

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS**  
**NATURALES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS**  
**NATURALES**



**“CONCRETO PERMEABLE EN LA GESTIÓN DE AGUAS PLUVIALES, A**  
**NIVEL PILOTO”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

AUTORES:

PACHECO SOTO KAROLAY DALILA

SEMINARIO PORTILLO STHEFANY ARIANY

ASESOR:

ANARCAYA TORRES DAN SKIPPER

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Callao, 2023

PERÚ





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES**  
(Resolución N° 019-2021-CU del 20 de enero de 2021)



V CICLO TALLER DE TESIS

**ANEXO 3**

**ACTA N° 004-2023 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.**

**LIBRO 01 FOLIO No. 83 ACTA N°004-2023 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.**

A los 19 días del mes de agosto del año 2023, siendo las 10:30 horas, se reunieron, en la sala meet: <https://meet.google.com/zch-bnpr-wqt>, el **JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS** para la obtención del **TÍTULO Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales** de la **Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales**, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la **Universidad Nacional del Callao**:

<b>Ms.C. María Teresa Valderrama Rojas</b>	<b>: Presidente</b>
<b>Dr. Miguel Ángel De La Cruz Cruz</b>	<b>: Secretario</b>
<b>Mtra. Janet Mamani Ramos</b>	<b>: Vocal</b>
<b>Dr. Jorge Quintanilla Alarcón</b>	<b>: Suplente</b>
<b>Mtro. Dan Skipper Anarcaya Torres</b>	<b>: Asesor</b>

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis de las Bachilleres Karolay Dalila Pacheco Soto y Sthefany Ariany Seminario Portillo, quienes habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales, sustentan la tesis titulada: **“CONCRETO PERMEABLE EN LA GESTIÓN DE AGUAS PLUVIALES, A NIVEL PILOTO”**, cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario";

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por Aprobado con la escala de calificación cualitativa Muy Bueno y calificación cuantitativa DIECISEIS (16) la presente Tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021-CU del 30 de junio de 2021.

Se dio por cerrada la Sesión a las 11:20 horas del día sábado 19 de agosto del año en curso.

Presidente

Secretario














Vocal

Asesor

## Document Information

<b>Analyzed document</b>	TESIS_PACHECO SOTO-SEMINARIO PORTILLO__CONCRETO PERMEABLE EN LA GESTION DE AGUAS PLUVIALES, A NIVEL PILOTO..pdf (D172858267)
<b>Submitted</b>	2023-08-16 09:16:00
<b>Submitted by</b>	
<b>Submitter email</b>	fiarn.investigacion@unac.edu.pe
<b>Similarity</b>	12%
<b>Analysis address</b>	unidad.de.investigacion.fiarn.unac@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/626313/BENDEZU_UJ.pdf?sequence=...">https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/626313/BENDEZU_UJ.pdf?sequence=...</a> Fetched: 2023-08-16 09:16:00		<b>31</b>
<b>SA</b>	<b>MORALES LOAYZA, LUZ LISBET.pdf</b> Document MORALES LOAYZA, LUZ LISBET.pdf (D142103852)		<b>5</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://infoinundaciones.com/noticias/yaku-cambio-climatico/">https://infoinundaciones.com/noticias/yaku-cambio-climatico/</a> Fetched: 2023-08-16 09:17:00		<b>1</b>
<b>SA</b>	<b>Unc_2022_Lizandra Cachay _74134599.pdf</b> Document Unc_2022_Lizandra Cachay _74134599.pdf (D132697928)		<b>4</b>
<b>W</b>	URL: <a href="http://hdl.handle.net/20.500.14074/2993">http://hdl.handle.net/20.500.14074/2993</a> Fetched: 2023-08-16 09:17:00		<b>2</b>
<b>SA</b>	<b>TESIS ASCON ORBEGOSO - BURGA ANGULO.pdf</b> Document TESIS ASCON ORBEGOSO - BURGA ANGULO.pdf (D157609865)		<b>5</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/23747/2/Calidad%20del%20Agua...">https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/23747/2/Calidad%20del%20Agua...</a> Fetched: 2023-08-16 09:16:00		<b>1</b>
<b>SA</b>	<b>TFG+articulo Iñigo Cabezon.pdf</b> Document TFG+articulo Iñigo Cabezon.pdf (D81740230)		<b>3</b>
<b>SA</b>	<b>TESIS_CIVIL_GARCIA_CARLOS y CORDOVA_KEVIN.pdf</b> Document TESIS_CIVIL_GARCIA_CARLOS y CORDOVA_KEVIN.pdf (D118163062)		<b>1</b>
<b>W</b>	URL: <a href="http://repositorio.upsc.edu.pe/bitstream/handle/UPSC/561/Enrique_VALERIANO_MAMANI.pdf?sequence=...">http://repositorio.upsc.edu.pe/bitstream/handle/UPSC/561/Enrique_VALERIANO_MAMANI.pdf?sequence=...</a> Fetched: 2023-08-16 09:17:00		<b>2</b>
<b>SA</b>	<b>Tesis_JACD_V1.pdf</b> Document Tesis_JACD_V1.pdf (D149805877)		<b>1</b>
<b>W</b>	URL: <a href="http://hdl.handle.net/10757/655019">http://hdl.handle.net/10757/655019</a> Fetched: 2023-08-16 09:16:00		<b>1</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://doi.org/10.3390/w11101992">https://doi.org/10.3390/w11101992</a> Fetched: 2023-08-16 09:16:00		<b>1</b>

## **INFORMACIÓN BÁSICA**

### **FACULTAD:**

INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

### **UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:**

DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

### **TÍTULO:**

“CONCRETO PERMEABLE EN LA GESTIÓN DE AGUAS PLUVIALES, A NIVEL PILOTO”

### **AUTOR(ES):**

KAROLAY DALILA PACHECO SOTO/CÓDIGO ORCID: 0009-0002-7671-2840/DNI: 76348381

STHEFANY ARIANY SEMINARIO PORTILLO/CÓDIGO ORCID: 0009-0005-0628-546X/DNI: 46647891

**ASESOR:** Mtro. DAN SKIPPER ANARCAYA TORRES/CÓDIGO ORCID: 0000-0001-9535-9451/DNI: 43420067

### **LUGAR DE EJECUCIÓN:**

LABORATORIOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

### **UNIDADES DE ANÁLISIS:**

CONCRETO PERMEABLE

**TIPO / ENFOQUE / DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:** APLICADA / CUANTITATIVO / EXPERIMENTAL

**TEMA OCDE:** 2.05.01 – INGENIERÍA DE MATERIALES

## **DEDICATORIA**

El resultado de este trabajo lo dedicamos a Dios, quien nos brindó las fuerzas para seguir adelante y nos acompañó en todo momento.

A nuestras familias, por su apoyo incondicional, por sus enseñanzas para afrontar los momentos difíciles y por ser un ejemplo a seguir en nuestra vida personal y profesional.

Y también a nuestros docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao, por su tiempo, por su apoyo y por compartirnos sabiduría para el desarrollo de nuestra carrera profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestro asesor el Mtro. Dan Anarcaya Torres, por brindarnos la asesoría respectiva en la elaboración, por orientarnos en el desarrollo del proyecto mediante su amplia experiencia y por siempre estar pendiente en los diferentes aspectos de nuestra investigación.

A la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao por albergarnos en sus aulas durante nuestra etapa universitaria y por habernos formado profesionalmente, para enfrentar los diferentes retos laborales.

A nuestros jurados revisores: Ms.C. María Teresa Valderrama Rojas, Mtra. Janet Mamani Ramos, Dr. Miguel Angel de La Cruz Cruz y el Dr. Jorge Quintanilla Alarcón, por las sugerencias precisas y su aporte pertinente.

## INDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>13</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>14</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>15</b>
<b>I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>17</b>
1.1 Descripción de la realidad problemática .....	17
1.2 Formulación del problema.....	18
1.3 Objetivos .....	19
1.4 Justificación .....	19
1.5 Delimitantes de la investigación .....	21
<b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>22</b>
2.1. Antecedentes del estudio.....	22
2.2. Bases Teóricas .....	27
2.2.1. <i>Ciclo hidrológico</i> .....	27
2.2.2. <i>Escorrentía superficial</i> .....	28
2.2.3. <i>Inundaciones</i> .....	28
2.2.4. <i>Calidad de aguas</i> .....	28
2.2.5. <i>Concreto permeable</i> .....	29
2.3. Marco Conceptual.....	29
2.4. Definición de términos básicos .....	35
<b>III. HIPÓTESIS Y VARIABLES .....</b>	<b>37</b>
3.1. Hipótesis .....	37
3.1.1. Operacionalización de variables.....	38
<b>IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO .....</b>	<b>39</b>
4.2 Población y muestra.....	45



4.2.1	<i>Población</i> .....	45
4.2.2	<i>Muestra</i> .....	45
4.3	Lugar de estudio y periodo de desarrollo .....	45
4.4	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información. ....	45
4.4.1	<i>Técnica</i> .....	45
4.4.2	<i>Instrumentos de medición</i> .....	46
4.5	Análisis y procedimientos de datos .....	46
<b>V.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>48</b>
5.1	Resultados descriptivos .....	48
5.1.1	<i>Resultados del diseño de concreto permeable</i> .....	48
5.1.2	<i>Resultados de resistencia a la compresión del concreto permeable</i> .....	59
5.1.3	<i>Resultados de permeabilidad del concreto permeable</i> .....	62
5.1.4	<i>Resultados de reducción de escorrentía del concreto permeable</i> .....	65
5.2	Resultados inferenciales .....	72
<b>VI.</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>77</b>
6.1	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados .....	77
6.1.1.	<i>Contrastación con la primera hipótesis general</i> .....	77
6.1.2.	<i>Contrastación con la primera hipótesis específica</i> .....	77
6.1.3.	<i>Contrastación con la segunda hipótesis específica</i> .....	77
6.1.4.	<i>Contrastación con la tercera hipótesis específica</i> .....	78
6.2	Contrastación de los resultados con otros estudios similares .....	78
6.3	Responsabilidad ética .....	79
<b>VII.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>80</b>
<b>VIII.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>81</b>
<b>IX.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	<b>82</b>
<b>IX.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>88</b>

Anexo I: Matriz de Consistencia.....	88
Anexo II: Ficha de recolección de análisis de materiales.....	89
Anexo III: Ficha de recolección de la resistencia a la compresión .....	90
Anexo IV: Ficha de recolección de escurrentía y calidad de aguas .....	91
Anexo V: Formato de validación de instrumentos .....	92
Anexo VI: Validación de instrumentos.....	93
Anexo VII: Registro fotográfico.....	97
Anexo VII: Cálculos de IDF de las precipitaciones.....	99
Anexo VIII: Resultados de laboratorio de pruebas de resistencia a la compresión sin agregado fino.....	100
Anexo IX: Resultados de laboratorio de pruebas de granulometría .....	103
Anexo X: Calibración de los instrumentos de laboratorio .....	110
Anexo XI: Resultados de Calidad de agua.....	111

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Matriz de operacionalización de Variables</i> .....	38
Tabla 2	<i>Parámetros a considerar en el análisis granulométrico del AG y AF</i> ..	41
Tabla 3	<i>Características del AG y AF para el diseño de mezcla</i> .....	41
Tabla 4	<i>Fichas de recolección de datos</i> .....	46
Tabla 5	<i>Análisis Granulométrico del Agregado Grueso TMN: ¾”</i> .....	48
Tabla 6	<i>Peso Unitario Suelto Agregado Grueso TMN ¾”</i> .....	49
Tabla 7	<i>Peso Unitario Compactado Agregado Grueso TMN ¾”</i> .....	49
Tabla 8	<i>Contenido de humedad Agregado Grueso TMN ¾”</i> .....	49
Tabla 9	<i>Absorción del Agregado Grueso TMN ¾”</i> .....	50
Tabla 10	<i>Ensayo de peso específico del agregado grueso- NTP 400.021</i> .....	50
Tabla 11	<i>Análisis Granulométrico del Agregado Fino</i> .....	51
Tabla 12	<i>Peso Unitario Suelto Agregado Fino</i> .....	51
Tabla 13	<i>Peso Unitario Seco Compacto Del Agregado Fino - NTP 400.017</i> ...	52
Tabla 14	<i>Ensayo De Humedad Del Agregado Grueso - NTP 339.185</i> .....	52
Tabla 15	<i>Ensayo De Absorción Del Agregado Fino - NTP 400.022</i> .....	52
Tabla 16	<i>Ensayo De Peso Específico Del Agregado Fino</i> .....	53
Tabla 17	<i>Características del AG para el Diseño de Mezcla N°1</i> .....	53
Tabla 18	<i>Características del cemento para el diseño de mezcla N°1</i> .....	54
Tabla 19	<i>Características del agua</i> .....	54
Tabla 20	<i>Parámetro inicial para el diseño de mezcla N°1</i> .....	54
Tabla 21	<i>Coeficiente <math>b/b_0</math></i> .....	57
Tabla 22	<i>Cantidad de materiales para el Diseño de Mezcla N°1</i> .....	58
Tabla 23	<i>Características de los materiales para el diseño de mezcla N°2</i> .....	59
Tabla 24	<i>Cantidad de materiales para el Diseño de Mezcla N°2</i> .....	59
Tabla 25	<i>Resistencia a la compresión para el diseño de mezcla N°1</i> .....	60
Tabla 26	<i>Resistencia a la compresión para el diseño de mezcla N°2</i> .....	61
Tabla 27	<i>Cálculos para la permeabilidad</i> .....	62
Tabla 28	<i>Permeabilidad del diseño de mezcla N°1</i> .....	63
Tabla 29	<i>Permeabilidad del diseño de mezcla N°2</i> .....	64
Tabla 30	<i>Datos de la estación Huánuco</i> .....	66
Tabla 31	<i>Precipitación máxima anal periodo 1981-2016</i> .....	66

Tabla 32 <i>Precipitación según periodos de retorno</i> .....	67
Tabla 33 <i>Datos de Intensidad, Duración y Frecuencia de la precipitación</i> .....	68
Tabla 34 <i>datos de caudal de infiltración y escorrentía</i> .....	70
Tabla 35 <i>Descriptivos de la permeabilidad</i> .....	72
Tabla 36 <i>Prueba t de Student para la permeabilidad</i> .....	72
Tabla 37 <i>Descriptivos del porcentaje de remoción de la turbidez</i> .....	73
Tabla 38 <i>Prueba U de Mann Whitney turbidez</i> .....	74
Tabla 39 <i>Descriptivos del porcentaje de remoción de STS</i> .....	74
Tabla 40 <i>T de Student para el porcentaje de remoción de SST</i> .....	75
Tabla 41 <i>Descriptivos del porcentaje de remoción de DBO</i> .....	75
Tabla 42 <i>Prueba U Mann Whitney DBO</i> .....	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Ciclo hidrológico</i> .....	27
Figura 2 <i>Sección de firme permeable</i> .....	30
Figura 3 <i>Fases o etapas de la investigación</i> .....	40
Figura 4 <i>Distribución de probetas y etapas de curado</i> .....	42
Figura 5 <i>Permeámetro de carga variable</i> .....	43
Figura 6 <i>Relación de la RC vs el contenido de vacíos</i> .....	55
Figura 7 <i>Relación del contenido de vacíos vs relación agua – cemento (w/c)</i> .	55
Figura 8 <i>Comportamiento de la RC para el diseño de mezcla N°1</i> .....	60
Figura 9 <i>Comportamiento de la RC para el diseño de mezcla N°2</i> .....	61
Figura 10 <i>Comportamiento de la permeabilidad del diseño de mezcla N°1</i> .....	63
Figura 11 <i>Comportamiento de la permeabilidad del diseño de mezcla N°2</i> .....	64
Figura 12 <i>Comparación de la permeabilidad según diseño de mezcla</i> .....	65
Figura 13 <i>Caudal de infiltración vs Escorrentía, Diseño N°1</i> .....	71
Figura 14 <i>Caudal de infiltración vs Escorrentía, Diseño N°2</i> .....	71

