la cantera “3 de Mayo” y cumpliendo con los objetivos de aprovechamiento de aguas pluviales establecidos para esta investigación.

4.5.8. Diseño de concreto permeable ACI 522R-10

Una vez que ya se conocen las propiedades de cada uno de los componentes del concreto permeable se debe hacer una combinación debidamente en proporciones adecuadas, para que la mezcla de concreto pueda llegar a su resistencia propuesta, también se debe tener en cuenta la permeabilidad para que pueda tener un comportamiento adecuado a las condiciones que están expuestas.

Debido a que nuestra mezcla es una mezcla no convencional, se tomara en cuenta la guía para la elaboración de proporciones para concretos con un slump cero, (Guide for selecting proportions for no-slump concrete, ACI211.3R) y el procedimiento de diseño que brinda el reporte en el concreto permeable. (Reporto on pervious concrete, ACI 522R-10), el cual brinda las consideraciones y tablas necesarias para la elaboración del diseño y el proporcionamiento de materiales.

Para realizar el diseño de mezcla del concreto permeable utilizaremos el método del ACI, porque utilizaremos los cuadros obtenidos en ensayos realizados empíricamente en el laboratorio.

Tabla 3

Datos iniciales de diseño de mezcla de concreto permeable

Propiedad		Agr. Grueso	Agr. Fino	Unidad
Tamaño Máximo	TM	3/4"	#4	
Módulo de Fineza	MF	6.8	2.84	
Peso específico	Pe	2666	2562	Kg/m ³
Peso Unitario Suelto	Pus	1445	1578	Kg/m ³
Peso unitario Compactado	Puc	1579	1695	Kg/m ³
Absorción	a%	0.97	1.27	%

Nota: Resumen de datos iniciales para diseño de concreto permeable

- **Contenido de vacíos**

El cálculo de contenido de vacíos es determinado por el porcentaje de aire del método gravitacional y se rige a la norma ASTM C 138. El contenido de vacíos dependerá de varios factores, como pueden ser: la granulometría del agregado, contenido de material cementante, relación agua cemento y energía de compactación (ASTM, 2017). Para resistencias de 175kg/cm² el contenido de vacíos oscila de entre 15% - 35%, según la ACI 522R. Por métodos empíricos se recomienda oscilar de entre 15% - 25% para no comprometer la resistencia del concreto permeable.

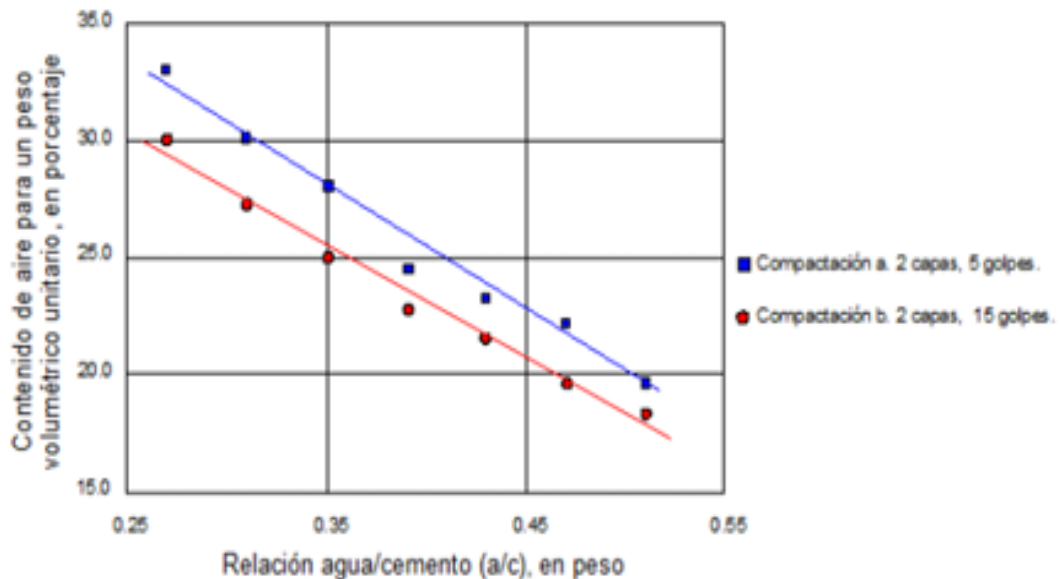
- **Relación de Agua-Cemento (a/c)**

En ACI 211.1, se dan los requerimientos de agua de mezcla relativos aproximados para conformar hormigón a las descripciones de consistencia de plástico rígido, plástico, y muy plástica. Para esta investigación se toma una relación de agua

cemento deseables dentro del rango recomendado por la norma ACI 522R-10 que los valores oscilan entre 0.26 a 0.41, teniendo como un valor optimo frecuente 0.35, sin comprometer la adherencia de la mezcla ni la trabajabilidad del concreto.

Figura 7

Contenido de vacíos en función de la relación agua cemento para el concreto permeable



Nota: Relación entre el contenido de vacíos y la relación agua – cemento para el concreto permeable. Fuente: LOPEZ, Emiliano; Control de calidad y colocación de concretos permeables. Página 35

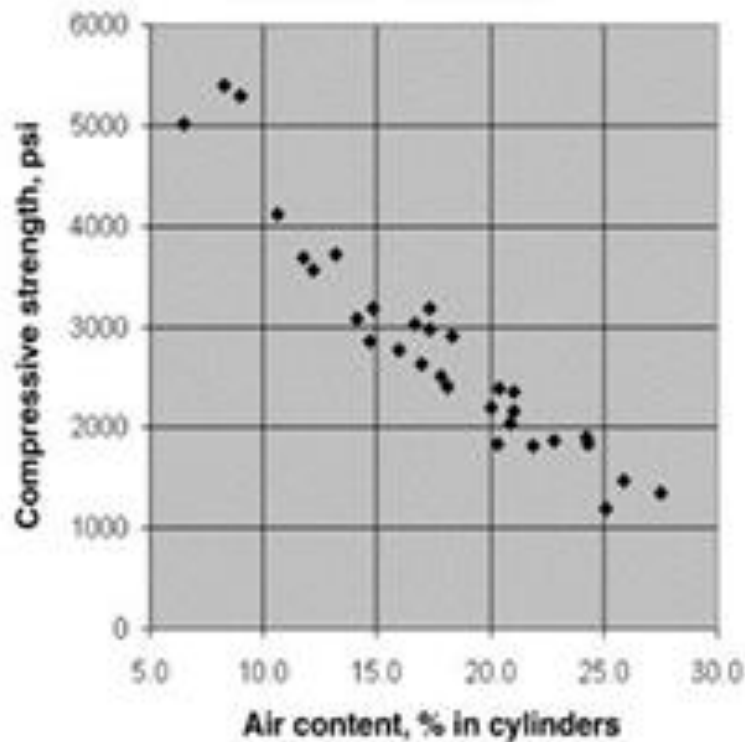
- **Resistencia a la compresión vs Contenido de vacíos**

La resistencia a la compresión del concreto permeable se determina por la norma ASTM C39, se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²) y se obtiene a los 28 días (ASTM International, 2016). La resistencia a la compresión es afectada por el tipo de mezcla del que está compuesto, además, se ve afectada por la compactación de la misma. Esta resistencia se ve disminuida gracias al contenido de vacíos que tiene la mezcla. El ACI ha realizado varios ensayos a probetas cilíndricas para comprobar la relación entre el contenido de aire y la resistencia a la compresión,

donde se llegó a la conclusión que, al tener un menor porcentaje de vacíos en el concreto, la probeta ensayada tendrá una mayor resistencia a la compresión. Por ejemplo, con 23% de contenido de vacíos, la resistencia a la compresión del concreto da un valor de 2500 psi (175 kg/cm² aproximadamente), mientras que con un contenido de vacíos del 10% el concreto logra una resistencia a la compresión de 4000 psi (280 kg/cm² aproximadamente) (ver Figura 4) (ACI Committee 522, 2010).

Figura 8

Esfuerzo de Compresión vs Contenido de vacíos.



Nota: Fuente: ACI 522, Reporte de Concreto Permeable ACI 522R-10. Capítulo 4.

- **Permeabilidad**

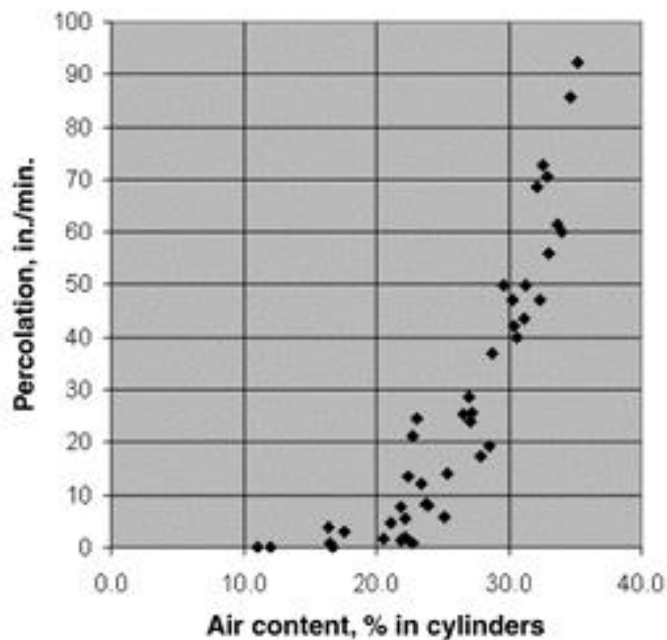
Una de las características principales de este concreto es su permeabilidad y porosidad, gracias a estas dos características se obtiene la propiedad de dejar fluir el agua a través de su estructura. Esta se obtiene por el tamaño de agregado grueso con

el que está compuesto. La percolación o infiltración es la capacidad de dejar pasar el agua a través de un material poroso y para que esta tenga un valor significativo se requiere un porcentaje de vacíos de 15 por ciento o más (National Ready Mixed Concrete Association, 2016).

El ACI ha demostrado mediante ensayos que mientras mayor contenido de aire tenga el concreto, mayor será la permeabilidad (ver Figura 7), pero al aumentarle mucho el contenido de aire, la resistencia a la compresión del concreto disminuye. Se puede determinar por el método ACI-522R-10.

Figura 9

Permeabilidad vs Contenido de aire en %.



Nota: Fuente: ACI 522, Reporte de Concreto Permeable ACI 522R-10. Capítulo 4.

Dosificación

Teniendo en cuenta las consideraciones sugeridas por las normas el diseño esperado para el concreto permeable de 175Kg/cm² es de: Relación a/c=0.35,

Contenido de Vacíos de hasta 25%.

- **Volumen y cantidad de los materiales por metro cúbico de concreto**

Para realizar el diseño se utilizó como guía el ACI 211.3, en el cual en el Apéndice 6, muestra un ejemplo de cómo proporcionar la mezcla para un concreto permeable. Por ello se partirá con las siguientes ecuaciones:

$$V_{pasta} = V_{cemento} + V_{agua} \dots\dots\dots(1)$$

$$Volumen = \frac{Masa}{Densidad} \dots\dots\dots(2)$$

$$V_{pasta} = \frac{Masa\ Cemento}{Densidad\ de\ Cemento} + \frac{Masa\ Agua}{Densidad\ de\ Agua} \dots\dots\dots (3)$$

Reemplazando la masa de cemento por “c” y la masa de agua por “w”, y además utilizando el siguiente artificio:

$$W = \left(\frac{w}{c}\right) \times C \dots\dots\dots(4)$$

Se obtiene lo siguiente:

$$V_{pasta} = \frac{c}{Densidad\ de\ Cemento} + \frac{\left(\frac{w}{c}\right) \times C}{Densidad\ de\ Agua} \dots\dots\dots(5)$$

Además, se sabe que:

$$V_{pasta} = 1m^3 - (V_{grava} + Volumen\ vacios) \dots\dots\dots(6)$$

Entonces, una vez conocido el dato del peso volumétrico compactado del agregado grueso, se procede a elegir el coeficiente b/b0 (Tabla 10), el cual es resultante de la división del peso seco varillado del agregado grueso entre el volumen aparente del concreto total expresado en kg/m3 (ACI 211.3, 2002)

Tabla 4Coeficiente b/b_0

% de Agregado Fino	b/b_0	
	ASTM C 33	ASTM C 33
	Huso N° 8	Huso N° 67
0	0.99	0.99
5	0.96	0.96
10	0.93	0.93
15	0.89	0.895
20	0.85	0.86

Nota: ACI 211.3, Reporte de Concreto Permeable ACI 211.3R-02. Apéndice 6.

- **Para un diseño de mezcla de concreto permeable con 0% agregado fino**

El valor b/b_0 será de 0.99, debido a que en el presente caso se utilizará un agregado de 3/4" (No. 67) y no incluirá agregado fino, entonces para obtener el valor de la masa del agregado grueso se debe que multiplicar el valor del peso unitario seco compactado por el b/b_0 y por uno más el porcentaje de absorción de la grava.

$$Masa\ Agregado = Peso\ Unitario\ Seco\ Compactado \times \frac{b}{b_0} \times (1 + \%absorcion) \dots\dots(7)$$

$$Masa\ Agregado = 1579 \times 0.99 \times (1 + 0.97\%) = 1578.37\ Kg$$

$$Masa\ Agregado = 1578.37\ Kg$$

Posteriormente utilizando la expresión 2, se obtiene el volumen del agregado, para así poder reemplazar el resultado en la expresión 6.

$$V_{agregado} = \frac{1578.37\ Kg}{2666\ Kg/m^3} = 0.592\ m^3$$

$$Volumen\ Agregado = 0.592\ m^3$$

$$V_{pasta} = 1m^3 - (0.592 + 25\%) = 0.158 m^3$$

Al obtener el volumen de pasta, se procede a reemplazarlo en la expresión 5, del cual ya se conoce la relación agua-cemento que será de 0.35

$$0.158 = \frac{C}{3150 \text{ Kg/m}^3} + \frac{(0.35) \times C}{1000 \text{ Kg/m}^3}$$

$$C = 236.72 \text{ Kg}$$

Y con la relación agua-cemento de 0.35, se obtiene la masa del agua la cual será de:

$$W = 0.35 \times 236.72 \text{ Kg} = 82.85 \text{ Kg} = 82.85 \text{ Lt}$$

Por lo tanto, se pasa a calcular y comprobar los volúmenes de todos los materiales, y se suman todos los volúmenes para obtener el volumen de mezcla y luego verificar si cumplen para la realización de 1 m³.

$$V_{cemento} = 0.0751 m^3$$

$$V_{agua} = 0.0829 m^3$$

$$V_{agregado} = 0.5920 m^3$$

Repetimos el procedimiento para los diferentes porcentajes de agregado fino

- **Para un diseño de mezcla de concreto permeable con 5% agregado fino**

$$Masa \ A.G. = \text{Peso Unitario Seco Compactado} \times \frac{b}{b_0} \times (1 + \% \text{absorción})$$

$$Masa \ Agregado \ grueso = 1579 \times 0.96 \times (1 + 0.97\%) = 1530.54 \text{ Kg}$$

$$Masa \ Agregado \ Grueso = 1530.54 \text{ Kg}$$

$$Masa \ Agregado \ Fino = 5\% \times 1530.54 \text{ Kg}$$

$$Masa \ Agregado \ Fino = 76.527 \text{ Kg}$$

Posteriormente utilizando la expresión 2, se obtiene el volumen del agregado, para así poder reemplazar el resultado en la expresión 6.

$$V_{\text{agregado grueso}} = \frac{1530.54 \text{ Kg}}{2666 \text{ Kg/m}^3} = 0.5741 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{olumen Agregado Grueso}} = 0.5741 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{agregado fino}} = \frac{76.527 \text{ Kg}}{2562 \text{ Kg/m}^3} = 0.0299 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{olumen Agregado Fino}} = 0.0299 \text{ m}^3$$

Debido a la incorporación de agregado fino el porcentaje de vacíos oscilará a 22.5%

$$V_{\text{pasta}} = 1 \text{ m}^3 - (0.5741 + 0.0299 + 22.5\%) = 0.171 \text{ m}^3$$

Al obtener el volumen de pasta, se procede a reemplazarlo en la expresión 5, del cual ya se conoce la relación agua-cemento que será de 0.35

$$0.171 = \frac{C}{3150 \text{ Kg/m}^3} + \frac{(0.35) \times C}{1000 \text{ Kg/m}^3}$$

$$C = 256.195 \text{ Kg}$$

Y con la relación agua-cemento de 0.35, se obtiene la masa del agua la cual será de:

$$W = 0.35 \times 256.195 \text{ Kg} = 89.668 \text{ Kg} = 89.668 \text{ Lt}$$

Por lo tanto, se pasa a calcular y comprobar los volúmenes de todos los materiales, y se suman todos los volúmenes para obtener el volumen de mezcla y luego verificar si cumplen para la realización de 1 m³.

$$V_{\text{cemento}} = 0.0813 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{agua}} = 0.0897 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{agregado grueso}} = 0.5741 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{agregado fino}} = 0.0299 \text{ m}^3$$

- **Para un diseño de mezcla de concreto permeable con 10% agregado fino**

$$\text{Masa A.G.} = \text{Peso Unitario Seco Compactado} \times \frac{b}{b_0} \times (1 + \% \text{absorción})$$

$$\text{Masa Agregado grueso} = 1579 \times 0.93 \times (1 + 0.97\%) = 1482.71 \text{ Kg}$$

$$\text{Masa Agregado Grueso} = 1482.71 \text{ Kg}$$

$$\text{Masa Agregado Fino} = 10\% \times 1482.71 \text{ Kg}$$

$$\text{Masa Agregado Fino} = 148.271 \text{ Kg}$$

Posteriormente utilizando la expresión 2, se obtiene el volumen del agregado, para así poder reemplazar el resultado en la expresión 6.