## ÍNDICE DE ABREVIATURA

**AG:** Agregado grueso

**AF:** Agregado fino

**RC:** Resistencia a la compresión.

**ECA:** Estándares de Calidad Ambiental

**ACI:** Instituto Americano del concreto

**Curva IDF:** Intensidad – Duración – Frecuencia

**SENAMHI:** Servicio Nacional de meteorología e hidrología

**CP:** Concreto permeable (poroso)

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación trata de encontrar una alternativa de solución sostenible que ayude al control de las aguas pluviales provenientes de las fuertes precipitaciones, las cuales se intensifican debido a la presencia del fenómeno “El Niño y durante eventos extraordinarios como el ciclón Yaku. El objetivo general fue evaluar la aplicación del concreto permeable en la gestión de aguas pluviales a nivel piloto; para ello la investigación es del tipo aplicada y experimental. Se propuso diseñar un concreto permeable basados en dos tipos de diseños de mezcla (0% de AF Y 10% AF) para luego aplicarlos en pruebas de infiltración que demostrarán su efecto en la reducción de la escorrentía y mejora de la calidad de agua. Los resultados demostraron que se logró una RC de hasta 159.94 Kg/cm<sup>2</sup>, asimismo se obtuvo una permeabilidad de hasta 1.34 cm/s. De manera que se reportó que la capacidad de infiltración (hasta 5.58 l/s) del concreto permeable permite una total infiltración de la escorrentía generada por una intensidad de lluvia de 65.9 mm/hora con una duración de 15 minutos y un periodo de retorno de 100 años (precipitación representativa para la ciudad de Huánuco). Igualmente, con respecto al contenido de STS y turbidez se logró una remoción de hasta 93.3% y 86.6% respectivamente. Finalmente se concluye que la adición de AF a la mezcla mejora la RC del concreto, pero reduce la capacidad de infiltración y remoción de contaminantes en el agua, convenientemente su uso como pavimento debe ser promovido por sus beneficios medioambientales.

### ***Palabras clave***

Concreto poroso, permeabilidad, resistencia a la compresión, escorrentía, calidad de aguas

## **ABSTRACT**

This research work seeks to find a sustainable alternative solution to help control rainwater from heavy rainfall, which intensifies due to the presence of the "El Niño" phenomenon and during extraordinary events such as cyclone Yaku. The general objective was to evaluate the application of pervious concrete in rainwater management at a pilot level; for this purpose, the research is of the applied and experimental type. It was proposed to design a permeable concrete based on two types of mix designs (0% PA and 10% PA) and then apply them in infiltration tests to demonstrate their effect on runoff reduction and water quality improvement. The results showed that a RC of up to 159.94 Kg/cm<sup>2</sup> was achieved, and a permeability of up to 1.34 cm/s was obtained. Thus, it was reported that the infiltration capacity (up to 5.58 l/s) of the permeable concrete allows total infiltration of the runoff generated by a rainfall intensity of 65.9 mm/hour with a duration of 15 minutes and a return period of 100 years (representative rainfall for the city of Huánuco). Likewise, with respect to the STS and turbidity content, a removal of up to 93.3% and 86.6%, respectively, was achieved. Finally, it is concluded that the addition of PA to the mix improves the CR of the concrete, but reduces the capacity of infiltration and removal of pollutants in the water, so its use as a pavement should be promoted for its environmental benefits.

### ***Key words***

Porous concrete, permeability, compressive strength, runoff, water quality.



## INTRODUCCIÓN

La gestión adecuada de las aguas pluviales es un gran desafío en las zonas urbanas debido a la mayor impermeabilidad del suelo y los efectos del cambio climático. El aumento de la urbanización ha provocado una disminución de los espacios verdes y un aumento de las superficies impermeables, lo que ha provocado problemas como inundaciones, erosión del suelo y contaminación del agua. En este contexto, la adopción de enfoques sostenibles y tecnologías innovadoras son esenciales para reducir los efectos nocivos de las aguas pluviales y promover aún más la gestión responsable de los recursos hídricos.

El concreto permeable, ha surgido como una solución prometedora para la gestión de aguas pluviales en entornos urbanos. A diferencia del concreto convencional, el concreto permeable permite que el agua de lluvia se infiltre directamente en el suelo, reduciendo la escorrentía superficial y facilitando la recarga de los acuíferos. Esta tecnología presenta una serie de ventajas potenciales, como la mitigación de inundaciones, la mejora de la calidad del agua y la promoción de la sostenibilidad ambiental en las áreas urbanas.

A pesar de su creciente popularidad a nivel internacional, el uso de concreto permeable en la gestión de aguas pluviales aún no se ha explorado ampliamente en el contexto peruano. En ese sentido lo que se propone en el presente proyecto de tesis es una alternativa que podría ser la respuesta a la gestión de aguas pluviales utilizando el método de diseño de concreto permeable de la norma norteamericana ACI522R.

A través de un enfoque multidisciplinario que combina aspectos técnicos, ambientales y económicos, se evaluará la eficacia del concreto permeable en la reducción de la escorrentía de aguas pluviales, la mejora de la calidad del agua y los beneficios económicos asociados.

Los resultados de este estudio proporcionarán una base sólida para la toma de decisiones informadas en la implementación de medidas de gestión del agua de lluvia pluviales en nuestro país. Incluso se espera que los hallazgos contribuyan al desarrollo de políticas y regulaciones adecuadas que fomenten la adopción de

tecnologías sostenibles y promuevan la resiliencia ante los desafíos actuales y futuros.

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción de la realidad problemática

En los últimos 30 años, las inundaciones han causado pérdidas económicas de más de US\$ 1,280 mil millones a escala mundial, afectando alrededor de 2 mil millones de personas en el planeta y acabando con la vida de aproximadamente 214,000 personas (UNDRR, 2019). Por otro lado, según Piadeh, Behzadian y Alani; (2022), las distribuciones de los impactos debido a las inundaciones son diferentes según cada región, por ejemplo, Europa y América del Norte sufren principalmente pérdidas económicas, mientras que, en Asia y África, se han enfrentado principalmente a daños sociales. Ocupando China e India el primer lugar en personas promedio afectadas por inundaciones.

América Latina se encuentra entre las regiones con las tasas de urbanización más altas del mundo, con más del 81 % de la población viviendo en áreas urbanas y cerca del 50 % de la población viviendo en ciudades de más de 1 millón de habitantes (UE, 2019). Por otro lado, las inundaciones son el desastre más común en esta región. Según reportes entre 2000 y 2015, aproximadamente 74 millones de personas en América del Sur se vieron afectadas por inundaciones, tormentas, deslizamientos de tierra y temperaturas extremas (Nagy et al. 2018).

En el Perú en el año 2017 se experimentó un fenómeno natural conocido como el Niño costero. Una de sus manifestaciones fueron las intensas y prolongadas lluvias que activaron diferentes quebradas en la zona norte, centro del país y que ocasionaron huaicos e inundaciones. Esto tuvo repercusiones negativas en la salud pública. Por ejemplo, de acuerdo a informes oficiales, se reportaron 136 víctimas mortales, 17 236 damnificados y 1 075 932 afectados (COEN, 2017).

La generación de inundaciones repentinas puede producirse por varios factores como una lluvia corta de alta intensidad, pendientes pronunciadas, superficies impermeables, incertidumbre del cambio climático y una acelerada urbanización. Los daños que causan las inundaciones tienen un impacto directo e indirecto en el entorno natural y construido. Los impactos en el medio ambiente natural incluyen la contaminación del suelo y de los cuerpos receptores de agua como

resultado de la escorrentía de aguas superficiales, que transporta contaminantes desde superficies impermeables al suelo y cuerpos de agua circundantes. Los impactos en el entorno construido varían entre daños a propiedades públicas y privadas, interrupción del tráfico, estructura y estabilidad de los edificios y fallas o daños en los servicios y sistemas de infraestructura. En cuanto a lo económico; el impacto de las inundaciones disminuye el valor de las propiedades y genera altos costos de reparación por los daños. Por otro lado, las interrupciones del tráfico, los servicios y la infraestructura perturban las actividades de las personas causando accidentes graves y lesiones humanas (Azouz y Salem, 2023).

La infraestructura de drenaje existente presionada por una urbanización extensa podría beneficiarse de la integración de sistemas de gestión de aguas pluviales sostenibles y verdes, para mitigar el riesgo de inundación (Azouz y Salem, 2023).