$$V_{\text{agregado grueso}} = \frac{1482.71 \text{ Kg}}{2666 \text{ Kg/m}^3} = 0.5562 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Agregado Grueso} = 0.5562 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{agregado fino}} = \frac{148.271 \text{ Kg}}{2562 \text{ Kg/m}^3} = 0.0578 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Agregado Fino} = 0.0578 \text{ m}^3$$

Debido a la incorporación de agregado fino el porcentaje de vacíos oscilará a 20%

$$V_{\text{pasta}} = 1 \text{ m}^3 - (0.5562 + 0.0578 + 20\%) = 0.186 \text{ m}^3$$

Al obtener el volumen de pasta, se procede a reemplazarlo en la expresión 5, del cual ya se conoce la relación agua-cemento que será de 0.35

$$0.186 = \frac{C}{3150 \text{ Kg/m}^3} + \frac{(0.35) \times C}{1000 \text{ Kg/m}^3}$$

$$C = 278.668 \text{ Kg}$$

Y con la relación agua-cemento de 0.35, se obtiene la masa del agua la cual será de:

$$W = 0.35 \times 278.668 \text{ Kg} = 97.534 \text{ Kg} = 97.534 \text{ Lt}$$

Por lo tanto, se pasa a calcular y comprobar los volúmenes de todos los materiales, y se suman todos los volúmenes para obtener el volumen de mezcla y luego verificar si cumplen para la realización de 1 m³.

$$V_{\text{cemento}} = 0.0885 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{agua}} = 0.0975 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{agregado grueso}} = 0.5562 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{agregado fino}} = 0.0578 \text{ m}^3$$

- **Para un diseño de mezcla de concreto permeable con 15% agregado fino**

$$\text{Masa A. G.} = \text{Peso Unitario Seco Compactado} \times \frac{b}{b_0} \times (1 + \% \text{ absorcion})$$

$$\text{Masa Agregado grueso} = 1579 \times 0.895 \times (1 + 0.97\%) = 1426.913 \text{ Kg}$$

$$\text{Masa Agregado Grueso} = 1426.913 \text{ Kg}$$

$$\text{Masa Agregado Fino} = 15\% \times 1426.913 \text{ Kg}$$

$$\text{Masa Agregado Fino} = 214.037 \text{ Kg}$$

Posteriormente utilizando la expresión 2, se obtiene el volumen del agregado, para así poder reemplazar el resultado en la expresión 6.

$$V_{\text{agregado grueso}} = \frac{1426.916 \text{ Kg}}{2666 \text{ Kg/m}^3} = 0.5352 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Agregado Grueso} = 0.5352 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{agregado fino}} = \frac{214.037 \text{ Kg}}{2562 \text{ Kg/m}^3} = 0.0835 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Agregado Fino} = 0.0835 \text{ m}^3$$

Debido a la incorporación de agregado fino el porcentaje de vacíos oscilará a 17.5%

$$V_{\text{pasta}} = 1 \text{ m}^3 - (0.5352 + 0.0835 + 17.5\%) = 0.2063 \text{ m}^3$$

Al obtener el volumen de pasta, se procede a reemplazarlo en la expresión 5, del cual ya se conoce la relación agua-cemento que será de 0.35

$$0.2063 = \frac{C}{3150 \text{ Kg/m}^3} + \frac{(0.35) \times C}{1000 \text{ Kg/m}^3}$$

$$C = 309.082 \text{ Kg}$$

Y con la relación agua-cemento de 0.35, se obtiene la masa del agua la cual será de:

$$W = 0.35 \times 309.082 \text{ Kg} = 108.179 \text{ Kg} = 108.179 \text{ Lt}$$

Por lo tanto, se pasa a calcular y comprobar los volúmenes de todos los materiales, y se suman todos los volúmenes para obtener el volumen de mezcla y luego verificar si cumplen para la realización de 1 m³.

$$V_{\text{cemento}} = 0.0981 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{agua}} = 0.1082 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{agregado grueso}} = 0.5352 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{agregado fino}} = 0.0835 \text{ m}^3$$

4.5.9. Análisis de las propiedades mecánicas del concreto permeable

4.5.9.1. Resistencia a la compresión

El ensayo de resistencia a la compresión del concreto se realizó siguiendo las normativas establecidas por la ASTM C39/C39M y la NTP 339.034 en Perú. A continuación, se detallan los procedimientos llevados a cabo, las fórmulas utilizadas y la interpretación de los resultados obtenidos.

- **Procedimiento de Ensayo: Compresión Uniaxial**

- Normativa: ASTM C39/C39M.
- Equipo necesario: Máquina de compresión, probetas cilíndricas de 100 mm x 200 mm o 150 mm x 300 mm.

Pasos:

- Curar las probetas en condiciones controladas (23 ± 2 °C y 95% de

humedad relativa) durante el tiempo requerido (generalmente 28 días).

- Colocar la probeta en la máquina de compresión.
- Registrar la carga máxima y calcular la resistencia a la compresión mediante la fórmula

$$f_c = \frac{P}{A}$$

Donde:

f_c es la resistencia a la compresión (MPa)

P es la carga máxima (N) y

A es el área transversal de la probeta (mm^2).

Figura 10

Ensayo de resistencia a la compresión - probetas de concreto permeable



Nota: La figura muestra el ensayo a compresión según la norma ASTM C39

Tabla 5

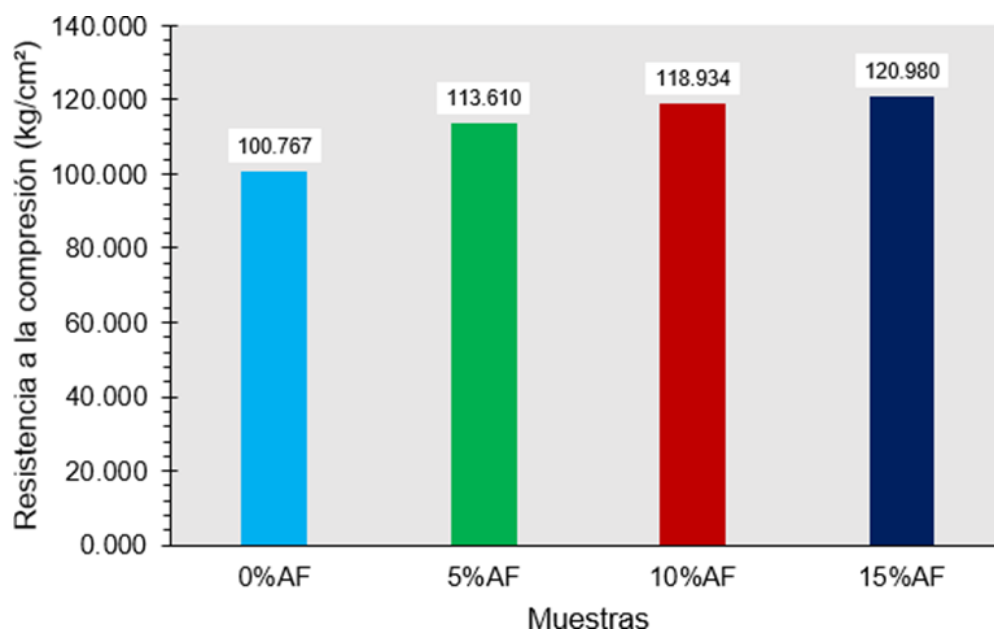
Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de las muestras de concreto a los 7 días de curado

Muestras	Resistencia a la compresión /	
	Ensayo (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
0%AF	101.900	100.767
	99.500	
	100.900	
5%AF	111.365	113.610
	113.614	
	115.852	
10%AF	118.958	118.934
	120.443	
	117.401	
15%AF	122.500	120.980
	119.042	
	121.399	

Nota: La tabla muestra los resultados de ensayos.

Figura 11

Variación de resistencia a compresión (Edad 7 días)



Nota: se aprecia la variación de resistencia según % de agregado fino para 7 días de Curado

A los 7 días de curado, la resistencia a la compresión del concreto mostró un incremento progresivo con el aumento del porcentaje de agregado fino (AF). Las muestras sin agregado fino (0% AF) alcanzaron una resistencia promedio de 100.767 kg/cm², mientras que aquellas con 5% AF lograron 113.610 kg/cm², lo que representa un aumento del 12.8% respecto al concreto sin adición. Con un 10% AF, la resistencia promedio fue de 118.934 kg/cm², evidenciando una mejora del 18%, y con un 15% AF, se obtuvo una resistencia de 120.980 kg/cm², marcando un incremento del 20% en comparación con el concreto sin agregado fino. Estos resultados sugieren que la incorporación de agregado fino hasta un 15% favorece la resistencia temprana del concreto, mejorando su desempeño estructural en etapas iniciales de curado.

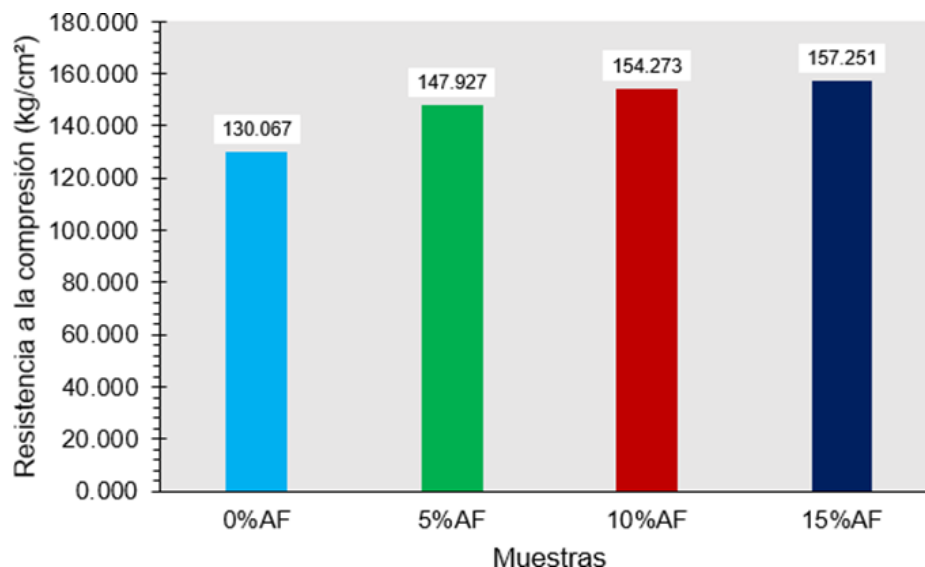
Tabla 6*Resistencia a la compresión de las muestras de concreto a los 14 días de curado*

Muestras	Resistencia a la compresión	Resistencia promedio
	(kg/cm²)	(kg/cm²)
0%AF	128.100	130.067
	132.100	
	130.000	
5%AF	146.255	147.927
	149.116	
	148.409	
10%AF	154.507	154.273
	156.827	
	151.485	
15%AF	154.507	157.251
	160.322	
	156.923	

Nota: La tabla muestra los resultados del ensayo a compresión.

Figura 12

Variación de resistencia a compresión (Edad 14 días)



Nota: se aprecia la variación de resistencia según % de agregado fino para 14 días de Curado

A los 14 días de curado, la resistencia a la compresión del concreto continuó incrementándose con la adición de agregado fino (AF). Las muestras sin agregado fino (0% AF) alcanzaron una resistencia promedio de 130.067 kg/cm², mientras que aquellas con 5% AF lograron 147.927 kg/cm², representando un aumento del 13.7% respecto al concreto sin adición. Con un 10% AF, la resistencia fue de 154.273 kg/cm², evidenciando una mejora del 18.6%, y con un 15% AF, se obtuvo 157.251 kg/cm², registrando un incremento del 20.9% en comparación con el concreto sin agregado fino. Estos valores reflejan una tendencia sostenida de mejora en la resistencia conforme avanza el curado y se incrementa el porcentaje de agregado fino, consolidando su efecto positivo en la resistencia estructural del concreto.

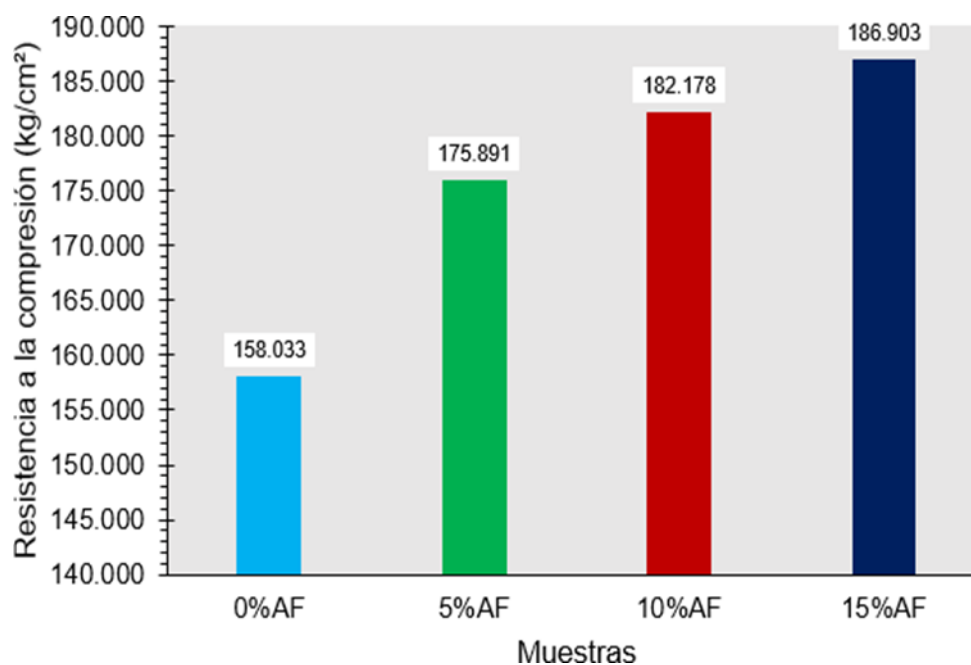
Tabla 7*Resistencia a la compresión de las muestras de concreto a los 28 días de curado*

Muestras	Resistencia a la compresión	Resistencia promedio
	(kg/cm²)	(kg/cm²)
	156.300	
0%AF	159.500	158.033
	158.300	
	176.733	
5%AF	171.460	175.891
	179.480	
	184.764	
10%AF	180.074	182.178
	181.695	
	186.601	
15%AF	189.680	186.903
	184.428	

Nota: La tabla muestra los datos de resistencia a compresión de los ensayos

Figura 13

Variación de la resistencia a compresión de las muestras a 28 días de curado



Nota: se aprecia la variación de resistencia según % de agregado fino para 28 días de Curado

A los 28 días de curado, la resistencia a la compresión del concreto mostró una mejora continua con el incremento del porcentaje de agregado fino (AF). Las muestras sin agregado fino (0% AF) alcanzaron una resistencia promedio de 158.033 kg/cm², mientras que aquellas con 5% AF lograron 175.891 kg/cm², reflejando un aumento del 11.3% respecto al concreto sin adición. Con un 10% AF, la resistencia fue de 182.178 kg/cm², representando una mejora del 15.2%, y con un 15% AF, se obtuvo 186.903 kg/cm², marcando un incremento del 18.2% en comparación con el concreto sin agregado fino. Estos resultados evidencian que la resistencia del concreto sigue aumentando con el tiempo de curado y con la inclusión de agregado fino, consolidando su efecto beneficioso en el desarrollo de la resistencia estructural.

4.5.10. Evaluación de la permeabilidad del concreto permeable

El ensayo de permeabilidad busca determinar la tasa de filtración que se tiene en el concreto poroso. Para realizar la prueba de permeabilidad se confeccionó una losa con dimensiones ya descritas anteriormente de 16" largo x 16" de ancho x 3" de altura, la cual fue probada para ver su capacidad de filtración.

La prueba de permeabilidad se realizó según los parámetros descritos en la Norma ASTM C1701. Consiste en verter agua en una losa de concreto poroso previamente fabricada y cronometrar el tiempo, de esta manera calcular la tasa de filtración. El lugar donde se vaya a realizar la prueba no debe tener ningún tipo de inclinación y debe estar limpio.

- Procedimiento de Ensayo: Permeabilidad Vertical
 - Normativa: ASTM C1701/C1701M.
 - Equipo necesario: Cilindro, sellador, cronómetro, recipiente graduado.

Pasos:

- Se debe colocar un anillo de filtración de 11.5" a 12" de diámetro, de esta manera controlar el espacio donde se va a verter.
- Sellar el cilindro metálico sobre la superficie del concreto endurecido para evitar fugas laterales.
- Verter una cantidad conocida de agua en el cilindro (por ejemplo, 4 litros).
- Medir el tiempo que tarda en infiltrarse completamente el agua.
- Calcular la tasa de infiltración utilizando la fórmula:

$$I = \frac{KM}{D^2 * T}$$

Donde:

I = Tasa de infiltración, mm/h (pulgadas/horas)

M = Masa de infiltración de agua, kg (lb)

D = Diámetro interior del anillo de infiltración, mm (pulg)

t = Tiempo requerido para que una cantidad medida de agua se infiltre en el concreto, (s)

K = $4,583,666,000 (mm^3 \times \text{seg}) / (\text{kg} / \text{hora})$ en el Sistema Internacional

o $126,870 (plg^3 \times \text{seg}) / (\text{lb} \times \text{hora})$ en el Sistema Pulgada-Libra.

- Resultados esperados: Los valores más comunes varían entre 18 gal/min/pies² (81 a 730 L/min/m²) según la Norma ACI 522R-06.

Figura 14

Anillo de infiltración para ensayo de permeabilidad



Nota: Ensayo de permeabilidad de losas de concreto permeable

Tabla 8*Tasa de Infiltración de las muestras de concreto*

Muestras	Permeabilidad (mm/h)	Permeabilidad (cm/s)	Permeabilidad promedio (cm/s)
	64422.57	1.79	
0%AF	65574.62	1.82	1.80
	63883.85	1.77	
	54373.26	1.51	
5%AF	53547.50	1.49	1.50
	54020.81	1.50	
	42206.87	1.17	
10%AF	41518.71	1.15	1.16
	41424.91	1.15	
	34450.70	0.96	
15%AF	35299.70	0.98	0.96
	34219.23	0.95	

Nota: La tabla muestra los resultados obtenidos a partir del ensayo de infiltración

4.5.11. Sistemas para el aprovechamiento de las aguas pluviales en el

Parque Kennedy

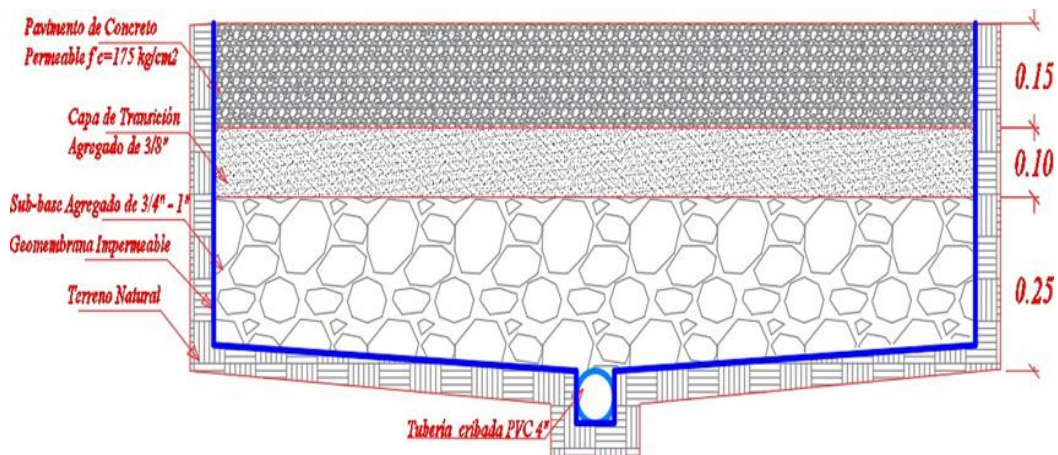
El crecimiento urbano ha generado un aumento en las superficies impermeables, lo cual ha afectado negativamente el ciclo natural del agua, incrementando el escurrimiento superficial, la contaminación de cuerpos de agua y la frecuencia de inundaciones urbanas. Frente a ello, la implementación de infraestructuras verdes como el pavimento permeable en parques urbanos como la del parque Kennedy, se presenta como una alternativa sostenible para la captación, infiltración y reutilización del agua de lluvia.

- **Objetivo General de la propuesta**

Proponer un sistema de aprovechamiento de aguas pluviales mediante el uso de pavimento permeable en el parque Kennedy, con el fin de reducir el escurrimiento superficial, fomentar la recarga de acuíferos y proporcionar una fuente alternativa de captación y almacenamiento de aguas pluviales.

Figura 15

Sección de pavimento permeable (Vista transversal)



Nota: El grafico muestra la estructura de la propuesta de pavimento permeable

- **Pavimento Permeable**

- Tipo sugerido: Pavimento permeable de espesor 15 cm, garantizando lo mínimo estipulado de 100mm según CE.010 PAVIMENTOS URBANOS, CAPITULO 4, NUMERAL 4: PAVIMENTOS ESPECIALES y juntas de entre 3.70 – 4.60 m según lo establecido en dicha norma.
- Función: Permitir la infiltración del agua pluvial hacia las capas inferiores del sistema.

- **Capa de Transición**

- Material: Grava y piedra triturada (Agregado de 3/8").
- Función: Previene la entrada directa de sedimentos a la tubería perforada,

evitando taponamientos y manteniendo la eficiencia del drenaje. Espesor recomendado de 5 – 10 cm.

- Capa de Base Granular
 - Material: Grava y piedra triturada (Agregado de 3/4" – 1 1/2").
 - Función: Almacenar temporalmente el agua infiltrada y facilitar su filtración hacia capas más profundas o hacia un sistema colector de tubería cribada.
- Sistema de Almacenamiento Subterráneo
 - Tanques cisterna de concreto. La cisterna propuesta es de concreto armado, tendrá una capacidad de 100m³ se agua almacenable.
 - Uso del agua almacenada: Riego de áreas verdes, limpieza de senderos, fuentes ornamentales, agua para construcción, etc.
- Sistema de Rebose o Excedente
 - Descripción: Conexión al sistema de drenaje pluvial urbano para evitar inundaciones en caso de lluvias intensas con tubería de 4".
- Propuesta de Diseño y Ubicación
 - Ubicación del sistema: Senderos peatonales, áreas de descanso, zona peatonal perimetral dentro del parque.
 - Zona de infiltración: Bajo el pavimento permeable.
 - Zona colectora: Bajo la estructura de subbase mediante tubería cribada y protegida con geomembrana impermeable
 - Zona de almacenamiento: Bajo áreas verdes, con sistemas de cisterna de concreto armado de capacidad de 100m³.

4.5.12. Estudios Complementarios

- **Estudio hidrológico del parque (precipitaciones, escorrentía estimada).**

En este caso se analiza la cuenca involucrada correspondiente a la microcuenca de Cachimayo. En ese marco, se constituye la Memoria de cálculo Hidráulica requerida, donde se analizan los aspectos hidrológicos e hidráulicos vinculados al diagnóstico de la situación actual y el planteo de medidas de solución este sector de la ciudad.

4.5.13. Diseño y cálculo hidrológico

El diseño hidrológico de un sistema con pavimento permeable tiene como objetivo gestionar las aguas pluviales de manera sostenible, permitiendo la infiltración, retención temporal y/o almacenamiento del agua dentro del sistema. Este tipo de infraestructura verde reduce el escurrimiento superficial, mejora la calidad del agua y alivia la presión sobre sistemas de alcantarillado pluvial.

La zona de investigación (parque Kennedy) se encuentra ubicada en la microcuenca de Cachimayo, por lo que el estudio y los cálculos se realizarán con información correspondiente a esta microcuenca.

4.5.14. Estudio Hidrológico: Análisis de las precipitaciones

El organismo oficial que se encarga de registrar aspectos hidrometeorológicos en el PERÚ es el SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú), el cual cuenta con estaciones distribuidas a lo largo del todo el territorio del Perú.

- **Registros Pluviométricos**

De la información obtenida del propio SENAMHI, en la zona de influencia de la ciudad de Cusco, existen cuatro estaciones, donde solamente una de las cuales se

encuentra sobre el río Huatanay y en la zona periférica de la ciudad de Cusco, misma estación es la más próxima al área de estudio, teniendo en cuenta esta consideración, se tomó en cuenta la información disponible de los registros de dicha estación meteorológica.

Tabla 9

Cuadro de estaciones meteorológicas del Cusco con información

Ubicación Política			Ubicación geográfica			Periodo (desde)
			Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (m.s.n.m.)	
Nombre	Provincia	Distrito				
Calca	Calca	Calca	13°20'	71°58'	2926	1964
Pisac	Calca	Pisac	13°24'	71°46'	2972	1964
Granja K'ayra	Cusco	San Jerónimo	13°34'	71°54'	3219	1931
CayCay	Paucartambo	CayCay	13°36'	71°42'	3100	1963

Nota: Fuente red SENAMHI

- **Registros pluviométricos de la estación Granja K'ayra**

Con el objeto de establecer las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) del proyecto y conformar las tormentas de diseño, se elaboraron las curvas IDF a partir de los datos pluviométricos registrados en la estación Granja K'ayra cuya ubicación, mostrada en figuras anteriores, resulta privilegiada para el estudio estadístico de las precipitaciones en el área de estudio.

Tabla 10*Precipitación máxima diaria - Registros históricos Estación Granja K'ayra*

Estación: K'ayra		Latitud: 13°33'24.29"											Dpto:	Cusco
Parámetro: Precipitación Máxima 24 hr (mm)		Longitud: 71°52'30.61"											Prov:	Cusco
		Altitud 3214 msnm											Dist:	San Jeronimo
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Pmax24	
1964	7.80	23.00	11.00	10.00	5.90	0.00	0.00	0.00	0.00	12.60	0.00	16.30	23.0	
1965	16.30	21.60	19.90	31.40	5.10	0.00	0.20	1.00	12.30	8.10	8.50	24.80	31.4	
1966	20.10	38.00	19.00	8.40	10.60	0.00	0.00	1.00	9.40	9.90	11.20	11.80	38.0	
1967	17.30	42.10	15.60	8.20	0.60	0.60	7.20	9.00	10.50	17.40	12.90	13.90	42.1	
1968	24.60	18.90	21.60	9.10	2.00	5.30	20.90	2.70	5.00	15.20	17.90	8.70	24.6	
1969	25.10	23.10	17.00	9.00	1.70	1.80	7.20	3.30	8.80	17.90	17.50	12.90	25.1	
1970	44.80	17.90	17.90	13.60	0.80	0.90	1.70	1.30	19.30	10.70	10.70	32.00	44.8	
1971	27.30	23.30	14.70	10.00	0.80	0.10	0.00	1.90	3.00	13.20	9.00	36.10	36.1	
1972	36.60	29.00	10.50	7.00	2.00	0.00	4.60	7.10	6.70	2.20	8.20	19.20	36.6	
1973	28.40	24.20	18.60	24.00	4.50	0.00	5.90	7.20	3.20	12.80	15.50	15.20	28.4	
1974	12.60	17.60	20.20	11.20	3.40	5.30	1.00	9.40	4.60	22.80	12.30	22.00	22.8	
1975	24.60	15.40	18.10	15.90	6.00	0.40	0.30	0.40	25.00	13.00	14.40	16.90	25.0	
1976	13.40	15.80	20.00	12.70	5.90	5.20	0.50	1.00	7.60	16.20	12.80	18.80	20.0	
1977	33.90	20.30	22.00	16.00	7.10	0.00	2.20	0.00	10.70	19.10	16.50	18.30	33.9	
1978	27.20	16.40	21.10	20.20	7.10	0.00	3.40	0.00	6.00	7.40	21.40	19.30	27.2	
1979	20.00	39.00	12.80	15.10	3.90	0.00	0.90	4.30	10.50	8.20	17.10	12.70	39.0	
1980	23.90	38.20	27.10	10.40	3.70	0.00	5.10	0.40	4.80	11.00	9.60	19.50	38.2	
1981	28.60	10.40	15.80	22.40	1.80	3.90	0.00	4.00	7.60	40.20	25.20	19.10	40.2	
1982	27.40	16.00	29.60	17.10	0.00	5.00	3.40	1.40	3.20	13.40	21.40	18.00	29.6	
1983	17.40	21.40	13.10	7.50	2.80	2.60	0.50	0.50	4.40	8.20	10.50	20.70	21.4	
1984	36.50	19.40	14.30	25.90	0.00	0.90	1.00	7.00	2.10	18.60	9.60	31.40	36.5	
1985	18.10	31.20	24.60	5.00	6.20	4.80	0.90	0.00	13.00	13.10	13.60	20.10	31.2	
1986	12.50	26.20	14.50	20.80	2.80	0.00	1.80	2.60	3.40	8.00	18.00	27.50	27.5	
1987	42.10	11.20	19.90	4.40	1.00	0.80	4.60	0.00	4.10	4.90	18.00	20.40	42.1	
1988	28.40	14.30	35.20	23.80	1.80	0.00	0.00	0.00	7.70	20.20	18.40	25.20	35.2	
1989	21.20	41.90	15.50	16.30	3.60	6.10	0.00	3.80	16.00	11.50	14.00	24.10	41.9	
1990	26.50	20.30	11.30	8.90	3.60	9.30	0.00	3.60	5.30	14.00	14.50	19.50	26.5	
1991	25.50	37.60	37.10	14.20	4.80	2.70	1.50	0.00	12.80	13.40	17.50	25.20	37.6	

1992	13.90	18.80	21.20	6.80	0.00	19.10	0.00	14.00	5.20	16.20	22.60	15.40	22.6
1993	48.50	17.40	24.20	2.90	0.90	0.00	1.50	5.30	6.90	14.60	15.60	44.10	48.5
1994	39.60	30.00	20.40	12.30	8.60	0.00	0.00	0.00	10.50	17.40	7.10	28.30	39.6
1995	23.20	18.50	14.30	6.80	0.00	0.00	0.40	1.20	19.80	8.30	34.60	20.70	34.6
1996	24.60	17.30	31.30	7.40	6.00	0.00	0.00	3.00	8.30	0.00	0.00	0.00	31.3
1997	20.10	18.20	24.90	9.50	4.10	0.00	0.00	3.50	5.10	12.90	47.00	30.00	47.0
1998	35.90	23.10	4.90	11.70	1.00	1.90	0.00	1.50	3.30	11.10	18.90	14.10	35.9
1999	12.70	14.90	17.00	13.60	1.30	3.20	1.00	0.00	10.90	7.20	19.30	16.40	19.3
2000	25.50	24.90	22.60	5.70	0.80	4.50	1.50	2.40	4.90	9.50	17.30	11.40	25.5
2001	15.60	31.00	21.40	10.60	4.30	0.00	9.90	3.60	5.40	15.90	23.10	11.60	31.0
2002	21.20	25.10	13.50	8.10	5.70	1.00	6.90	2.40	2.60	15.20	26.70	23.50	26.7
2003	24.60	24.00	18.00	39.10	1.00	6.40	0.00	10.80	1.70	10.20	7.00	23.40	39.1
2004	24.50	30.80	12.60	6.40	1.40	12.60	8.00	4.90	7.30	14.70	11.00	25.20	30.8
2005	23.00	0.00	27.80	23.20	2.00	0.40	1.20	2.20	2.10	13.60	11.70	17.20	27.8
2006	37.30	51.60	26.40	30.20	0.20	4.00	0.00	5.40	4.10	15.00	12.60	15.30	51.6
2007	26.70	13.70	19.70	32.90	3.40	0.00	3.00	0.00	1.00	14.90	18.90	16.90	32.9
2008	25.60	27.90	11.20	5.60	2.80	1.00	0.00	2.00	8.30	11.20	24.50	16.40	27.9
2009	27.80	17.80	23.60	5.90	2.50	0.00	1.80	0.40	7.60	2.20	24.10	11.90	27.8
2010	41.20	25.70	25.70	5.10	1.30	0.10	1.40	2.60	3.00	18.60	10.90	35.90	41.2
2011	22.60	22.00	25.00	15.60	1.70	3.20	3.00	0.00	9.60	18.90	29.80	14.60	29.8
2012	14.80	39.50	8.10	28.40	3.40	1.20	0.00	0.10	10.30	9.20	30.70	24.30	39.5
2013	23.20	21.10	18.70	4.50	3.20	3.00	1.00	6.20	2.70	17.90	13.70	27.20	27.2
2014	31.10	21.90	8.80	16.90	4.40	0.00	1.40	3.00	7.00	23.20	15.80	35.50	35.5
2015	38.30	23.60	9.70	12.50	8.00	2.30	5.50	3.00	6.20	6.30	17.50	25.20	38.3
2016	18.10	31.20	24.60	5.00	6.20	4.80	0.90	0.00	13.00	13.10	13.60	20.10	31.2
2017	24.60	21.80	24.90	9.80	5.90	0.50	0.00	7.00	12.70	7.10	14.10	12.90	24.9
2018	20.10	27.70	33.90	12.50	0.20	11.60	6.70	3.30	4.50	20.00	13.60	23.00	33.9
2019	22.20	17.50	34.00	14.80	10.90	0.80	1.80	0.00	3.80	34.30	25.60	17.80	34.3
2020	26.70	20.20	24.40	7.70	4.40	1.70	8.20	1.00	9.00	10.00	17.00	22.60	26.7
2021	28.80	20.70	18.00	30.40	2.60	10.70	3.00	4.20	0.90	13.10	25.30	20.00	30.4
2022	33.50	19.90	16.80	4.60	1.00	0.50	0.00	1.60	6.30	1.00	15.40	10.70	33.5
2023	27.60	18.50	21.30	13.60	32.40	0.00	0.00	4.50	4.40	14.20	14.90	22.40	32.4
2024	19.70	17.60	29.00	20.10	12.20	0.10	0.50	0.80	12.80	6.00	29.00	23.20	29.0

Nota: Fuente SENAMHI

Tal como se observa, los registros presentan un total de 61 años con datos anuales de 1964-2024. A partir de las precipitaciones máximas diarias es necesario determinar la siguiente

información de datos dudosos, los cuales nos permitirán obtener resultados más cercanos a la realidad.