Sin embargo, en el Perú la mayoría de ciudades se encuentran impermeabilizadas, además de ello eventos extraordinarios como el ciclón Yaku ocurrido en este año 2023, ponen en riesgo la vida de las personas. Esto al provocar inundaciones extremas que son productos de la elevada escorrentía generada por las lluvias y las ciudades impermeables. Esta situación se replica en otras ciudades importantes, donde la precipitación varía de máximos a mínimos, y en épocas extremas las ciudades quedan colmatadas sin permitir una adecuada gestión de aguas pluviales.

Debido a que la mayoría de ciudades importantes del Perú, presentan un problema de gestión de aguas pluviales debido a su impermeabilización, producto de la explosión demográfica, en este estudio se propone el diseño y puesta a prueba a nivel piloto de un firme permeable a base de hormigón o concreto poroso. Lo que va permitir la infiltración del agua de lluvia, a través de sus poros permitiendo así la regulación del ciclo hidrológico y la mejora en la gestión de las aguas pluviales.

## **1.2 Formulación del problema**

### ***1.2.1 Problema general***

¿De qué manera el concreto permeable permite la gestión de aguas pluviales a nivel piloto?

### **1.2.2 Problemas específicos**

**P1:** ¿De qué manera se diseña el concreto permeable de acuerdo a la norma ACI522R para regular la gestión de aguas pluviales?

**P2:** ¿Cuál es el porcentaje de reducción de escorrentía superficial mediante la aplicación del concreto permeable?

**P3:** ¿De qué manera el concreto permeable permite mejorar la calidad del agua a nivel piloto?

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Evaluar la aplicación del concreto permeable en la gestión de aguas pluviales a nivel piloto

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

**O1:** Diseñar el concreto permeable de acuerdo a la norma ACI522R.

**O2:** Determinar el porcentaje de reducción de escorrentía superficial mediante la aplicación del concreto permeable.

**O3:** Comparar los parámetros de la calidad de agua antes y después de la infiltración en un concreto permeable.

### **1.4 Justificación**

#### **Justificación Ambiental**

La naturaleza porosa del concreto permeable permite muchos beneficios ambientales, como reducir la escorrentía, restaurar los niveles de las aguas subterráneas, mitigar los efectos de isla de calor urbano, mejorar la calidad del agua (sólidos en suspensión, fósforo, nitrógeno y metales pesados) y absorber el ruido del tráfico (Yu, et al., 2023).

#### **Justificación Normativa Legal**

En Perú, la gestión de aguas pluviales se rige principalmente por la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos. Esta ley establece los principios y normas para

la gestión integral y sostenible del agua, incluyendo las aguas pluviales (MIDAGRI,2009).

Asimismo, la normativa ECA del agua se encarga de regular la medición de parámetros de la calidad de agua de las aguas superficiales que no han sido alterados por causas antrópicas. La presente investigación espera que los resultados después de la infiltración de agua sean contrastados con la categoría 3 para riego de vegetales y bebidas de animales del ECA del agua, DS 002-2008-MINAM (MINAM,2008).

### **Justificación económica**

Los impactos económicos de las inundaciones son catastróficos para una ciudad, con consecuencias para la infraestructura, los gastos relacionados en la salud, el medio ambiente y otros problemas. Un ejemplo es la pérdida económica de 1.300 millones de chelines por daños a la infraestructura equivalente a 0,1 % del PBI, según el ministro de Economía y Finanzas, Alex Contreras.

La tecnología de hormigón permeable podría ser una oportunidad que las empresas pueden aprovechar para innovar su solución a la inadecuada gestión de aguas pluviales. Asimismo, contribuir a la creación de puestos de trabajo y al crecimiento sostenible de la empresa.

### **Justificación social**

En el presente año las intensas precipitaciones a causa del Ciclón Yaku trajeron como consecuencia inundaciones en diferentes ciudades de la costa del país que han causado la muerte de más de 50 personas y 15 mil damnificados, impactando a 16 regiones y 483 distritos que han sido declarados en emergencia (MADUEÑO, 2023).

Entonces la importancia de esta investigación en el uso de concreto permeable en la gestión de aguas pluviales se basa en la reducción del riesgo de inundaciones, la mejora de la calidad del agua, la recarga de acuíferos, la creación de entornos saludables, la contribución a la sostenibilidad y a la resiliencia de las comunidades. Al promover un enfoque más sostenible y

responsable hacia la gestión del agua, el uso de concreto permeable puede beneficiar a las personas y mejorar la calidad de vida en las áreas urbanas.

## **1.5 Delimitantes de la investigación**

### **1.5.1 Teórica**

Esta investigación se delimita en base a las teorías y estudios preliminares que han demostrado como un tipo de material poroso del concreto permeable es dominante en la determinación de su desempeño macroscópico (Zhong y Wille, 2016). Basándose a partir de la teoría de gestión integrada de recursos hídricos y la teoría estructural. Yu y Borgaonkar; proponen una de las soluciones viables para reducir la escorrentía superficial y con esta mejorar la calidad del agua. En ese sentido, es importante el estudio del concreto permeable ya que según la bibliografía tiene varias utilidades ambientales y puede ser una oportunidad de mejora en nuestros sistemas de drenaje.

Para el presente estudio se realizó el diseño de mezclas usando la norma ACI 522R y la norma técnica peruana E.060 concreto armado. Así mismo; se tomó en cuenta los antecedentes nacionales e internacionales, lo que permitió una mejor precisión en la metodología.

Para el desarrollo de la investigación se ha tenido en cuenta la identificación de las características que fueron fundamentales para la investigación del hormigón permeable, entre los que figuran están la estructura del poro, el análisis de los factores que afectan su estructura, la determinación de la relación entre la estructura del poro y las macropropiedades (Yu, et al., 2023)

### **1.5.2 Temporal**

Dado que la presente investigación se desarrolló a escala piloto se presenta como una de las limitantes el poco tiempo a desarrollar el experimento, que se realizó en el laboratorio en los meses de abril a mayo del 2023 utilizando una estructura de permeámetro.

### **1.5.3 Espacial**

La investigación se realizó en un entorno de laboratorio en las instalaciones de la Universidad Nacional del Callao.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del estudio

#### 2.1.1. Internacionales

Inti, et al. (2021) en su estudio titulado "Hormigón celular permeable de baja densidad como remplazo de capas de agregado en estacionamientos permeables", tuvo como objetivo probar la idoneidad del hormigón permeable al aire de baja densidad. Para ello utilizaron el método experimental. Los resultados se obtuvieron con una relación agua/cemento de 0.5, donde las resistencias a la compresión variaron entre 6.11 y 18.35 kg/cm<sup>2</sup> sobre el rango de densidad de 400 a 512 kg/m<sup>3</sup> y un rango de resistencia a la compresión de 5.10 y 15.30 kg/cm<sup>2</sup> en el rango de densidad de 400-600 kg/m<sup>3</sup>, lo que permite que los sólidos disueltos totales se reducen de 495 a 404 ppm. Finalmente se concluye que la densidad es un parámetro de diseño importante, ya que afecta la resistencia, la capacidad de almacenamiento y la tasa de permeabilidad del pavimento permeable.

Teymouri et al., (2020) desarrollaron un estudio acerca del "Pretratamiento de aguas residuales municipales utilizando hormigón poroso que contiene adsorbentes minerales de grano fino" con el objetivo de utilizar hormigón poroso que contiene adsorbentes minerales como un nuevo método de tratamiento de aguas residuales. Para ello se utilizó la normativa ACI 211.3 R en los diseños de las muestras de control y con una relación w/c 0.38. Obteniéndose como resultados para C-0, C-10 y C-20 en cuanto a resistencia a la compresión, valores de 178.96, 241.47 y 313.36 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. En cuanto a porosidad y el coeficiente de permeabilidad se obtuvieron datos de 20,96, 16,96 y 9,14 % y 1,517, 1,397 y 1,183 mm/s, respectivamente. Los especímenes Z5-0 (41,06 %), Pu10-10 (37,06 %) y L15-20 (44 %) tuvieron la mayor eliminación de TSS a proporción para 0, 10 y 20 % de grano fino, equitativamente. Por lo que, se concluye que la reducción de la turbidez en muestras que contenían adsorbentes con 0 %, 10 % y 20 % de granos finos fue de aproximadamente 44, 50 y 53 NTU. Los especímenes del hormigón poroso que contenían zeolita y piedra pómez tuvieron datos más altos en relación al coeficiente de



permeabilidad y resistencia a la compresión. El único factor que afectó el nivel de turbidez promedio (49 NTU) fue la porosidad y no los adsorbentes minerales.

Kalimur, et al., (2020) Estudiaron la remoción de metales pesados del agua de lluvia mediante pavimento de hormigón poroso, con el objetivo de estudiar la eficiencia de la remoción de metales pesados, como Cu, Pb, Ni y Zn, de la escorrentía del pavimento de hormigón poroso. Durante la implementación se utilizaron aditivos y la relación a/c está entre 0.27 y 0.30, por lo que los resultados muestran que el valor de porosidad es 27.2% y el coeficiente de permeabilidad es 1.83 cm/s; indicando que está dentro del rango aceptable. En cuanto al agua de lluvia, el uso de capa de arena gruesa y capa de geotextil ayudó a reducir la concentración de Cu, Pb, Zn, Ni en un 56%, 67%, 93% y 20%, respectivamente. Por lo tanto, se concluye que el uso de geotextiles flexibles es efectivo en la remoción de metales pesados debido a que está compuesto carbono negro y como resultado, el pavimento ha mejorado la calidad del agua de lluvia al eliminar los metales pesados.

Garozzi Rodrigo (2019) realizó investigaciones sobre hormigón permeable como pavimento para optimizar la permeabilidad del concreto ecológico con la adición de nanosílice y fibras de polipropileno para pavimento rígido, usando agregados de concreto reciclado. Utilizó una metodología basada en procesos deductivos y un enfoque cuantitativo. Como resultado, existe una mayor tasa de permeabilidad cuando está entre 1,86 cm/s y 1,96 cm/s con una resistencia a la compresión de 119,41 kg/cm<sup>2</sup>. Se ha determinado que los puntos más cercanos a las guías del pavimento tienen un mayor índice de permeabilidad que los puntos centrales, debido a la mayor porosidad de estas regiones exteriores. Finalmente, se concluye que la adición de fibras de polipropileno y nanosílice en un concreto ecológico optimizará sus propiedades mecánicas e hidráulicas.

### **2.1.2. Nacionales**

Laguna et al., (2021) en la tesis "Propuesta de diseño de concreto permeable, con diferente relación agua-cemento y aditivo plastificante, para ser utilizado en vías peatonales, como alternativa para disminuir la formación de charcos de lluvia en las calles de Huaraz - Áncash " tuvo como objetivo definir el diseño de concretos permeables con diferentes relaciones agua/cemento y plastificantes, al mismo tiempo sometidos a ensayos mecánicos de compresión, flexión y permeabilidad contribuyendo de mejor manera a disminuir la formación de charcos de lluvia en las calles de la Ciudad de Huaraz. El estudio es correlacional y su diseño es experimental. Durante este proceso se trabajó con diferentes tipos de relaciones agua/cemento y con una porosidad de 15%. Por consiguiente, dieron como resultado a una relación a/c de 0,4 una constante de permeabilidad de 0,057 cm/s. Y si consideramos que la relación a/c es 0,3, entonces se obtiene un valor máximo de resistencia a la compresión de 181 kg/cm<sup>2</sup>. Llegó a la conclusión que a medida que aumenta la permeabilidad disminuye la resistencia a la compresión, y cuando se utiliza una relación a/c de 0.3 se obtienen las mejores propiedades mecánicas y de permeabilidad, ya que tiene un coeficiente de permeabilidad óptimo de 0.044 cm/s y un coeficiente de resistencia a la compresión de 181 kg/cm<sup>2</sup>.

Ravello,et al., (2020) con la tesis "Propuesta de concretos permeables para la captación de agua de lluvias en pavimentos de estacionamientos de hospitales en Arequipa" tuvo como objetivo proponer mezclas de concretos permeables para la construcción de pavimentos. La metodología del presente plan de tesis es descriptiva. Los resultados de la adición de agregado fino en las mezclas, incrementó la resistencia a la compresión afectando de baja manera la permeabilidad. El coeficiente de permeabilidad del concreto permeable se debería encontrar entre 0.2 cm/s a 0.54 cm/s y será menor cuando hay mayor porcentaje de agregados finos. En este caso el mayor valor de permeabilidad es de 0.46 cm/s , al trabajar en las mezclas con relación agua/ cemento de 0.29 y 0.32, se obtuvo mayores valores de resistencia a la compresión siendo el mayor valor de 214.41 kg/cm<sup>2</sup>. Por lo tanto, se concluye que los resultados de la adición de agregado fino en las mezclas, incrementó la resistencia a la compresión

afectando de baja manera la permeabilidad y al trabajar el concreto con una relación agua/cemento de 0.27 la resistencia decae debido a que el cemento no se estaba hidratando bien.

Bendezú, et al., (2019) en el estudio "Diseño de una mezcla de concreto drenante para la construcción de una superficie vial con una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>", su objetivo fue establecer un diseño de mezcla de concreto drenante aplicado a la superficie del pavimento vial. El método utilizado fue descriptivo, aplicando el método ACI 522.R para que pueda ser aplicado como alternativa a la capa de desgaste en el pavimento. En este proceso se trabajó con una relación a/c de 0,38 y una relación de poros de 13% y un superplastificante de 1,5, obteniendo así una mayor resistencia a la compresión de 283,06 kg/cm<sup>2</sup>. Cuando hay 0% de agregado fino en diferentes mezclas, se obtienen diferentes resistencias a la compresión de 68.08, 88.26 y 103.15 kg/cm<sup>2</sup>. En cuanto a la permeabilidad en el hormigón en estado de curado con la mezcla preparada en laboratorio fue de 1,61 cm/s y la permeabilidad en el prototipo fue de 1,74 cm/s. Por lo que, se concluye que el diseño compuesto puede ser utilizado como superficie para pavimento permeable. Y el agua utilizada en las pruebas de permeabilidad del prototipo ha demostrado ser recuperable, debido a que el hormigón permeable actúa como una alternativa ecológica al hormigón tradicional, ya que el agua filtrada a través de su estructura puede recuperarse y reutilizarse.

Esquerre, et al., (2019) en su estudio titulado "Propuesta de Diseño de Pavimento Permeable para Captación de Agua de Lluvia en Zonas Urbanas del Norte del Perú" tuvo como objetivo desarrollar una propuesta de concreto drenante para ser utilizado como alternativa para la captación de agua de lluvia en vías urbanas con moderado tráfico en el norte del Perú. El método utilizado fue descriptivo y trabajó con una relación de vacíos de 10% a 15%, arrojando una permeabilidad de 0,01 a 0,05 cm/s con una mezcla muy estable. Durante la implementación dieron valores de permeabilidad superiores a 0,001 cm/s, los cuales están dentro de los parámetros especificados por ACI522-R10, siendo el valor de permeabilidad más alto 1,15 cm/s. Para mezclas también se consideraron una relación agua/cemento entre 0.30 y 0.34 con relaciones de vacíos entre 9 y 13, lo que ayuda a lograr altas resistencias superiores a 210

kg/cm<sup>2</sup>. En este caso, trabajando con una relación de 0,30, el valor de resistencia más alto obtenido es de 295 kg/cm<sup>2</sup>. Al final se concluyó que el concreto permeable al tener mayor porosidad evita el taponamiento de la capa superficial, brindando mayor comodidad a los transeúntes y conductores.

Altamirano, Thalía (2019), en su trabajo de investigación “Preparación de concreto permeable para tránsito liviano utilizando agregados de la cantera Santa María del Valle La Despensa, Huánuco”, tuvo como objetivo determinar la influencia de los agregados de la cantera de Santa María “La Despensa” en las permeabilidades y en la resistencia a la compresión del concreto permeable para tráfico ligero. El método de investigación es cuantitativo y el diseño experimental. Durante el desarrollo de la parte experimental, considerando 0% y 20% de agregados finos, los valores en su coeficiente de permeabilidad fueron de 1,59 cm/s y 0,26 cm/s, respectivamente. En cuanto a la resistencia a la compresión promedio durante los 28 días de diseño de la mezcla con 0% de agregado fino fue de 91.87 kg/cm<sup>2</sup> y con 20% de agregado fino fue de 163 kg/cm<sup>2</sup>, siendo esta la máxima resistencia que alcanzó. Considerando la relación a/c de 0,35 en el ensayo de permeabilidad, los resultados obtenidos demuestran la capacidad de este hormigón para permitir el paso del agua a través de la estructura. Por consiguiente, se logró mejores resultados de resistencias a la compresión con la mezcla de 20 % de agregado fino y mejor permeabilidad con la mezcla 0% de agregado fino. Llegó a la conclusión que la prueba de permeabilidad resultante demostró la capacidad de este concreto para permitir que el agua pase a través de su estructura.