Tabla 11

Evaluación de Parámetros

Parámetros Estadísticos	P24hr	Log(P24hr)
Número de datos (N)	61.00	61.000
Sumatoria	1993.60	91.737
Valor Máximo	51.60	1.713
Valor Mínimo	19.30	1.286
Media:	32.68	1.504
Varianza:	51.81	0.009
Desviación Estándar:	7.20	0.096
Coeficiente Variación:	0.22	0.064
Coeficiente de Sesgo:	0.38	-0.1193

Nota: Fuente data base SENAMHI

Se considera: Aplicar pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos

$$n = 61.00$$

$$K_n = 2.843$$

Valor recomendado, varía según el valor de n
 Kn:
 (significancia:10%)

Umbral de datos dudosos altos (xH: unidad. Logarítmicas)

$$x_H = \bar{x} + k_n \cdot s$$

$$x_H = 1.78$$

Precipitación máxima aceptaba

PH= 10^{xH}

PH= 59.98 mm

No existen datos dudosos alto de la muestra

Umbral de datos dudosos bajos (xL: unidad. Logarítmicas)

$$x_L = \bar{x} - k_n \cdot s$$

xL= 1.23

Precipitación mínima aceptaba

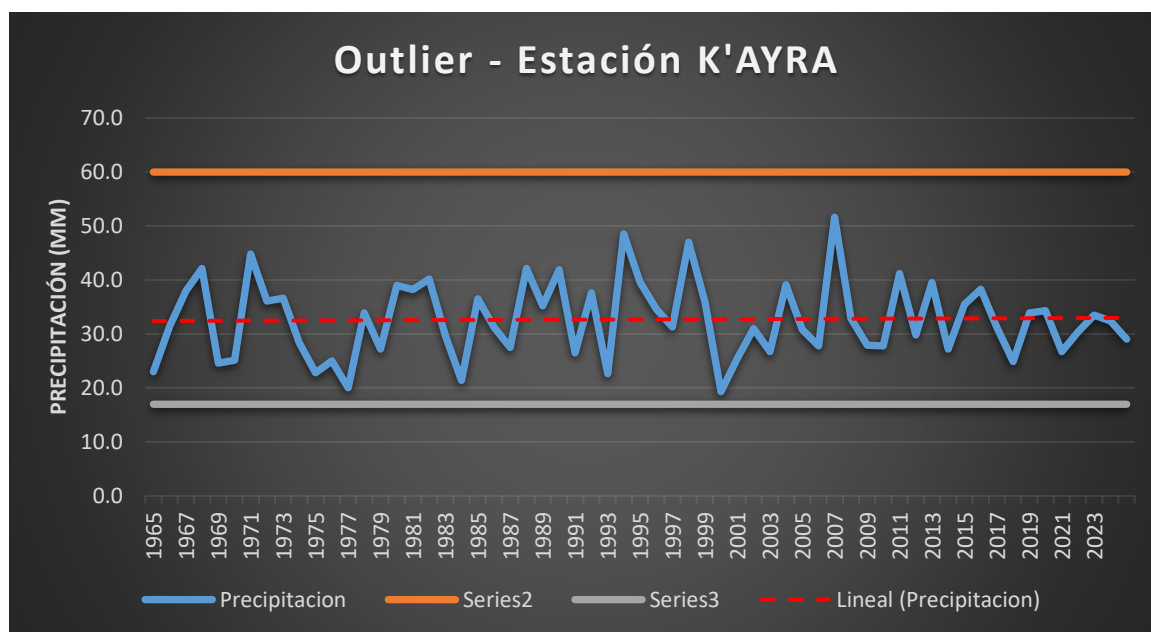
PH= 10^{xH}

PL= 16.97 mm

No existen datos dudosos mínimo de la muestra

Figura 16

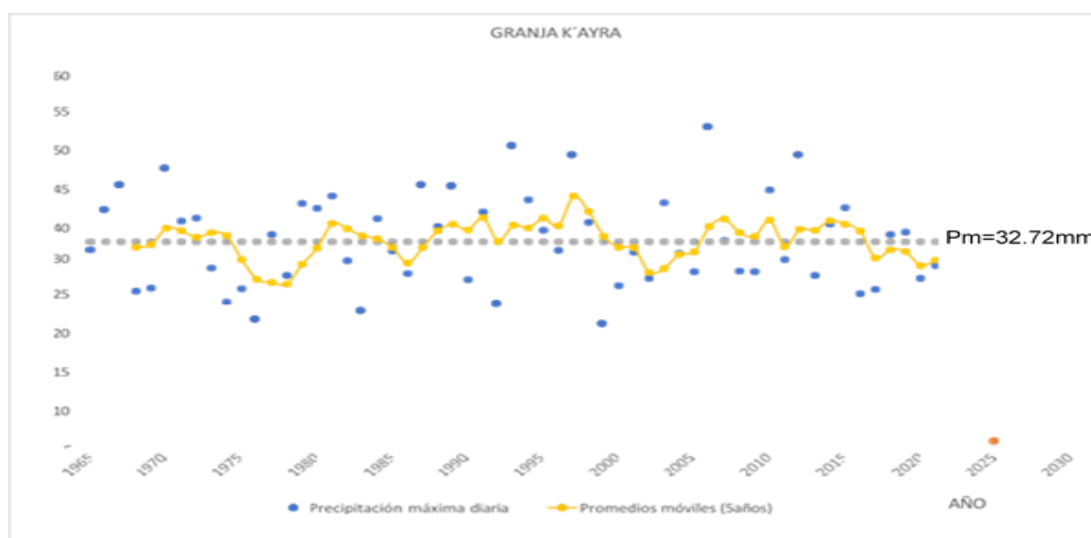
Precipitación máxima diaria - Registros históricos Estación Granja K'ayra



Nota: Fuente data base SENAMHI

Figura 17

Registros históricos de precipitaciones Estación K'ayra Periodo 1964 - 2024



Nota: Precipitaciones máximas diarias de 1964 a 2024 (Fuente SENAMHI)

Los promedios de ambos períodos de medición señalados no han sufrido variaciones significativas, con valores de 32.72 mm en el período de medición, entre 1964 y 2021.

- **Análisis de frecuencia**

El objetivo consiste en obtener los valores de precipitación acumulada diaria asociados a los períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 40, 50 y 100 años.

Las funciones de distribución de probabilidad y los métodos de ajuste de parámetros utilizados en este trabajo se encuentran descritos en el “Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje”, vigente al 2025, elaborado por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones, entre otros métodos utilizados comúnmente, Obtenidas a partir del Software HIDROESTA 2:

- Distribución Normal
- Distribución Log Normal 2 Parámetros
- Distribución Log Normal 3 Parámetros

- Distribución Gamma 2 Parámetros
- Distribución Gamma 3 Parámetros
- Distribución Log Pearson Tipo III
- Distribución EV1. Gumbel – Momentos lineales
- Distribución Log Gumbel

Tabla 12

Resultados de las funciones de distribución por probabilidad

TR (años)	NORM (mm)	LNOR M (mm)	LNORM 3 (mm)	GAMMA A (mm)	GAMMA 3 (mm)	LPE3 (mm)	GUM.ML E (mm)	LGUMB EL (mm)
2	32.54	31.91	32.37	31.86	32.37	32.37	31.41	31.16
5	39.15	38.46	39.21	39.10	39.28	39.40	39.97	38.54
10	42.61	42.41	42.89	43.28	42.93	43.05	45.64	43.43
15	44.33	44.53	44.75	45.48	44.75	44.84	48.83	46.18
20	45.46	45.97	45.98	46.95	45.95	45.99	51.07	48.11
25	46.29	47.07	46.89	48.05	46.83	46.84	52.80	49.60
40	46.79	49.31	49.27	48.06	48.03	48.58	50.07	53.56
50	48.68	50.34	49.51	51.31	49.35	49.20	58.11	54.18
100	50.82	53.48	51.90	54.35	51.62	51.26	63.38	58.72

Nota: Distribución por probabilidad mediante Software HIDROESTA 2.

- **Prueba Kolmogorov-Smirnov (KS)**

Prueba de bondad de ajuste para cada una de las formulaciones indicadas en el numeral anterior, a fin de elegir la distribución más representativa, según se indica en el “Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje”, vigente al 2025, elaborado por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Tabla 13*Resultados de la Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov*

Nº	Distribución	Estadístico de Kolmogorov-Smirnov (D)	¿SE ACEPTA AJUSTE?
1	NORM	0.07300392	TRUE
2	LNORM	0.03274794	TRUE
3	LNORM3	0.06485328	TRUE
4	GAMMA	0.04759652	TRUE
5	GAMMA3	0.06238911	TRUE
6	LPE3	0.05972245	TRUE
7	GUM.LMOMENTS	0.04369703	TRUE
8	LGUMBEL	0.1213669	TRUE

Nota: La tabla muestra los resultados obtenidos a partir del Software HIDROESTA 2

En esta investigación se adoptan los valores obtenidos a partir del ajuste mediante Log Normal, teniendo en cuenta que se obtienen los valores más conservadores (D mínimo) entre las demás distribuciones analizadas.

- **Curva IDF**

La estación meteorológica Granja K'ayra únicamente posee datos de pluviometría diaria. Es por ello por lo que es necesario recurrir a formulaciones empíricas para la obtención de precipitaciones asociadas a duraciones menores a 24 horas.

En primer lugar, en la siguiente Tabla se corrigieron los cuantiles de precipitación máxima diaria, obtenidas por la distribución Log Normal, para obtener los valores de precipitación correspondiente a una ventana móvil de 24 hrs, multiplicando los primeros

por un factor de 1.03 según lo recomendado la OMM (Organización Meteorológica Mundial) que corresponde a 3 observaciones, para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 40, 50 y 100 años.

Tabla 14

Precipitaciones máximas en 24 horas (mm)

TR	Precipitación máxima diaria	Precipitación máxima 24h
[años]	[mm]	[mm]
Tr=2	31.91	32.8673
Tr=5	38.46	39.6138
Tr=10	42.41	43.6823
Tr=15	44.53	45.8659
Tr=20	45.97	47.3491
Tr=25	47.07	48.4821
Tr=40	49.31	50.7893
Tr=50	50.34	51.8502
Tr=100	53.48	55.0844

Nota: Precipitaciones Máximas corregidas mediante factor

Para obtener las precipitaciones correspondientes a duraciones menores, se consideraron distintas metodologías presentadas a continuación.

- **Método de Dick-Peschke (Guevara, 1991)**

Método propuesto según el manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. En las siguientes tablas se presentan las precipitaciones e intensidades medias obtenidas para distintas recurrencias y duraciones.

Tabla 15

Precipitaciones (mm) asociadas a distintas recurrencias y duraciones por el Método de Dick-Peschke

TR [años]	Precipitación máxima 24h	Duración [min]					
	[mm]	5	10	15	20	30	60
Tr=2	35.6	8.64	10.28	11.37	12.22	13.53	16.08
Tr=5	44.3	10.75	12.79	14.15	15.21	16.83	20.01
Tr=10	49.6	12.04	14.32	15.85	17.03	18.84	22.41
Tr=20	54.5	13.23	15.73	17.41	18.71	20.71	24.62
Tr=25	55.9	13.57	16.14	17.86	19.19	21.24	25.26
Tr=50	60.6	14.71	17.49	19.36	20.80	23.02	27.38
Tr=100	65.0	15.78	18.76	20.77	22.31	24.69	29.37

Nota: Precipitaciones de distintas recurrencias a partir de Pmax 24h

Tabla 16

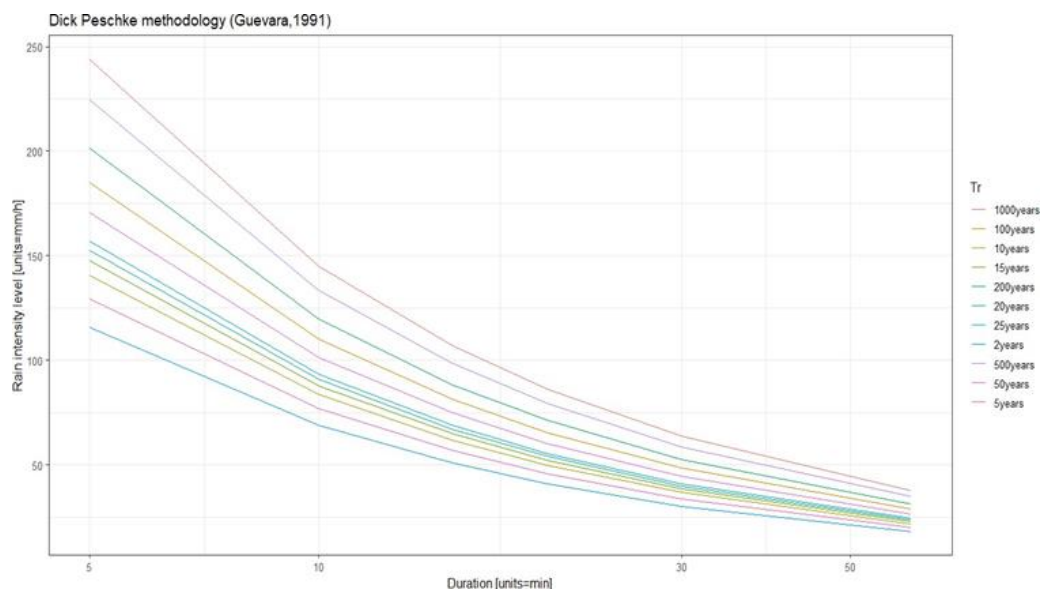
Intensidades (mm/h) asociadas a distintas recurrencias y duraciones por el Método de Dick-Peschke

TR [años]	Duración [min]					
	5	10	15	20	30	60
Tr=2	115.91	68.92	50.85	40.98	30.23	17.98
Tr=5	129.35	76.91	56.74	45.73	33.74	20.06
Tr=10	140.54	83.56	61.65	49.69	36.66	21.80
Tr=20	152.70	90.80	66.99	53.99	39.83	23.68
Tr=25	156.84	93.26	68.80	55.45	40.91	24.33
Tr=50	170.41	101.33	74.76	60.25	44.45	26.43
Tr=100	185.15	110.09	81.23	65.46	48.30	28.72

Nota: Intensidades para distintas recurrencias

Figura 18

Curvas IDF por el Método de Dick-Peschke Estación Granja K'ayra (1964 - 2024)



Nota: El grafico muestra la comparación del nivel de intensidad en mm/h para diferentes periodos acorde a duraciones en minutos.

- **Determinación del periodo de retorno de diseño**

La Norma Técnica CE.040 Drenaje Pluvial del Reglamento Nacional de Edificaciones (2021) menciona en el Artículo 11 Consideraciones del caudal de diseño que “el periodo de retorno se escoge según el tipo de obra o proyecto, así como la experiencia y criterio de quien diseña”. Para el presente proyecto se considera los siguientes periodos de retorno para el futuro cálculo de caudales de diseño:

Tabla 17

Criterio para determinar diseño y periodo de retorno según tipo de obra hidráulica

Criterio	Obra hidráulica	Periodo de retorno de diseño (años)
Infraestructura para drenar la escorrentía de precipitaciones de moderada frecuencia,	Obras menores	10
Infraestructura para drenar la escorrentía de precipitaciones de baja frecuencia	Obras mayores	25

Nota: Fuente Norma Técnica CE.040 Drenaje Pluvial.

A fin de estimar la variación en las precipitaciones, se empleó el coeficiente de duración lluvias de la fuente: “Manual para Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito”. Para estimar la operatividad y reacción del pavimento permeable frente a intensidades de lluvia dentro de 5 horas se aplicaría el coeficiente de 0.50 al incremento de la precipitación de 24h.

Tabla 18

Hietogramas para diferentes periodos de retorno evaluados en 5 horas de precipitaciones

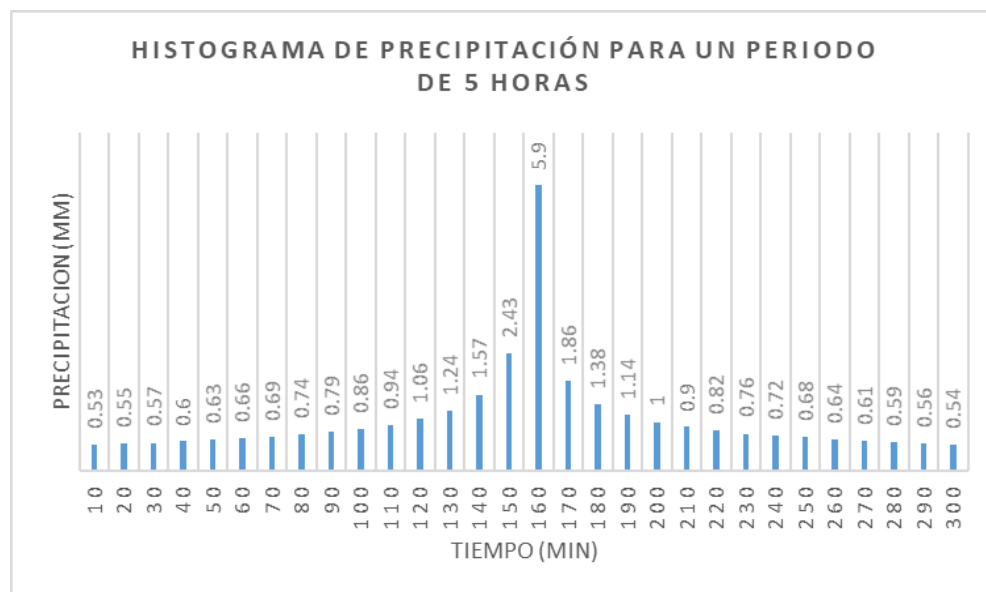
Duración		TR 2	TR 5	TR 10	TR 20	TR 25	TR 50	TR 100
[min]	[h]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
10	0.17	0.44	0.49	0.53	0.58	0.6	0.65	0.7
20	0.33	0.46	0.51	0.55	0.6	0.62	0.67	0.73
30	0.5	0.47	0.53	0.57	0.62	0.64	0.7	0.76
40	0.67	0.49	0.55	0.6	0.65	0.67	0.73	0.79
50	0.83	0.52	0.58	0.63	0.68	0.7	0.76	0.82
60	1	0.54	0.61	0.66	0.71	0.73	0.8	0.87
70	1.17	0.57	0.64	0.69	0.75	0.77	0.84	0.91
80	1.33	0.61	0.68	0.74	0.8	0.82	0.9	0.97
90	1.5	0.65	0.73	0.79	0.86	0.88	0.96	1.04
100	1.67	0.71	0.79	0.86	0.93	0.96	1.04	1.13
110	1.83	0.78	0.87	0.94	1.03	1.05	1.15	1.24
120	2	0.88	0.98	1.06	1.16	1.19	1.29	1.4
130	2.17	1.03	1.15	1.24	1.35	1.39	1.51	1.64
140	2.33	1.29	1.44	1.57	1.7	1.75	1.9	2.06
150	2.5	2	2.23	2.43	2.64	2.71	2.94	3.2
160	2.67	4.87	5.43	5.9	6.42	6.59	7.16	7.78
170	2.83	1.53	1.71	1.86	2.02	2.07	2.25	2.45
180	3	1.14	1.27	1.38	1.5	1.54	1.67	1.81
190	3.17	0.94	1.05	1.14	1.24	1.28	1.39	1.51

200	3.33	0.82	0.92	1	1.09	1.11	1.21	1.32
210	3.5	0.74	0.83	0.9	0.98	1	1.09	1.18
220	3.67	0.68	0.76	0.82	0.89	0.92	1	1.08
230	3.83	0.63	0.7	0.76	0.83	0.85	0.93	1.01
240	4	0.59	0.66	0.72	0.78	0.8	0.87	0.94
250	4.17	0.56	0.62	0.68	0.73	0.75	0.82	0.89
260	4.33	0.53	0.59	0.64	0.7	0.72	0.78	0.84
270	4.5	0.5	0.56	0.61	0.66	0.68	0.74	0.81
280	4.67	0.48	0.54	0.59	0.64	0.65	0.71	0.77
290	4.83	0.46	0.52	0.56	0.61	0.63	0.68	0.74
300	5	0.45	0.5	0.54	0.59	0.61	0.66	0.72

Nota: Hietogramas para distintas recurrencias dentro de un periodo de 5 horas

Figura 19

Histograma de Precipitaciones para $T_r=10$ años



Nota: La figura muestra la precipitación máxima dentro de 5 horas para un periodo de retorno de 10 años

Muestra que en una evaluación de precipitaciones dentro de un periodo de retorno de $T_r=10$ años, se observa que precipitación de mayor intensidad ocurre a los 160 minutos con un valor de 5.9mm, las cuales serán tomadas en consideración para efectos de diseño.

- **Caudales e Hidrogramas de aportes rurales**

En la Tabla 25 se puede ver la comparación de los caudales pico de las subcuencas, obtenidos a través de la modelación hidrológica, para los eventos de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años de recurrencia. Cabe destacar que estos hidrogramas corresponden a las condiciones climáticas establecidas en el punto correspondiente a las precipitaciones. Se adoptó como condición de diseño del proyecto por colocar al mismo del lado de la seguridad, siendo que los hidrogramas generados con su influencia son de mayor magnitud que aquellos que no la consideran.

Tabla 19

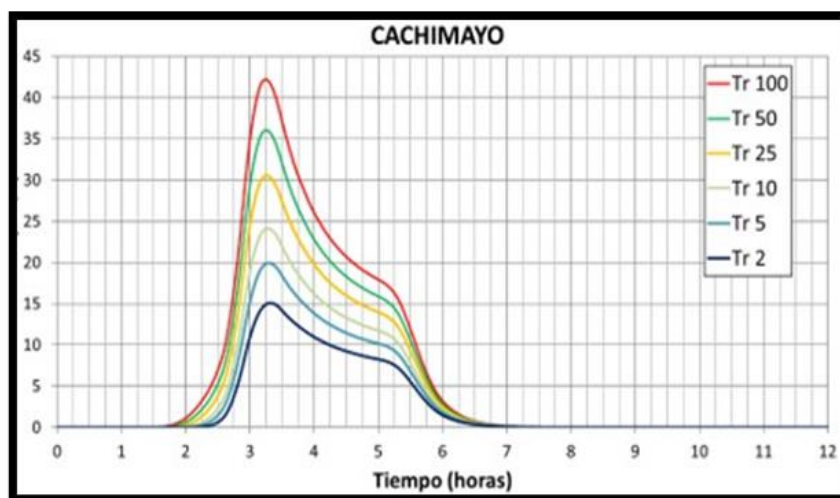
Caudal pico para distintas recurrencias

Subcuenca	Tr = 2 Años	Tr = 5 Años	Tr = 10 Años	Tr = 25 Años	Tr = 50 Años	Tr = 100 Años
	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
Cachimayo	0.012	0.015	0.020	0.024	0.031	0.036

Nota: Se muestran los caudales pico acorde a caudales pico determinados para distintas recurrencias.

Figura 20

Caudales pico de la cuenca Cachimayo para distintos periodos de recurrencia



Nota: Fuente SENAMHI

Estos hidrogramas fueron utilizados como condición de borde para cada modelo urbano que se desarrollará en el siguiente punto

4.5.15. Diseño y cálculo hidráulico

A partir del diagnóstico realizado en el punto anterior se procedió a analizar las posibles soluciones para resolver posibles inundaciones en el Parque Kennedy para su sistema de drenaje de colector de aguas pluviales y para ello se calculará el diámetro de tubería según los datos obtenidos de las lluvias en la cuenca.

- **Determinación del caudal de diseño**

Estimación práctica de coeficiente de escorrentía para el pavimento permeable. El coeficiente de escorrentía (C) representa la proporción del agua de lluvia que no se infiltra en el suelo y fluye superficialmente hacia el drenaje o cuerpos de agua. Es un valor adimensional entre 0 (infiltración total) y 1 (escorrentía total).

Cuando se tiene información de ensayos de permeabilidad, se puede estimar el coeficiente de escorrentía de forma indirecta, ya que la permeabilidad del suelo afecta directamente su capacidad de infiltrar agua. A mayor permeabilidad, menor escorrentía.

- **Estimación práctica (método indirecto)**

Una de las fórmulas empíricas más aceptadas para estimar el coeficiente de escorrentía (C) en función de la permeabilidad del suelo (K).

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), aprobada por la Resolución Ministerial N° 126-2021-Vivienda, no establece una fórmula matemática directa para estimar el coeficiente de escorrentía (C) a partir de la permeabilidad (K) del suelo. En su lugar, utiliza tablas clasificatorias según tipo de superficie, cobertura vegetal y pendiente. Cabe mencionar que ninguna de las tablas se adecua a las

condiciones del concreto permeable por lo que se empleara el cálculo por el método indirecto, estimada anteriormente según lo recomendado en la norma ACI 522R-10.

Tabla 20

Valores de permeabilidad y coeficiente de escorrentía para diferentes porcentajes de agregado fino en concreto permeable

%A.F.	K (mm/h)	K (cm/s)	C
0%	64627.01	1.80	0.00031
5%	53980.53	1.50	0.00037
10%	41716.83	1.16	0.00048
15%	34656.54	0.96	0.00058

Nota: Valores obtenidos en el ensayo de permeabilidad del concreto permeable

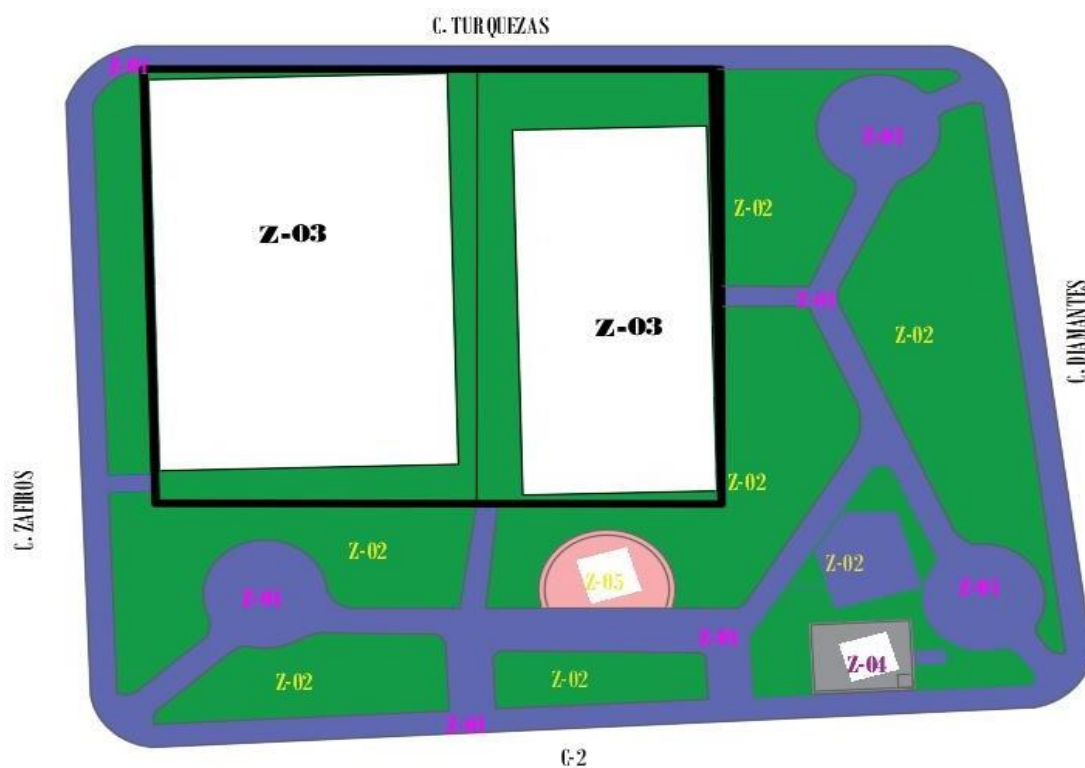
En referencia de la Tabla 14 Resistencia a la compresión de las muestras de concreto a los 28 días de curado y por principios de elaboración de pavimentos permeables “se caracteriza por la ausencia o presencia mínima de agregados finos” se opta tomar en consideración el diseño que contempla el 10% de agregado fino, siendo este diseño que satisface con la resistencia de solicitada. Por ende, para efectos de cálculos de esta investigación se tomará en cuenta los valores de infiltración y coeficiente de escorrentía para este caso indicados en la Tabla 24.

Las áreas determinadas por cada zona según lo indicado en la figura 29 son:

- Área de Captación - Concreto permeable: 791.71 m²
- Área Verde / pasto: 1314.70 m²
- Área de Recreación (pavimento rígido: 1266.07m²)
- Capacidad de cisterna: 100.00 m³

Figura 21

Zonificación del área de estudio parque Kennedy



Zonas:

- Z-01: Concreto Permeable
- Z-02: Área Verde
- Z-03: Área de Recreación
- Z-04: Cisterna de Almacenamiento
- Z-05: Capilla

4.5.16. Determinación de escorrentía total de diseño del parque Kennedy

4.5.16.1. Determinamos el coeficiente de escorrentía ponderado (C_{prom})

$$C_{prom} = \frac{\sum(C_i * A_i)}{A_{total}} = \frac{C_{pasto} * A_{pasto} + C_{pav.rig.} * A_{pav.rig.} + C_{pav.perm.10\%AF} * A_{pav.perm.}}{A_{total}}$$

Donde:

Ci: Coeficiente de escorrentía de cada superficie

Ai: Área de cada tipo de superficie (ha)

$$C_{prom} = \frac{0.37 * 0.13147 + 0.83 * 0.12661 + 0.00048 * 0.07917}{0.33725} = 0.45597$$

$$C_{prom} = 0.45597$$

Para los coeficientes de escorrentía se emplearon los datos mostrados en la Tabla 1.a Coeficientes de escorrentía para ser utilizados por el método racional de la norma técnica peruana CE.040 DRENAJE PLUVIAL, para periodo de retorno de 10 años.

4.5.16.2. Determinación de caudal de escorrentía total del parque

Kennedy

$$Q = 0.278xCxIxA \text{ (m}^3\text{/s)}$$

Donde:

Q: Caudal de escorrentía de diseño (m³/s)

C: Coeficiente de escorrentía (adimensional)

I: Intensidad máximas para Tr=10 años (mm/h) (tabla 25)

A: Área de Zona de estudio (Km²)

$$Q = 0.278x0.45597x21.80x0.0033725 = 0.009319 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

4.5.16.3. Determinación de diámetro de tubería para el diseño de pavimento permeable del parque Kennedy

Para determinar el diámetro de tubería realizaremos los cálculos acordes a precipitaciones máximas en recurrencias de periodo de retorno de 10 años mostrados en la tabla 31, así mismo se apoyará en las ecuaciones de Manning.

Datos:

Área de concreto permeable $A= 791.71 \text{ m}^2$

Precipitaciones máximas/tormenta para $T_r=10$ años (Tabla 25)

$P=21.80\text{mm}$ en 60min

$P_{cr}= 5.9\text{mm}$ con una duración de $t=10\text{min}=600\text{seg}=0.167\text{h}$

$I_{cr}=5.9\text{mm}/0.167\text{h}=35.329\text{mm/hr}$

Cálculos:

4.5.16.4. Determinación de escorrentía del pavimento permeable del parque Kennedy

$$Q = 0.278xCxIxA \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$Q = 0.278x0.00048x21.8x0.0007917 = 0.0000023 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

4.5.16.5. Determinación de caudal de infiltración para eventos de precipitación del pavimento permeable del parque Kennedy

$$Q = 0.278x(1 - C)xIxA \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$Q = 0.278x(1 - 0.00048)x21.80x0.0007917 = 0.004796 \text{ (m}^3\text{/s)} = 4.796\text{Lt/s}$$

4.5.16.6. Determinación de caudal critico de infiltración para eventos de precipitaciones máximas del pavimento permeable del parque Kennedy

$$Q = 0.278x(1 - C)xIxA \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$Q = \frac{P * A}{t} = \frac{0.0059 * 791.71}{600} = 0.007785\text{(m}^3\text{/s)}$$

$$Q = 7.785\text{Lt/s}$$

Tomándose en cuenta la capacidad de infiltración de la tabla 31, para un pavimento permeable con 10% de agregado fino que es de 41716.83 mm/h y las intensidades de precipitaciones máximas de un evento de tormenta para un periodo de retorno $T_r=10$ años es de hasta 35.329mm/h. Se observa que las precipitaciones dadas en tormentas pueden ser fácilmente infiltradas por el pavimento permeable

4.5.16.7. Determinación el volumen (V) de agua que cae sobre el pavimento permeable para precipitaciones con intensidades máximas para un periodo de retorno de $T_r=10$ años

$$I=35.329\text{mm/h en } 60\text{min} \ ; \ P=35.329\text{mm}$$

$$P=35.329\text{mm}=0.035329\text{m} \ \text{y} \ A=791.71\text{m}^2$$

$$V = P \times A = 0.035329\text{m} * 791.71\text{m}^2 = 27.97\text{m}^3$$

- **Evaluación de Subbase granular debajo del concreto**

Altura de Subbase $h= 0.25\text{m}$

Porosidad efectiva de grava $n= 30\%$

Área = 791.71 m^2

Volumen de Almacenamiento V

$$V = A * h * n = 791.71 * 0.25 * 0.3 = 59.38\text{m}^3$$

Según lo determinado el volumen de agua para máximas precipitaciones en 24 horas es de 27.97m^3 , y el volumen de almacenamiento en la Subbase granular debajo del concreto permeable es de 59.38m^3 , Se observa que durante este evento la Subbase tiene la capacidad de almacenar temporalmente todo el volumen de la precipitación, Asimismo el tiempo necesario para poder saturarse completamente en estas condiciones es de más 2 horas para alcanzar la saturación completa y, considerando este evento de precipitaciones a intensidades máximas por tiempo más prolongado, para verificar la operatividad de la tubería cribada realizamos a precipitaciones en estas mismas condiciones en tiempos más prolongadas.

Por consiguiente, evaluamos capacidad de tubería para evacuar directamente el agua captado por el pavimento permeable siendo esta las solicitudes máximas. Para ello aplicamos la fórmula de Manning.

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Donde:

$n = 0.010$: Coef. Rugocidad (0.009 – 0.011 para PVC)

$S = 0.015$ (pendiente de tubería)

$R = A/P$ Radio hidráulico

A : Área mojada (50% para tubería cribada)

P : Perímetro mojado

- **Probamos con Tubería de 4"**

Amojada = 0.00405 m² Pmojado = 0.15965 m; entonces R = 0.0254 m

$$Q = \frac{1}{0.010} * 0.00652 * (0.0306)^{2/3} * (0.015)^{1/2} = 0.004286 \text{ m}^3/\text{s} = 4.286 \text{ Lt/s}$$

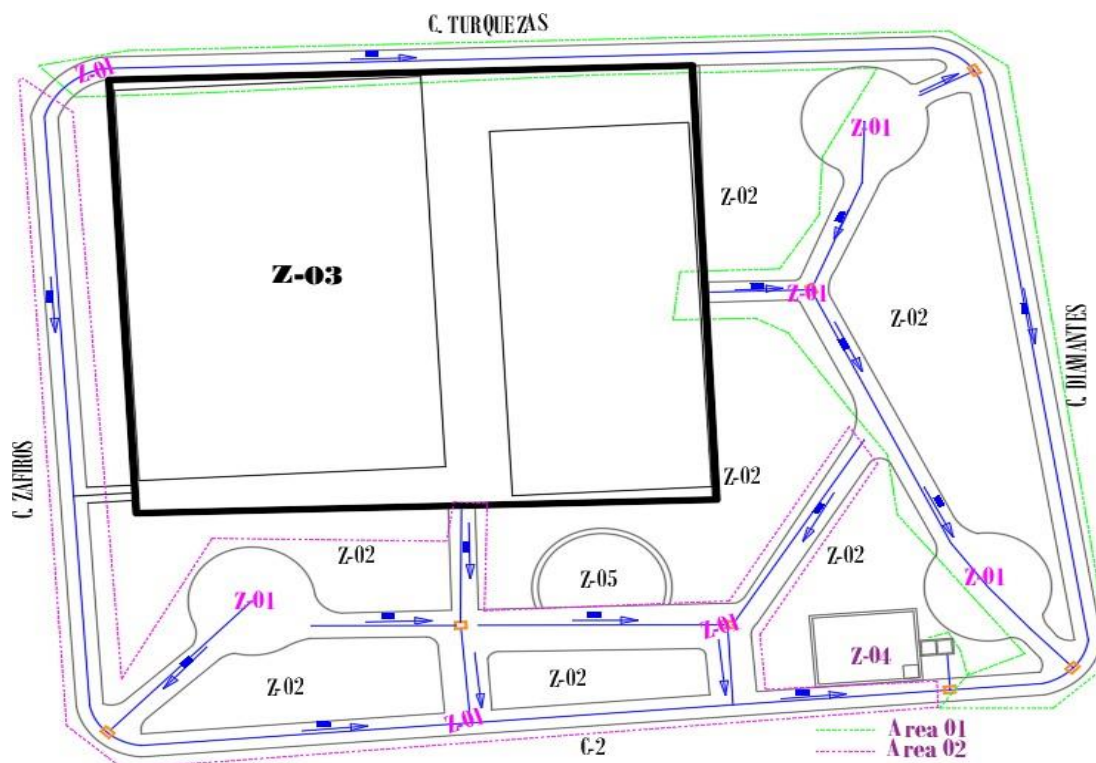
La solicitud de caudal para la tubería en precipitaciones máximas es de 7.785 Lt/s y la capacidad de evacuación de la tubería de 4" a un 50% de operatividad es de 4.286 Lt/s, por lo que se tendría un excedente 3.499 Lt/s, que representa el 44.94% del caudal total. Dando solución a este excedente y por criterios constructivos separar el Área total de captación en 2 sectores que cubran entre el 45% y 55% del área total, tal como se muestra en la Figura 30, representando el Area 01 el 48.90% y el Area 02 el 51.10% del Area Total, cumpliendo con lo requerido.