Jimenez, Hilder (2019) estudió la evaluación del hormigón permeable como alternativa para el control de aguas pluviales en la ciudad de Castilla, provincia de Piura y departamento de Piura, siendo su objetivo contribuir a la investigación del hormigón permeable como alternativa sostenible al control de aguas pluviales en la ciudad de Castilla. La metodología es cuantitativa y el diseño del estudio es experimental. Para los resultados en uno de los diseños compuestos se obtuvo un valor óptimo de permeabilidad de 0.1582 cm/s y un valor óptimo de resistencia a la compresión de 238 kg/cm<sup>2</sup>. Por consiguiente, se concluye que el hormigón permeable es una alternativa viable para estructuras de pavimentación

especiales, como aceras o veredas, pases peatonales y ciclovías. También puede actuar como una superficie permeable para la escorrentía y al mismo tiempo realizar una función de capa superficial, formando una herramienta sostenible para facilitar el control de aguas pluviales en áreas urbanas, brindando así beneficios económicos, sociales y ambientales para las personas.

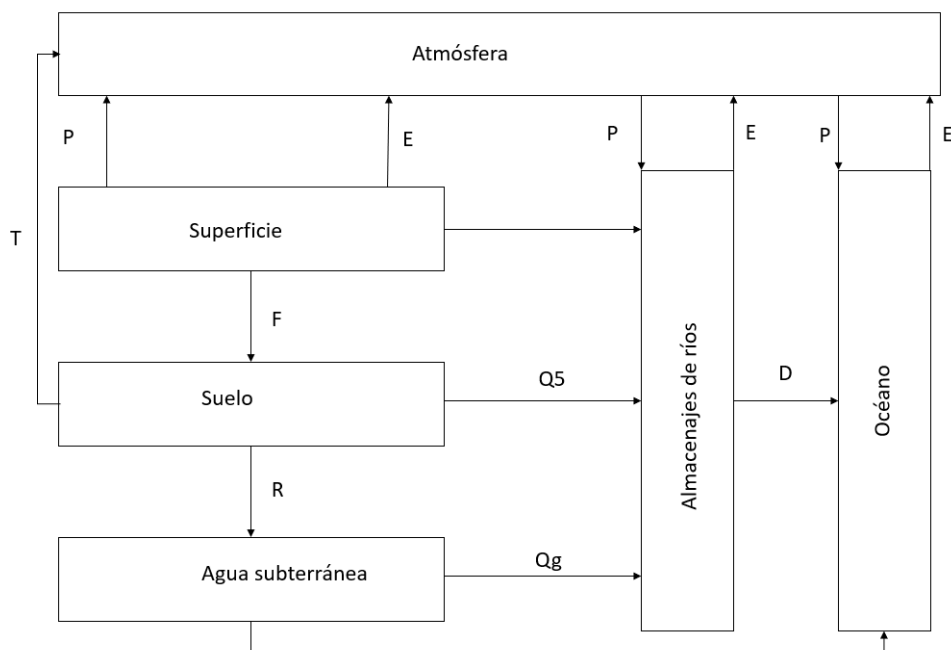
## 2.2. Bases Teóricas

### 2.2.1. Ciclo hidrológico

Se hace referencia al ciclo del agua como el conjunto de transformaciones que ocurren en el agua en la naturaleza, abarcando sus diversas fases (sólido, líquido, gaseoso) y sus variadas formas (aguas en la superficie, aguas bajo tierra, etc.). Se han propuesto diversos diagramas del ciclo hidrológico, todos con el objetivo común de ofrecer una representación gráfica simple que ilustre las distintas maneras y estados en los que el agua se encuentra. (VILLON 2011)

**Figura 1**

*Ciclo hidrológico*



*Nota.* Tomada de "Hidrología", por Villon, Máximo 2011

E. Evaporación

Q. Escurrimiento artificial

- F. Infiltración
- P. Precipitación
- Qs. Escurrimiento subsuperficial
- D. Descarga a los océanos
- T. Transpiración
- Qg. Escurrimiento subterráneo
- R. Recarga

### **2.2.2. Escorrentía superficial**

El flujo de escorrentía superficial es el movimiento de agua que se genera durante o justo después de un episodio de lluvia, manifestándose como un desplazamiento suave sobre la superficie. (MONGE 2022)

### **2.2.3. Inundaciones**

Representan un potencial de peligro debido a que en la mayoría de las regiones donde se producen, el terreno está habitado o se encuentra destinado a actividades productivas. (CAMILLONI 2020)

### **2.2.4. Calidad de aguas**

Según la Organización Mundial de la Salud y otras entidades internacionales, la calidad del agua se puede resumir como el estado en el que se encuentra el agua en términos de sus atributos físicos, químicos y biológicos, ya sea en su estado natural o tras la influencia humana. La evaluación de la calidad del agua generalmente se basa en la comparación de las características físicas y químicas de una muestra de agua con pautas o estándares de calidad del agua. Aunque inicialmente este concepto se ha centrado en el agua destinada al consumo humano, es relevante la definición adaptar la calidad del agua según su uso particular. (BAEZ 2016)

La normativa peruana en el 2015 emitió una norma peruana que modificaba los Estándares nacionales de calidad ambiental para el agua, DS N° 015 -2015 MINAM en donde establece una lista de parámetros físicos, químicos y biológicos con las concentraciones máximas por categoría de los ECAs.

#### **a. Parámetros de la calidad de agua**

Los indicadores físico-químicos proporcionaron un amplio panorama de la composición química del agua y sus características físicas, pero no ofrecen información sobre su impacto en los organismos acuáticos. Por otro lado, los métodos biológicos ofrecen este entendimiento pero no identifican las sustancias contaminantes ni su origen. Debido a esta limitación, muchos expertos sugirieron la combinación de ambas aproximaciones al evaluar el agua, para obtener una imagen más completa y precisa de su estado. (NE Samboni Ruiz, Y Carvajal Escobar, JC Escobar 2007)

### **2.2.5. Concreto permeable**

Según lo establecido en el ACI-522R, el concreto permeable es un material poroso de estructura abierta sin fluidez, compuesto por cemento Portland, agregado grueso, con pocos o nulos componentes finos, aditivos y agua. Al combinar estos elementos, se obtiene un material endurecido con poros interconectados que tienen un tamaño que oscila entre 2 y 8 mm, lo que permite el flujo de agua (ACI 522R, 2010)

El concreto permeable es un material de pavimentación con una variedad de beneficios ambientales, que ha sido ampliamente utilizado en la ciudad esponja. La rica estructura de poros conectados es la característica clave del hormigón permeable diferente del hormigón denso. Simultáneamente, la estructura de los poros juega un papel dominante en las propiedades macroscópicas. (Yu et al., pp. 2)

## **2.3. Marco Conceptual**

### **2.3.1. Concreto permeable**

En contraste con el concreto convencional de alta densidad, el concreto permeable está formado por un solo tamaño de agregado grueso que forma una estructura esquelética, resultando en la formación de una red de poros interconectados. Esto resulta en una porosidad que se encuentra en el rango del 15 % al 30 %. (Yu, et al., 2023)

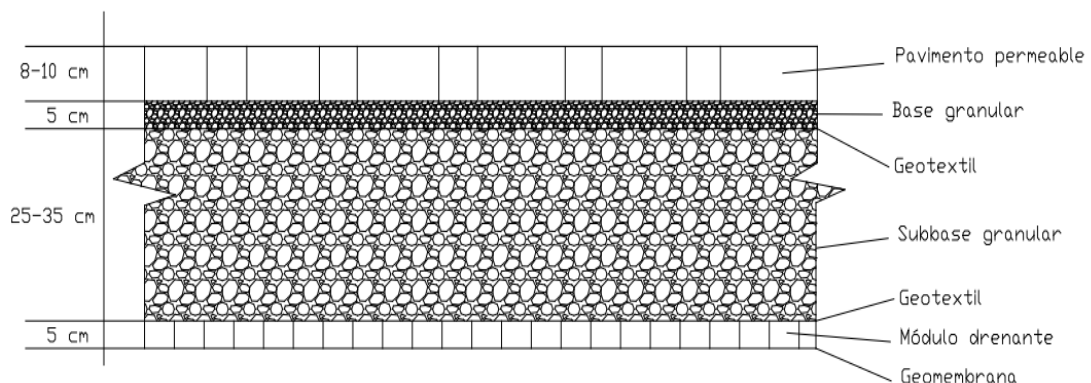
#### **a. Materiales que componen el concreto permeable**

El concreto permeable consiste en cemento, agregado grueso, agua, aditivos y poco o nada de agregado fino. Gracias a su composición, el hormigón se obtiene con huecos creados por la ausencia de árido fino y esto permite el paso del agua a través de sus poros. Al mismo tiempo, funciona como un filtro natural, ya que ayuda a atrapar los contaminantes sólidos, lo que permite recolectarlos fácilmente durante la limpieza y el mantenimiento (Bendezú Ulloa, José & Amoros Morote, Carlos).