A partir del diagnóstico realizado se concluyó que el diámetro de diseño para la tubería es de 4" debido a que el área de captación se divide en dos ramales principales, siendo este una tubería muy comercial y utilizando criterios constructivos, con un tirante de agua del 50% al ser una tubería cribada por la parte de arriba para la colección del caudal pluvial del concreto peatonal permeable registrado en la propuesta de drenaje, con una pendiente mínima de 1.5% para evitar la sedimentación de material fino. Pon ende se garantiza la operatividad del sistema para tormentas de máximas

precipitaciones.

Figura 22

Vista general de área con red de evacuación y almacenamiento de agua



Nota: La figura muestra las áreas con aportes de concreto permeable para cada ramal

4.5.16.8. Estimación del volumen de captación potencial para eventos máximos de 24

Utilizando la fórmula básica de captación:

$$V = P \times A \times (1 - C)$$

Donde:

V = Volumen de agua recolectada (litros)

P = Precipitación máxima en 24H (mm) Tabla 21

A = Área de captación (m^2)

C = Coeficiente de escorrentía (adimensional, para pavimento permeable con

10%AF)

Se calcularon los volúmenes estimados de agua que se podrían recolectar en todas las zonas del parque (concreto permeable) para máximas precipitaciones.

$$V = 49.6 \times 791.71 \times (1 - 0.00048) = 39249.97 \text{ Lt/en 24 horas}$$

Capacidad de Cisterna 100000.00Lt, entonces tiempo de llenado a cisterna con precipitaciones máximas continuas.

$$t = \text{Cap. Cisterna} / \text{Vol. Captacion} = 100000 / 39249.97 = 2.5478 \text{Dias} = 61.15 \text{horas}$$

Tiempo de almacenamiento mínimo para ser evacuado o hacer uso de tubería de rebose caso de tormenta se considera 61 horas en caso de ocurrencia de tormentas máximas continuas, superada este tiempo con precipitaciones máximas prolongados por más de 61 horas y al no ser evacuado dentro de este periodo se hace uso de un rebose a canal pluvial urbano de tubería de PVC de 4", permitiendo la operatividad del mismo.

Una vez almacenada el agua se deja a disposición a la entidad municipal correspondiente, para hacer uso de la misma según vea conveniente.

Aporte del agua almacenada

- Educación del consumo de agua potable: El aprovechamiento de aguas pluviales almacenadas permite disminuir significativamente el uso de agua potable destinada al riego de áreas verdes, contribuyendo a una gestión más eficiente del recurso hídrico urbano.
- Optimización del recurso hídrico local: Las aguas pluviales constituyen una fuente alternativa disponible de manera natural, especialmente en temporadas de lluvia,

lo que favorece el uso de recursos hídricos locales y reduce la dependencia de fuentes externas.

- Disminución de costos operativos: El almacenamiento y uso de aguas pluviales reduce los costos asociados a la compra y transporte de agua, como el riego mediante camiones cisterna, generando ahorros económicos a mediano y largo plazo para las municipalidades.
- Mejora de la sostenibilidad urbana: El uso de aguas pluviales promueve prácticas de infraestructura verde y soluciones basadas en la naturaleza, fortaleciendo la sostenibilidad ambiental de los parques urbanos.
- Reducción de escorrentías superficiales: El almacenamiento de aguas pluviales disminuye los volúmenes de escorrentía, reduciendo riesgos de inundaciones, erosión del suelo y sobrecarga de los sistemas de drenaje urbano.
- Conservación de la humedad del suelo: El riego con aguas pluviales contribuye a mantener niveles adecuados de humedad en el suelo, favoreciendo el desarrollo de la vegetación y reduciendo el estrés hídrico de las áreas verdes.
- Mejora en la calidad del suelo: Las aguas pluviales, al presentar generalmente menor contenido de sales y cloro que el agua potable, contribuyen a preservar la estructura del suelo y favorecen la absorción de nutrientes por las plantas.
- Incremento de la resiliencia frente al cambio climático: El almacenamiento de aguas pluviales fortalece la capacidad de los parques para enfrentar periodos de sequía, variabilidad climática y eventos extremos, garantizando la continuidad del riego.
- Reducción de la huella de carbono: Al disminuir el uso de camiones cisterna y sistemas de bombeo intensivos, se reduce el consumo de combustible y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al riego tradicional.
- Aplicación educativa y replicable: El uso de sistemas de captación y

almacenamiento de aguas pluviales en parques sirve como modelo demostrativo de gestión sostenible del agua, replicable en otros espacios públicos y privados.

Viabilidad técnica y sostenibilidad

La viabilidad de esta propuesta se apoya en:

- La existencia de tecnologías maduras para concreto permeable (ASTM C1701, ACI 522R) y sistemas de riego inteligente.
- La disponibilidad de espacio en el parque Kennedy y otros para implementar subbases drenantes y cámaras de almacenamiento.
- La posibilidad de implementar un sistema modular y escalable.
- Además, esta solución se alinea con los principios de diseño urbano sostenible y puede contribuir a certificaciones ambientales si el parque forma parte de un desarrollo urbanístico más amplio.

4.6. Análisis de Datos

- **Agregado Grueso Cantera 3 de Mayo**

Para concreto permeable, la normativa y prácticas recomiendan agregados gruesos con granulometrías específicas, como el Huso 67 ($\frac{3}{4}$ " a $\frac{3}{8}$ ") o Huso 8 ($\frac{3}{8}$ ") para generar porosidad, y a menudo se evita el agregado fino para maximizar el drenaje, aunque algunos diseños lo incluyen en proporciones controladas para mejorar resistencia, siempre cumpliendo estándares como las normas ACI 522R-10 y ASTM para especificaciones de materiales y ensayos.

Gradaciones más uniformes y de tamaño máximo menor (como solo Huso 8) pueden reducir la permeabilidad, mientras que granulometrías más amplias (Huso 67) aumentan los vacíos y la permeabilidad.

Tabla 21

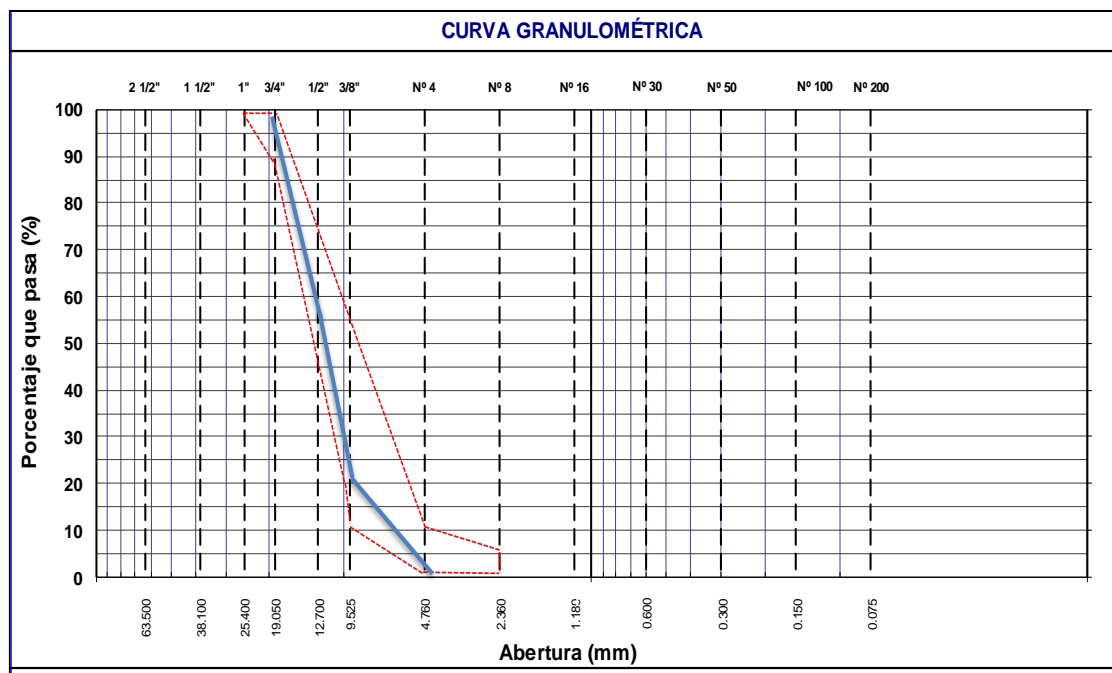
Granulometría del Agregado grueso – Cantera 3 de Mayo

TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q' PASA	HUSO AG-67
1 1/2"	38.100		0.0	0.0		
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0	100 - 100
3/4"	19.050	0.0	0.0	0.0	100.0	90 - 100
1/2"	12.700	864.5	42.8	42.8	57.2	
3/8"	9.525	741.0	36.7	79.5	20.5	20 - 55
# 4	4.760	413.2	20.5	100.0	0.0	0 - 10
# 8	2.360	0.0	0.0	100.0	0.0	0 - 5
< # 8	FONDO	0.0	0.0	100.0	0.0	

Nota: Granulometría HUSO AG-67 según ACI 522R-10 para concreto permeable

Figura 23

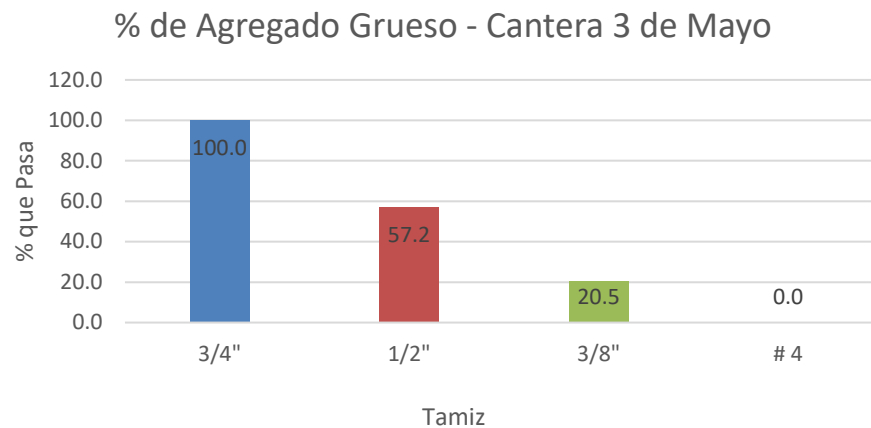
Curva granulométrica del Agregado Grueso – Cantera 3 de Mayo



Nota: Se grafica la curva granulométrica

Figura 24

Distribución granulométrica de agregado grueso cantera 3 de Mayo



De la Tabla 20 se observa que el 42.8% del material es retenido en el tamiz de 1/2", el 36,7% en el tamiz de 3/8", y, un 20.5% en el tamiz de #4, con un total del 100%. Estos resultados indican que el tamaño predominante de las partículas de la grava se encuentra en el rango de 3/4" a 3/8", Asimismo en la Figura 24, se aprecia una tendencia decreciente de manera proporcional. Esto es esencial para garantizar una adecuada permeabilidad en el concreto, ya que una distribución uniforme de los tamaños de partículas contribuye a la creación de una matriz con vacíos interconectados, permitiendo el flujo de agua a través del concreto permeable. Además, se compara con el rango del huso AG-67, confirmando que la granulometría está dentro de los límites aceptables para este tipo de mezcla.

- **Agregado Fino Cantera Zurite**

Su uso es debatido; a menudo se reduce o elimina para mayor permeabilidad, pero en investigaciones se ha incluido (ej. 10-20%) para balancear resistencia y permeabilidad.

Investigaciones sugieren que mezclas con más agregado grueso y menos fino (como Huso 67 y hasta un 20% de fino) logran mejor relación

resistencia/permeabilidad. En resumen, la normativa dicta calidad y desempeño, mientras que la práctica define la selección de agregados (tamaño, forma) para lograr el equilibrio deseado entre permeabilidad y resistencia, usando marcos como ACl 522R-10 y ASTM.

Tabla 22

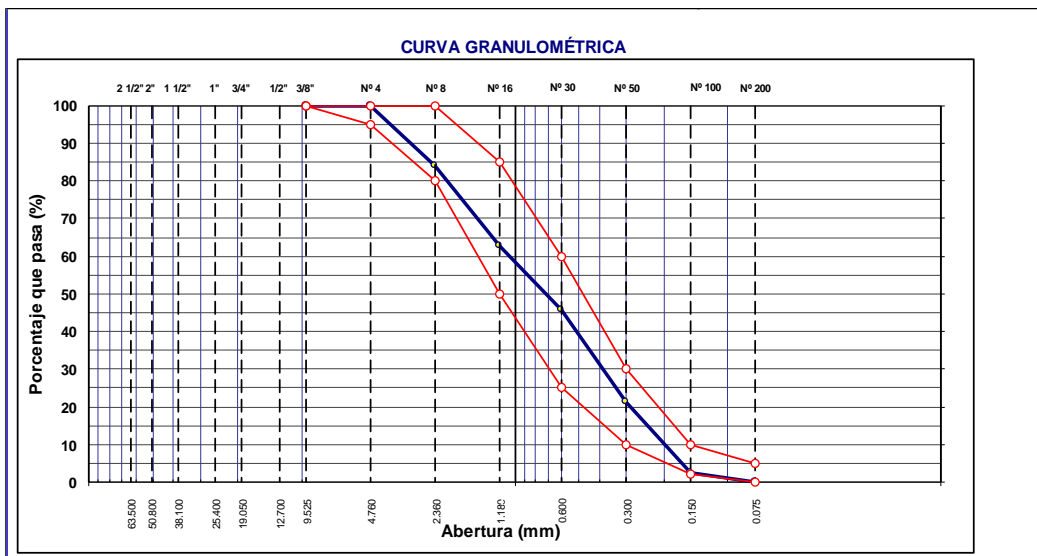
Granulometría del Agregado fino – Cantera Zurite

TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q' PASA	ESPECIFICACIÓN
3/4"	19.050					
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0	
3/8"	9.525		0.0	0.0	100.0	100
# 4	4.760	0.0	0.0	0.0	100.0	95 - 100
# 8	2.360	186.5	15.9	15.9	84.1	80 - 100
# 16	1.180	252.4	21.5	37.4	62.6	50 - 85
# 30	0.600	197.9	16.9	54.3	45.7	25 - 60
# 50	0.300	286.2	24.4	78.7	21.4	10 - 30
# 100	0.150	220.5	18.8	97.4	2.6	0 - 10
# 200	0.075	28.1	2.4	99.8	0.2	0 - 5
< # 200	FONDO	2.0	0.2	100.0	0.0	

Nota: Granulometría de Agregado fino según ASTM C33 / NTP 400.037

Figura 25

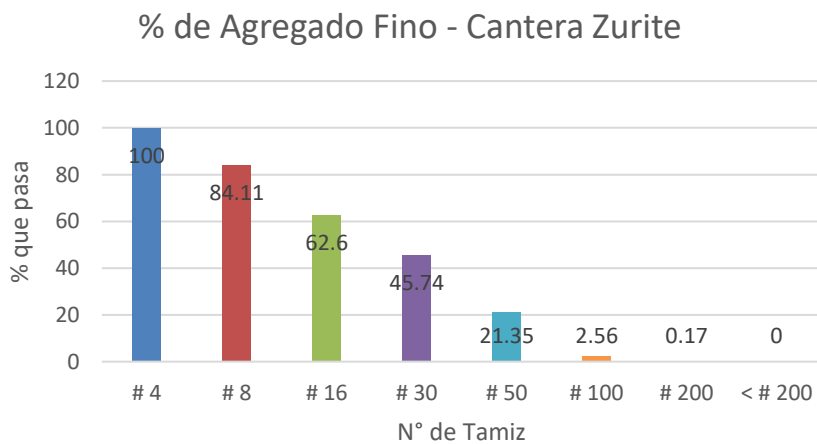
Curva granulométrica del agregado fino – Cantera Zurite



Nota: Curva granulométrica y límites de curva según ASTM C33

Figura 26

Distribución del agregado fino - cantera Zurite



De la tabla 21, Se observa que la mayor parte de la arena se retiene entre los tamices #8 y #100 teniendo una distribución bien gradada. El porcentaje acumulado de material que pasa por los tamices indica una distribución adecuada, con el 100% pasando por el tamiz #4, lo cual cumple con las especificaciones de un concreto permeable.

- **Pesos Unitarios del Agregado Grueso**

Tabla 23*Peso Unitario del Agregado Grueso – Cantera 3 de Mayo*

Suelto			
Ensayo n°	1	2	3
Peso de la grava + molde (gr.)	5581	5620	5610
Peso del molde (gr.)	1240	1240	1240
Peso de la grava suelta	4341	4380	4370
Volumen del molde	3019	3019	3019
Peso unitario suelto	1.438	1.451	1.447
Promedio ponderado (Kg / m ³)	1445		
Compactado			
Ensayo n°	1	2	3
Peso de la grava + molde (gr.)	5959	6080	5979
Peso del molde (gr.)	1240	1240	1240
Peso de la grava compactado	4719	4840	4739
Volumen del molde	3019	3019	3019
Peso unitario compactado	1.563	1.603	1.570
Promedio ponderado (Kg / m³)	1579		

De la Tabla 23, Se entiende que, en el estado suelto, se calculó el peso unitario promedio de la grava, obteniendo un valor ponderado de 1445 kg/m³. Este valor se obtuvo a partir del peso de la grava suelta en el molde, dividido entre el volumen del molde. Por otro lado, en el estado compactado, el promedio ponderado del peso unitario fue de 1579 kg/m³, resultado de la compactación de la grava en el mismo volumen. Estos datos son fundamentales para el diseño de mezclas de concreto permeable, ya que la densidad y la compactación del agregado influyen en la porosidad y resistencia del material.

- **Pesos Unitarios del Agregado Fino**

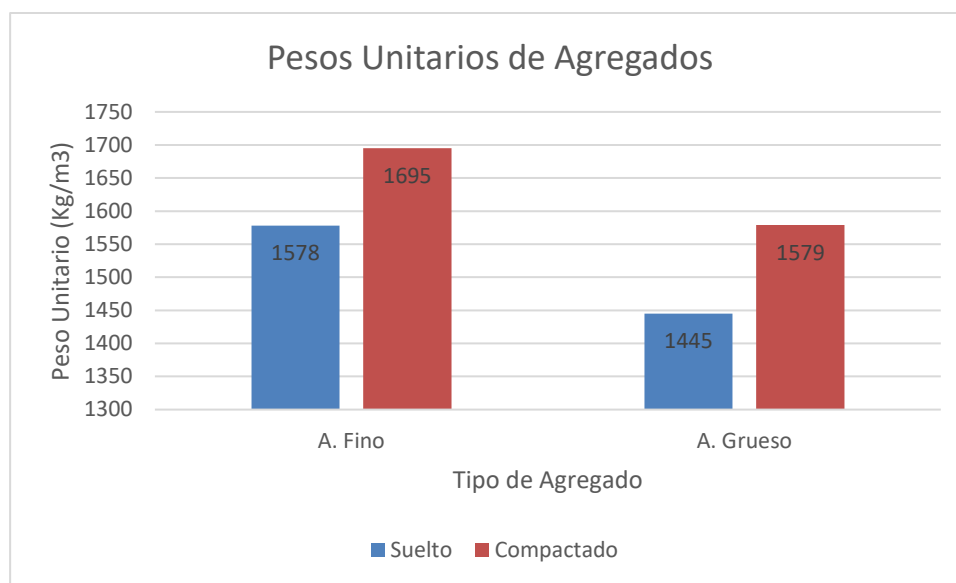
Tabla 24*Peso Unitario de la Agregado fino – Cantera Zurite*

Suelto			
Ensayo n°	1	2	3
Peso de la arena + molde (gr.)	6013	5989	6011
Peso del molde (gr.)	1240	1240	1240
Peso de la arena suelto	4773	4749	4771
Volumen del molde	3019	3019	3019
Peso unitario suelto	1.581	1.573	1.580
Promedio ponderado (Kg / m ³)	1578		
Compactado			
Ensayo n°	1	2	3
Peso de la arena + molde (gr.)	6344	6373	6355
Peso del molde (gr.)	1240	1240	1240
Peso de la arena compactado	5104	5133	5115
Volumen del molde	3019	3019	3019
Peso unitario compactado	1.691	1.700	1.694
Promedio ponderado (Kg / m ³)	1695		

De la Tabla 24, se entiende que, en el estado suelto, se obtuvo un promedio ponderado de peso unitario de 1578 kg/m³, mientras que en el estado compactado fue de 1695 kg/m³. Estos valores reflejan la densidad de la arena en distintas condiciones de manejo, lo que influye en la proporción de agregados en la mezcla de concreto. El control de la compactación es importante, ya que afecta la permeabilidad y la resistencia final del concreto permeable, asegurando un balance entre la capacidad de drenaje y la durabilidad estructural del material.

Figura 27

Comparación de pesos unitarios entre agregado fino y agregado grueso



En la figura 27, se observa una comparación entre los pesos unitarios del agregado grueso y agregado fino, donde notablemente se observa que el agregado fino tiene mayores pesos unitarios (suelto y compactado)

- **Peso Específico del Agregado Grueso**

Tabla 25

Peso Específico del Agregado grueso – Cantera 3 de Mayo

Agregado grueso				
Identificación				
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en Aire)	1191,0	1433,0	
B	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en Agua)	744,0	896,0	
C	Vol. de Masas + Vol. de Vacíos = A-B	447,0	537,0	
D	Peso Mat. Seco en estufa (105°)	1179	1420,0	Promedio
E	Vol. de Masa = C - (A-D)	435,0	524,0	
	Pe Bulk (Base seca) =D/C	2,638	2,644	2,641

Pe Bulk (Base Saturada) =A/C	2,664	2,669	2,666
Pe Aparente (Base seca) = D/E	2,710	2,710	2,710
% Absorción =((A-D) / D) x 100	1,02	0,92	0,97

- **Peso Específico del Agregado Fino**

Tabla 26

Peso Específico del Agregado Fino – Cantera Zurite

AGREGADO FINO				
IDENTIFICACIÓN				
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en Aire)	300,0	300,0	
B	Peso Frasco + H2O	745,3	745,3	
C	Peso Frasco + H2O + A	1045,30	1045,30	
D	peso Mat. + H2O en el Frasco	928,0	928,4	
E	Vol. Masa + Vol. Vacíos = C – D	117,30	116,90	
F	Peso del Mat. Seco en Estufa (105°)	296,3	296,2	Promedio
G	Vol. .de Masa = E - (A-F)	113,60	113,10	
	Pe Bulk (Base seca) = F/E	2,526	2,534	2,530
	Pe Bulk (Base Saturada) =A/E	2,558	2,566	2,562
	Pe Aparente (Base seca) = F/G	2,608	2,619	2,614
	% Absorción =((A-F) / F) x 100	1,25	1,28	1,27

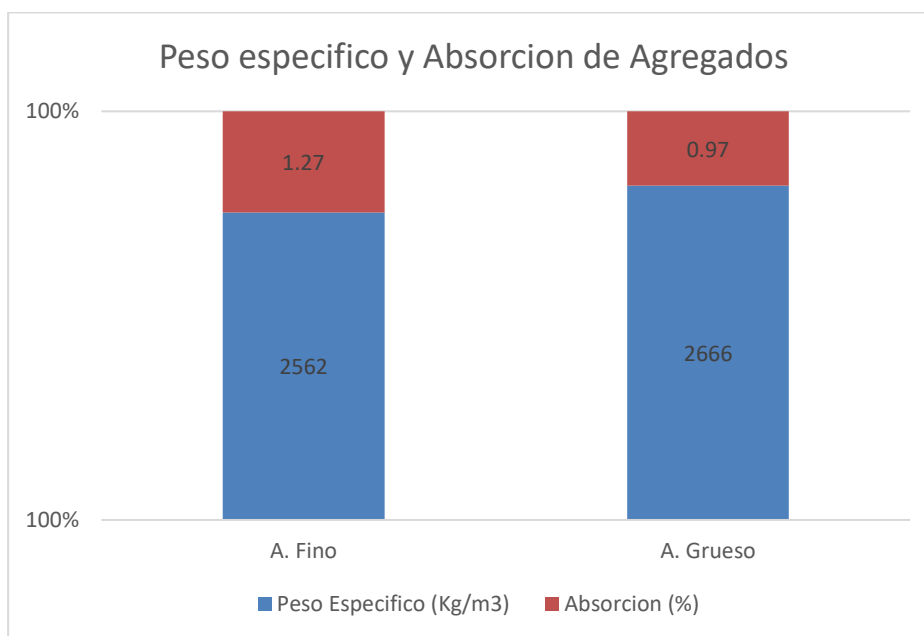
Nota: La tabla muestra los datos de Peso Específico.

Se entiende de la Tabla 26 que el peso específico en base seca (2.530) y en base saturada (2.562) mide la densidad del material incluyendo los vacíos presentes entre las partículas, mientras que el peso específico aparente (2.614) considera solo

las partículas sólidas sin vacíos. El porcentaje de absorción (1,27%) indica la cantidad de agua que el agregado fino puede absorber en estado saturado. Estos datos son esenciales para diseñar mezclas de concreto permeable, ya que la capacidad de absorción y densidad del agregado fino influyen en la dosificación del agua, la trabajabilidad y la resistencia del concreto, asegurando un balance adecuado entre permeabilidad y durabilidad en la mezcla de 175 kg/cm².

Figura 28

Peso específico y %Absorción de agregados



La figura 28, muestra los valores de pesos específicos entre el agregado fino y el agregado grueso, observándose que el mayor peso específico es el agregado grueso, mientras que el agregado con mayor capacidad de absorción es el agregado fino, siendo estas características determinantes en el diseño de mezclas.

- **Proporciones de diseño de Mezcla de concreto permeable**

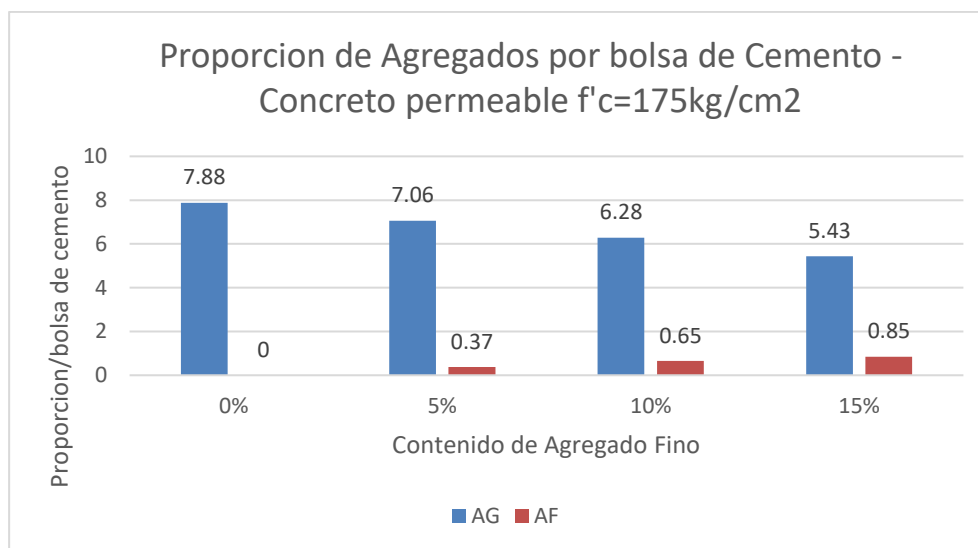
Tabla 27

Resumen de Dosificaciones de concreto permeable ACI 522R

Cont. A.F.	CEM	AG	AF	Agua (Lts)
0%	1.00	7.88	0.00	31.24
5%	1.00	7.06	0.37	31.22
10%	1.00	6.28	0.65	31.18
15%	1.00	5.43	0.85	31.09

Figura 29

Proporciones de agregados por bolsa de cemento

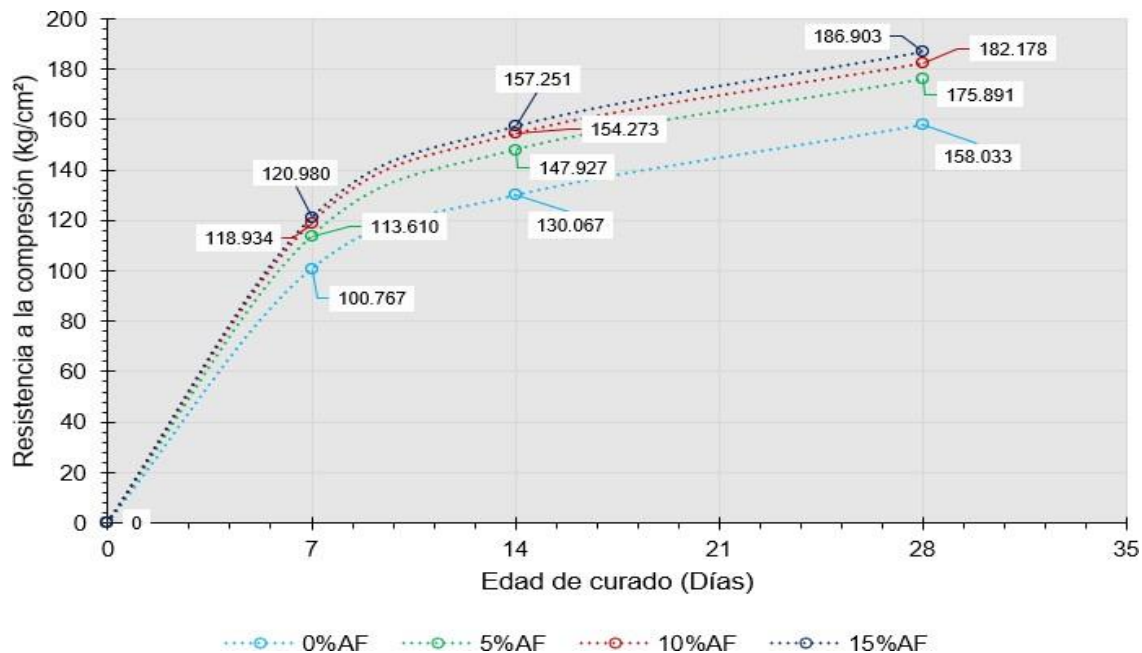


La figura 29, muestra la relación de proporciones referentes al diseño de mezclas, observándose una decreciente cantidad de agregado fino en referencia al aumento de contenido de agregado fino.

- Resistencia a la compresión de especímenes de concreto permeable

Figura 30

Curva de resistencia a la compresión de las muestras



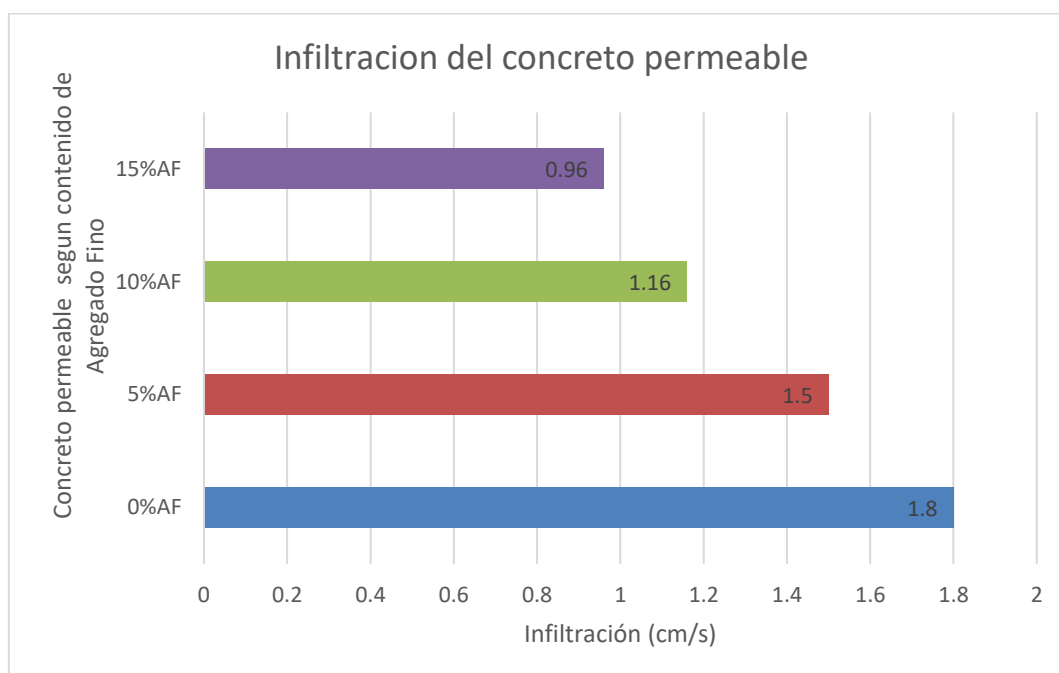
La gráfica muestra la evolución de la resistencia a la compresión del concreto en función del tiempo de curado para diferentes porcentajes de agregado fino (AF). Se observa una tendencia ascendente en todas las curvas, indicando que la resistencia del concreto mejora conforme avanza el curado. A los 7 días, la resistencia del concreto sin agregado fino (0% AF) es la más baja (100.767 kg/cm²), mientras que las mezclas con 5%, 10% y 15% AF presentan resistencias mayores (113.610 kg/cm², 118.934 kg/cm² y 120.980 kg/cm², respectivamente), evidenciando una mejora significativa con la adición de AF. A los 14 días, las diferencias se acentúan, con el concreto sin AF alcanzando 130.067 kg/cm², mientras que las mezclas con agregado fino presentan incrementos progresivos hasta 157.251 kg/cm² con 15% AF. A los 21 y 28 días, se consolida la tendencia de que, a mayor porcentaje de agregado fino, mayor resistencia, alcanzando en el último periodo valores de 158.033 kg/cm² (0% AF) hasta 186.903 kg/cm² (15% AF). En general, la curva sugiere que la inclusión de agregado fino mejora la resistencia del concreto en todas las edades de curado, con un impacto más

pronunciado en las primeras semanas. Sin embargo, las diferencias entre 10% y 15% AF se reducen a los 28 días, lo que sugiere un posible límite en la efectividad de la adición de agregado fino para mejorar la resistencia.