Un conjunto de partículas inorgánicas, provenientes de fuentes naturales o fabricadas artificialmente, se denominan "agregados". Estas partículas tienen dimensiones que se encuentran dentro de los límites establecidos en la NTP 400.011, titulada "Definiciones y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos". Los agregados se dividen generalmente en dos categorías principales: finos y gruesos. Los agregados finos consisten en arenas de origen natural o manufacturas, cuyas partículas pueden alcanzar un tamaño de hasta 10 mm. Por otro lado, los agregados gruesos son aquellos cuyas partículas son retenidas en la malla No. 16 y pueden variar en tamaño hasta 152 mm. El tamaño más usado para el agregado grueso es de 19 mm o 25 mm.

## Figura 2

### Sección de firme permeable



*Nota.* Tomada de "Estudio, análisis y diseño de secciones permeables de firmes para vías urbanas con un comportamiento adecuado frente a la colmatación y con la capacidad portante necesaria para soportar tráficos ligeros", por Rodríguez Hernández. 2008, p. 78.

## b. Propiedades del concreto permeable



## **Porosidad**

La caracterización de la estructura porosa del concreto permeable se basa principalmente en la porosidad. La porosidad guarda una relación importante con las propiedades observables a simple vista del concreto permeable y estas propiedades serán exploradas en profundidad en secciones posteriores. (Yu, et al., 2023)

### Existen dos tipos de poro o huecos:

- Los huecos accesibles , también conocidos como abiertos, son aquellos que tienen una conexión con el entorno externo.
- Los huecos inaccesibles, también llamados cerrados, carecen de enlace con el exterior. Aunque los espacios inaccesibles reducen la densidad aparente, su falta de conexión con el entorno externo impide su detección.

## **Permeabilidad**

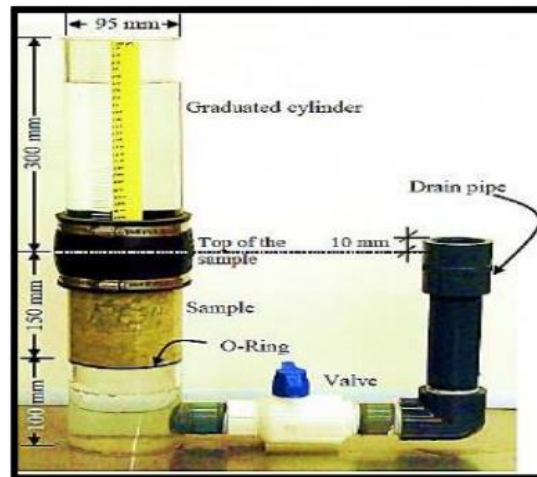
La característica más destacada del concreto permeable es su función de permitir el paso del agua a través de sus vacíos, y esta propiedad es bastante medida por la velocidad de filtración. La tasa de filtración del concreto permeable se encuentra directamente vinculada a la porosidad y el tamaño de los poros. (Tarifeño 2019). La propiedad que permite que un material sea atravesado por un fluido se denomina capacidad de filtración o porosidad. Es esencial destacar que, al llevar a cabo el proceso de filtración, la estructura interna del material se mantiene intacta y sin modificaciones con respecto a su forma original.

La permeabilidad del poroso concreto puede evaluarse mediante un permeámetro de caída simple, ilustrado en la figura 1 (Neithalath, 2004). En este esquema, se revisa la muestra con una película de látex para evitar el flujo lateral del agua. Se introduce agua en un cilindro graduado para ocupar tanto la celda del espécimen como el conducto de drenaje. Se acondiciona previamente la muestra, permitiendo que el agua drene a través del conducto hasta que el nivel en el cilindro graduado coincida con la parte superior del conducto de drenaje. Esto minimiza la acumulación de bolsas de aire en la muestra y garantiza su saturación total. Cerrando la válvula, el cilindro graduado se llena de agua y, al

abrir la válvula, se mide el tiempo en segundos (t) necesario para que el agua caiga desde una altura inicial (h1) hasta una altura final (h2).(LEÓN 2018)

## Figura 2

Permeámetro.



*Nota.* Tomada de “LEON POZO, Christian Angel Luis. Aplicación de concreto permeable como alternativa para reducir la escorrentía superficial en las vías del distrito El Tambo-Huancayo, 2018”, p. 26.

### Propiedades mecánicas o resistencia a la compresión

La capacidad de resistencia a la compresión está fuertemente influenciada por la proporción de los componentes en la mezcla y el nivel de compactación durante la instalación. Esta característica se ve impactada por diversos factores, incluyendo la relación agua/cemento y la cantidad de aire presente; a menor contenido de aire, mayor es la solidez, aunque esto puede dificultar la propiedad de permeabilidad (ACI 522R-10, 2010).

#### c. Aplicaciones del concreto permeable

El concreto permeable se ha utilizado en una amplia gama de aplicaciones, que incluyen:

- Pavimento permeable para estacionamientos
- Capas de drenaje rígidas en áreas exteriores del centro comercial
- Pisos de invernadero para mantener el piso libre de agua estancada
- Pavimentos, paredes y pisos donde se desean mejores características de absorción

- Acústica
- Caminos del condado, entradas para vehículos y aeropuertos
- Terraplenes de puente
- Cubiertas de la piscina
- Estructuras de playa y malecones
- Plantas de tratamiento de aguas residuales lodos
- Sistemas de almacenamiento de energía solar
- Revestimientos de pared para pozos de agua perforada

### **En su función**

Debe cumplir con las siguientes funciones (Sañudo Fontaneda, 2014)

- La capacidad de disminuir los caudales máximos de la escorrentía superficial producida por la lluvia, ya que ayuda a reducir los riesgos de inundación.
- Proporcionar la funcionalidad adecuada tanto para el paso de personas y/o animales como para el tráfico de vehículos.

### **2.3.2. Gestión de aguas pluviales**

Aborda todas las etapas del ciclo urbano del agua, incluyendo el abastecimiento de agua, las aguas residuales, las aguas pluviales, las aguas subterráneas, ediseño urbano y la protección del medio ambiente (Leonard, et al., 2019, pp. 500, primer párrafo).

Con la gestión de las aguas pluviales se pretende regular las inundaciones, expresadas en escorrentía y además mejorar la calidad del agua, dos cualidades o propiedades que es de interés evaluar en este estudio.

#### **a. Precipitaciones**

La precipitación se refiere a todas las formas de humedad que se originan en las nubes y alcanzan la superficie terrestre. Según esta descripción, la precipitación puede manifestarse como: lluvias, granizadas, garúas, nevadas.

Desde la perspectiva de la ingeniería hidrológica, la precipitación constituye la principal fuente de agua en la superficie del planeta. La recolección y evaluación

de datos relacionados con la precipitación marcan el comienzo de los análisis que se realizan en el ámbito de la gestión y regulación del agua.(VILLON 2011)

- Periodo de retorno

Se define como el intervalo de tiempo promedio en años, dentro del cual se puede producir un evento de una determinada magnitud "x", la cual puede igualar o superar el promedio al menos una vez (VILLÓN 2011)

- Curvas IDF

Se pueden describir como modelos de comportamiento de la lluvia observados en una región particular, obtenidos al conectar los puntos más característicos de la intensidad promedio durante intervalos de distintas longitudes. Todos estos intervalos comparten una misma frecuencia o período de recurrencia. En el gráfico, las duraciones se representan en el eje de las abscisas y las intensidades en el eje de las ordenadas. (MALDONADO, Julio Isaac, et al.,2006)

- Probabilidad

Se refiere a la chance de que un evento se vea influenciado o incluso de que no ocurra en absoluto. Esto se representa mediante fracciones o decimales que están en el espectro entre cero y uno. Una probabilidad de cero denota que algo nunca ocurrirá, mientras que una probabilidad de uno señala que algo sucederá invariablemente. (MALDONADO, Julio Isaac, et al.,2006)

- Método Gumbel

La distribución de Gumbel se emplea para calcular los valores más extremos de variables climáticas, incluyendo precipitaciones y caudales máximos. Esta es una de las técnicas más utilizadas para analizar las precipitaciones máximas en un período de 24 horas. (MALDONADO, Julio Isaac, et al.,2006)

## **2.4. Definición de términos básicos**

### **Pavimento permeable**

Los pavimentos se caracterizan por contar con una superficie de rodadura hechas de asfalto o concreto, los cuales no ofrecen la filtración del agua de lluvia, debido a que se derivan a una obra de arte de drenaje. Una alternativa para controlar la escorrentía por agua de lluvias es el concreto permeable.

### **Gestión de aguas pluviales**

La gestión de aguas pluviales se refiere a la gestión de la calidad y la cantidad de agua (Borgaonkar, 2021)

Los sistemas de gestión de aguas pluviales juegan un papel crucial en el mantenimiento del saneamiento y la habitabilidad en un entorno urbano, ya que elimina de manera eficiente el exceso de agua de los centros de población (Soh et al., 2020, pp. 547) . La cual tiene como objetivo utilizar el agua de escorrentía después de su recolección y tratamiento. La escasez de agua en áreas semiáridas se puede aliviar capturando y utilizando la escorrentía de aguas pluviales urbanas. Por lo tanto, las aguas pluviales se pueden utilizar como fuente de agua ( Luthy et al., 2019 ). (citado en Varma, 2022, ítem 3).

### **Inundaciones de Aguas Pluviales**

La inundación pluvial urbana (UPF) se refiere a la inundación que resulta del encharcamiento y el flujo superficial intensos generados por lluvias, antes de que la escorrentía ingrese al sistema de drenaje, o bien porque la red de drenaje de aguas pluviales alcanza su máxima capacidad para que la escorrentía no pueda seguir ingresando (Falconer et al. ., 2009 ) (Citado en: Azizi, et al., 2022, pp. 1).

### **Calidad del agua**

Se refiere a las características físicas, químicas, biológicas y radiológicas del agua, además es un factor que incide directamente en la salud de los ecosistemas y el bienestar humano. De ella depende la biodiversidad, las actividades económicas y la calidad de los alimentos. (Emerson Pérez, et al.,2019 )

**Escorrentía de aguas superficiales:** La escorrentía de aguas pluviales es una de las fuentes de contaminación de más rápido crecimiento. Cuando la lluvia golpea: los techos, los estacionamientos, las carreteras en lugar de los humedales, bosques y pastizales, se tiende a correr hacia los desagües pluviales que están directamente conectados a nuestras vías fluviales. Los humedales y otros recursos naturales pueden retener el exceso de agua, filtrar los sedimentos, los contaminantes antes de que lleguen a las vías fluviales y, al mismo tiempo, ayudar a recargar las aguas subterráneas (PATERSON Y HAUGHT, 2021).

**Sólidos totales:** Se definen como la sustancia que permanece como remanente tras someter el agua a un proceso de evaporación a temperaturas encontradas entre 103 y 105 °C. Esta cantidad equivale a la suma de los sólidos orgánicos e inorgánicos, o bien, a la combinación de los sólidos suspendidos y los sólidos disueltos. (VALERIANO, 2023)

**DBO:** Indica la cantidad en miligramos de oxígeno disuelto que utilizan las bacterias para descomponer la materia orgánica presente en un litro de agua. Es una medida cuantitativa de la contaminación del agua por materia orgánica. (OPS/OMS, 2012). La contaminación de las aguas en la superficie es consecuencia de diversas actividades humanas, incluyendo las industriales, comerciales y el aumento en la población. El oxígeno desempeña un papel esencial en la detección de la materia orgánica, mientras que la proliferación de bacterias y hongos está relacionada con una concentración elevada de materia orgánica. La expansión de la vida acuática, tanto fauna como flora, se ve influida por el consumo de oxígeno en los procesos de oxidación de la materia orgánica. Este fenómeno provoca alteraciones en el ecosistema a medida que la calidad del agua se modifica, lo que se traduce en un aumento del pH y la disminución de peces y plantas. (VALERIANO, 2023)

**Turbidez:** La opacidad en el agua potable puede originarse debido a un tratamiento insuficiente en la planta de tratamiento de agua potable, ya que las partículas sedimentarias han vuelto a suspenderse en el sistema de distribución. Los niveles elevados de opacidad pueden brindar protección a los microorganismos contra los efectos de los procesos de eliminación, estimular la

multiplicación de bacterias y aumentar la necesidad de cloración. En numerosas ocasiones, no se logra eliminar adecuadamente los patógenos y las bacterias fecales, los cuales se mantienen unidos o absorbidos por las partículas en suspensión. (MARCO, 2004)

### III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. Hipótesis

##### *Hipótesis General*

La aplicación del concreto permeable como pavimento permite la adecuada gestión de aguas pluviales a nivel piloto.

##### *Hipótesis específicas*

**H1:** La norma ACI 522R permite el diseño del concreto permeable a diferentes porcentajes de vacío, permeabilidad y resistencias a la compresión.

**H2:** La escorrentía superficial es reducida en un gran porcentaje mediante la aplicación del concreto permeable como pavimento.

**H3:** La calidad del agua es mejorada después de su infiltración en el concreto permeable como pavimento.

### 3.1.1. Operacionalización de variables

**Tabla 1**

*Matriz de operacionalización de Variables*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicador	Unidades	Técnica	Instrumento
V. INDEPENDIENTE: Concreto permeable	El concreto permeable es un material de pavimentación con una variedad de beneficios ambientales. La rica <b>estructura de poros</b> conectados es la característica clave del hormigón permeable diferente del hormigón denso. Simultáneamente, la estructura de los poros juega un papel dominante en las <b>propiedades macroscópicas</b> , como la permeabilidad y la resistencia a la compresión. (Yu et al., 2023, pp. 2).	La estructura porosa de concreto permeable regula las propiedades macroscópicas del mismo, es así que el aumento de la porosidad mejora directamente la permeabilidad del concreto reduce su resistencia.	Estructura de poro	Porosidad	%	ASTM C522R	Medidor de porosidad
			Propiedades macroscópicas	Permeabilidad	cm/h	Técnica: Observacional	Permeámetro
				Resistencia a la compresión	psi	ASTM C 39	Prensa
V. DEPENDIENTE Gestión de aguas pluviales	La gestión de aguas pluviales se refiere a la gestión de la <b>calidad</b> y la <b>cantidad</b> de agua (Borgaonkar y Marhaba 2021).	La gestión de aguas pluviales se mide mediante las inundaciones pluviales urbanas considerando la escorrentía superficial los cuales se pueden medir mediante el permeámetro que nos indica el flujo volumétrico en l/h	Inundaciones de aguas pluviales	Reducción de la escorrentía	%	Observacional	Permeámetro
			Calidad del agua	Sólidos totales suspendidos	mg/L	SM 2540 C. Solids. Total Dissolved	Conductímetro
				DBO	mg/L	SM 5210 B. Biochemical Oxygen Demand	Electrodo
				Turbidez	NTU	Método instrumental	Turbidímetro



## **IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO**

### **4.1. Diseño metodológico**

#### **Tipo de Investigación**

El tipo de investigación es aplicada y cuantitativa. Según Ñaupas et al. (2014), la investigación es aplicable cuando nos orienta a mejorar, perfeccionar u optimizar el funcionamiento de los sistemas, procesos, estándares y reglas tecnológicas existentes con base en los avances de la ciencia y la tecnología. Este estudio pretende aportar soluciones al problema de conservación y manejo racional del agua, regulación de caudales y remoción de contaminantes del agua mediante la aplicación de concreto permeable.

#### **Diseño de Investigación**