- **Ensayo de Permeabilidad del concreto permeable**

Figura 31

Relación de infiltración del concreto permeable



El análisis de la permeabilidad de las muestras de concreto revela que la incorporación de agregado fino (AF) reduce significativamente la tasa de infiltración del agua. En el caso del concreto sin agregado fino (0% AF), la permeabilidad promedio fue de 1.80 cm/s, la más alta registrada. Al aumentar el porcentaje de agregado fino al 5%, la permeabilidad disminuyó a 1.50 cm/s, representando una reducción del 16.67% respecto al concreto sin adición de agregado fino. Con un 10% AF, la permeabilidad se redujo aún más a 1.16 cm/s, evidenciando una disminución del 35.55%, mientras que con 15% AF, la tasa bajó a 0.96 cm/s, lo que representa una reducción del 46.67% en comparación con el concreto sin agregado fino.

4.7. Consideraciones éticas

Desde una perspectiva ética, este estudio se enfocó en salvaguardar los derechos de propiedad intelectual de los autores mencionados, asegurando una atribución adecuada mediante citas precisas y referencias bibliográficas. Para la obtención de datos, se obtuvo el consentimiento de los propietarios de las viviendas involucradas. En relación con la autenticidad de los datos recolectados y utilizados en la investigación, se garantizó su veracidad, llevándose a cabo un análisis detenido y apropiado

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

Para el desarrollo del diseño hidrológico e hidrometeorológico, se emplearon datos de precipitación de estaciones climáticas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú SENAMHI, de la estación meteorológica Granja K'ayra, elegidas por su cercanía geográfica y su representatividad climática en relación al área de estudio. Los datos de precipitaciones fueron previamente analizados utilizando pruebas de consistencia y homogeneidad para asegurar la fiabilidad de la información necesaria en el cálculo de intensidades y caudales de diseño.

De igual manera, si se detectan ausencias de datos en las series históricas de precipitaciones, estos se estimarán utilizando métodos estadísticos adecuados, como el de promedios normales o correlaciones con estaciones cercanas, asegurando la continuidad y coherencia de la información hidrológica utilizada. También se aplicarán factores de corrección cuando sea necesario, debidamente justificados según el tipo de estación y el periodo de registro considerado.

La evaluación de la intensidad de lluvia se llevará a cabo utilizando el método de Dyck–Peschke, teniendo en cuenta el periodo de retorno correspondiente a la naturaleza urbana del proyecto y el tiempo de concentración del área de estudio. La elección de este método se

basará en su aplicabilidad a entornos urbanos y en su uso generalizado en investigaciones hidrológicas, evitando el uso simultáneo de diferentes métodos sin un criterio técnico adecuado de comparación o calibración.

El coeficiente de escorrentía se determinará según el tipo de superficies, pendientes y características de la cobertura del Parque Kennedy, considerando valores sugeridos en manuales de drenaje urbano y normativas técnicas actuales. Este coeficiente será utilizado de manera consistente en el cálculo del flujo de escorrentía superficial, evitando discrepancias entre los parámetros usados y los resultados obtenidos.

El flujo de escorrentía se calculará utilizando el método racional, mientras que el flujo de infiltración se determinará a partir de las pruebas de permeabilidad del concreto permeable y las características del sistema de drenaje propuesto. Ambas tasas de flujo se compararán desde un enfoque hidráulico, lo que permitirá verificar la capacidad del concreto permeable para disminuir la escorrentía superficial y facilitar el aprovechamiento de las aguas pluviales. Esta relación asegurará la consistencia entre los valores calculados y la viabilidad técnica del sistema planteado.

5.2. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos indican que la resistencia a la compresión del concreto permeable mejora con la inclusión de agregado fino (AF), especialmente en las primeras semanas de curado, alcanzando su punto máximo a los 28 días con valores de hasta 186.903 kg/cm² para un 15% de AF. Esta tendencia coincide con los hallazgos de Kanashiro & Monzón (2019), quienes determinaron que la adición de entre un 11% y 16% de agregado fino optimiza la resistencia y la permeabilidad del concreto, lo que sugiere que existe un rango ideal para mejorar sus propiedades mecánicas sin comprometer su desempeño hidráulico. Asimismo, Soheli et al. (2023) resaltan la importancia de la selección y forma del agregado en la

resistencia del concreto permeable, observando que ciertos agregados de desecho pueden mejorar su desempeño. De manera similar, Jia et al. (2023) encontraron que la forma y tipo del agregado influyen significativamente en las propiedades mecánicas del concreto, indicando que agregados con altas tasas de elongación y aplanamiento pueden reducir su resistencia.

En este sentido, los resultados del presente estudio evidencian que, si bien el incremento del AF mejora la resistencia en todas las edades de curado, la diferencia entre un 10% y un 15% de AF se reduce a los 28 días, lo que podría sugerir un límite en la efectividad de su adición, similar a lo reportado en estudios previos, por lo que por criterios técnicos – constructivos y principios de pavimento permeable, el desarrollo de la propuesta de pavimento permeable se considera con el 10% de contenido de Agregado Fino, Garantizando la resistencia de diseño solicitada y maximizando la permeabilidad para esta misma resistencia.

Los resultados evidencian que la adición de agregado fino (AF) en el concreto permeable reduce significativamente la tasa de infiltración del agua, pasando de 1.80cm/s en la mezcla sin AF a 0.96cm/s con un 15% de AF, lo que representa una reducción del 46.67%. Este comportamiento concuerda con lo reportado por Pomalaza (2021), quien determinó que, a menor porcentaje de vacíos en el concreto, su permeabilidad disminuye, aunque mejora su resistencia mecánica. De manera similar, De Lima et al. (2019) encontraron que el concreto permeable redujo la escorrentía superficial en un 30% respecto al pavimento convencional, destacando su potencial en la gestión de aguas pluviales. Asimismo, Jia et al. (2023) señalaron que la forma del agregado influye en la permeabilidad, observando que materiales con altos índices de elongación y aplanamiento mejoran la infiltración de agua, pero pueden comprometer la resistencia. Cahya et al. (2021) también demostraron que la inclusión de agregado reciclado en concreto permeable favorece la infiltración respecto al agregado natural, lo que subraya la importancia del tipo y proporción del agregado en el diseño del material. En este sentido, los resultados obtenidos refuerzan la idea de que existe una relación

inversa entre la resistencia mecánica y la permeabilidad del concreto, indicando que el uso de agregado fino debe optimizarse para equilibrar ambas propiedades según la aplicación específica del material.

Los resultados obtenidos en el análisis hidrológico, el dimensionamiento del sistema y la evaluación técnica de los materiales utilizados confirman que la implementación de un sistema de captación pluvial mediante concreto permeable en el Parque Kennedy representa una estrategia viable, funcional y ambientalmente sostenible. Con base en la precipitación promedio registrada en el parque Kennedy, que oscilan (aproximadamente 700–800 mm/año), y considerando el área disponible con pavimento permeable de 791.71m², se estimó un volumen potencial de captación a 100 m³ en tormentas máximas continuas de hasta 61 horas. Este volumen no solo es significativo en términos de reducción de escorrentía superficial, sino que también puede ser aprovechado para actividades no potables, como el riego de zonas verdes, limpieza de veredas o hasta para construcción. Esto evidencia que el sistema puede funcionar de manera semiautónoma durante la temporada de lluvias, reduciendo la dependencia de fuentes externas de agua.

5.3. Contrastación de hipótesis

5.3.1. Hipótesis General

“El uso del concreto permeable mejora el aprovechamiento de aguas pluviales en el Parque Kennedy del distrito de Wanchaq – Cusco, 2024.”

5.3.2. Hipótesis Específica 1

Los resultados obtenidos confirman la hipótesis de que las características del concreto permeable, como el contenido de agregado fino de 0%, 5%, 10% y 15% en peso, influyen significativamente en su resistencia a la compresión. Se observó que el incremento del agregado fino (AF) mejora la resistencia del concreto en todas las edades de curado,

alcanzando su punto máximo a los 28 días con un valor de 186.903 kg/cm² para un 15% de AF, en comparación con los 158.033 kg/cm² obtenidos en la mezcla sin agregado fino. Sin embargo, la diferencia entre el 10% y el 15% de AF se reduce en la etapa final del curado, sugiriendo un límite en la efectividad del incremento del agregado fino. Estos resultados respaldan la idoneidad del concreto permeable optimizado para su aplicación en la gestión de aguas pluviales en el Parque Kennedy del Distrito de Wanchaq - Cusco en 2024, ya que permiten obtener una resistencia adecuada sin comprometer su función hidráulica.

5.3.3. Hipótesis Específica 2

Los datos obtenidos también permiten contrastar la segunda hipótesis, ya que se observa una correlación negativa entre el aumento de agregado fino y la permeabilidad del concreto. La permeabilidad promedio disminuyó de 1.80 cm/s en la mezcla sin AF a 0.96 cm/s con un 15% de AF, evidenciando una reducción del 46.67%. Esto indica que una mayor porosidad y una distribución adecuada de los poros favorecen la infiltración de agua, en línea con estudios previos. Sin embargo, los valores registrados también sugieren que existe un balance entre resistencia y permeabilidad que debe ser optimizado según la aplicación específica del material. En el contexto del Parque Kennedy del Distrito de Wanchaq - Cusco en 2024, estos resultados refuerzan la importancia de ajustar la composición del concreto permeable para maximizar su capacidad de infiltración y almacenamiento de aguas pluviales sin comprometer su integridad estructural por lo que se opta la aplicación del pavimento permeable con el 10% de Agregado fino, garantizando su resistencia de diseño y su permeabilidad máxima.

5.3.4. Hipótesis Específica 3

Los resultados obtenidos en el análisis hidrológico, el dimensionamiento del sistema y la evaluación técnica de los materiales utilizados confirman la validez de la

hipótesis propuesta. Con base en la precipitación promedio anual registrada en la zona del Parque Kennedy que oscila entre 600 y 800 mm y considerando un área de captación con pavimento permeable de 791,71 m², se estimó un volumen potencial de captación de aproximadamente 100 m³ durante una tormenta de lluvia de hasta 61 horas consecutivos con precipitaciones máximas.

Estos resultados respaldan empíricamente que el sistema propuesto reduce significativamente la dependencia de fuentes externas de agua, favorece la eficiencia hídrica y se adapta funcionalmente al régimen pluvial local, cumpliendo con los criterios de sostenibilidad ambiental y operatividad urbana.

VI. Conclusiones

Los resultados del estudio permiten concluir que la resistencia a la compresión del concreto permeable mejora con la adición de agregado fino (AF), alcanzando un valor máximo de 186.903 kg/cm² a los 28 días con un 15% de AF, en comparación con los 158.033 kg/cm² obtenidos en la mezcla sin agregado fino. Este incremento evidencia que la optimización de la composición del concreto, considerando la proporción de agregado fino, es un factor clave para mejorar su desempeño mecánico. Sin embargo, la diferencia de resistencia entre las mezclas con 10% y 15% de AF se reduce en las etapas finales del curado, lo que sugiere la existencia de un límite en la efectividad de esta adicción, asimismo en cumplimiento a la resistencia de diseño y los principios del pavimento permeable de nula o poca cantidad de contenido de agregado fino, se establece emplear el concreto permeable con 10% de agregado fino para fines de aplicación en el parque Kennedy del distrito de Wanchaq - Cusco.

Por otro lado, en cuanto a la permeabilidad, se verificó que el incremento del AF reduce la tasa de infiltración de agua, disminuyendo de 1.80 cm/s en el concreto sin AF a 0.96 cm/s con un 15% de AF, lo que representa una reducción del 0.84 cm/s. Estos resultados evidencian que la porosidad del material juega un papel fundamental en su capacidad de drenaje y que existe un balance entre resistencia y permeabilidad que debe ser optimizado según el uso previsto. Por principios de pavimento permeable se opta por un concreto permeable con 10% de agregado fino, maximizando así su capacidad de permeabilidad sin comprometer la resistencia de diseño. En este sentido, el diseño adecuado del concreto permeable permitirá su aplicación eficiente en la gestión de aguas pluviales, asegurando tanto su funcionalidad mecánica como hidráulica en proyectos como el Parque Kennedy del Distrito de Wanchaq - Cusco en 2024.

Se estableció un sistema de aprovechamiento de aguas pluviales para el parque Kennedy del distrito de Wanchaq – Cusco, Con un pavimento permeable que abarca

791.71m², que son acopiados por una tubería cribada de 4" con una eficiencia de sección al 50% de sección con criba en la parte superior de la tubería misma que conduce a un almacenamiento de cisterna de 100m³ de capacidad, permitiendo que puede ser aprovechado para actividades no potables, como el riego de zonas verdes, limpieza de veredas o hasta para construcción. Esto evidencia que el sistema puede funcionar de manera semiautónoma durante la temporada de lluvias, reduciendo la dependencia de fuentes externas de agua.

VII. Recomendaciones

Se recomienda utilizar una proporción óptima de agregado fino (AF) en el diseño del concreto permeable para equilibrar la resistencia a la compresión y la funcionalidad hidráulica. Considerando que la resistencia máxima alcanzada fue de 186.903 kg/cm² con un 15% de AF, pero con una diferencia marginal respecto al 10% de AF a los 28 días, se sugiere limitar la adición de AF en un rango entre el 10% y el 15% para evitar costos adicionales sin mejoras significativas en la resistencia.

Dado que la permeabilidad del concreto disminuyó en un 46.67% al incrementar el agregado fino al 15%, se recomienda evaluar la relación óptima entre resistencia y permeabilidad para garantizar un adecuado drenaje del agua en aplicaciones urbanas. Para el caso del Parque Kennedy del Distrito de Wanchaq - Cusco, se sugiere un diseño con un contenido de agregado fino no superior al 10%, permitiendo mantener un balance entre resistencia estructural y capacidad de infiltración para la gestión eficiente de aguas pluviales.

Dado que se verificó su capacidad de almacenamiento de más de 61 con precipitaciones máximas en 24 horas de manera prolongada, se sugiere evacuar el agua almacenada dentro de este periodo, así como contemplar un drenaje adicional para rebose de la misma a canales pluviales urbanos existentes. Permitiendo la operatividad de manera óptima del sistema de aprovechamiento planteado optimizado para su aplicación en la gestión de aguas pluviales en el Parque Kennedy del Distrito de Wanchaq - Cusco en 2024, ya que el diseño permite obtener un sistema adecuado sin comprometer su función hidráulica.

VIII. Referencias

- American Concrete Institute. (2020). Report on Pervious Concrete. *American Concrete Institute*. Obtenido de <https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=522R10>
- Bustillo, M. (2021). *Tecnología del concreto: propiedades, diseño y control de calidad*. Editorial Macro.
- Cahya, I., Sutanto, M., & Pranata, Y. (2021). Inclined porous concrete surface impact on infiltration using recycled concrete aggregate. *Construction and Building Materials*, 124. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124120>
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED). (2023). Mapas de peligros, vulnerabilidad y riesgo a nivel nacional – 2023. Obtenido de <https://www.cenepred.gob.pe/>
- Chow, V. (2023). *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill.
- Creswell, J. (2020). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Obtenido de <https://us.sagepub.com/en-us/nam/research-design/book255675>
- Giuliani, F., Mazza, A., & Praticò, F. (2020). Advancement in measuring the hydraulic conductivity of porous asphalt pavements. *Construction and Building Materials*, 273. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121724>
- González, J. (2023). *Desempeño del concreto permeable como propuesta para mitigar las inundaciones de aguas pluviales en la ciudad de Chiclayo –*

Lambayeque. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Obtenido de
<https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/xxxx>

Hernández, R. (2020). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education. Obtenido de
<https://www.mheducation.com.mx/metodologia-de-la-investigacion-las-rutas-cuantitativa-cualitativa-y-mixta.html>

Huallpa, J. (2020). *Diseño de un concreto permeable $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ como una alternativa para aguas pluviales incorporando canto rodado – Cusco*. Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil. Obtenido de
<https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918>

Jia, Y., Wang, J., & Zhang, Y. (2023). The effect of phase change materials on the physical and mechanical properties of concrete made with recycled aggregate. *Construction and Building Materials*.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130776>

Jiménez, R. (2020). *Evaluación del concreto permeable como una alternativa sostenible para el control de las aguas pluviales en la ciudad de Castilla, provincia de Piura*. Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil.
doi:<https://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/xxxx>

Kanashiro, L., & Monzón, R. (2020). *Determinación del rango óptimo de agregado fino en concreto permeable evaluado a partir de curvas de aproximación para su aplicación en pavimentos especiales*. Cusco. Obtenido de
<https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/xxxx>

Lima, M., Lopes, A., & Silva, J. (2020). Study of the mechanical and physical

characteristics of the permeable concrete using empirical dosage method.

Construction and Building Materials.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.182>

Makul, N. (2021). *Modern sustainable cement and concrete composites: Review of current status, challenges and guidelines*. 278: *Journal of Cleaner Production*.

Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123425>

Martins, A., Ghisi, E., & Thives, L. (2020). Life cycle energy assessment and economic feasibility of stormwater harvested from pervious pavements.

Journal of Cleaner Production.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121656>

Mechtcherine, V. (2022). *The role of curing and environmental conditions on the performance of cement-based materials*. *Cement and Concrete Research*.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106664>

Palla, A. (2020). Hydrologic modeling of Low Impact Development systems at the urban catchment scale. *Journal of Hydrology*, 361–368.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.06.050>

Serebrisky, T. (2023). Water and urban development paradigms: Toward an integrated planning and management framework. *Journal of Water Resources Planning and Management*. doi:10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001122

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2023). Boletín climatológico mensual – Estación Cusco. *SENAMHI*. Obtenido de

<https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>

Silva, J., Melo, T., & Medeiros, M. (2021). The effect of periodic maintenance on

pervious concrete pavements. *Construction and Building Materials*, 295.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123673>

Sohel, K. (2020). Properties of pervious concrete made with different types of waste aggregate: A literature review. *Journal of Building Engineering*, 106.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.106024>

Tziampou, N., Coupe, S., & Saul, A. (2020). Fluid transport within permeable pavement systems: A review of evaporation processes, moisture loss measurement and the current state of knowledge. *Journal of Environmental Management*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110648>

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes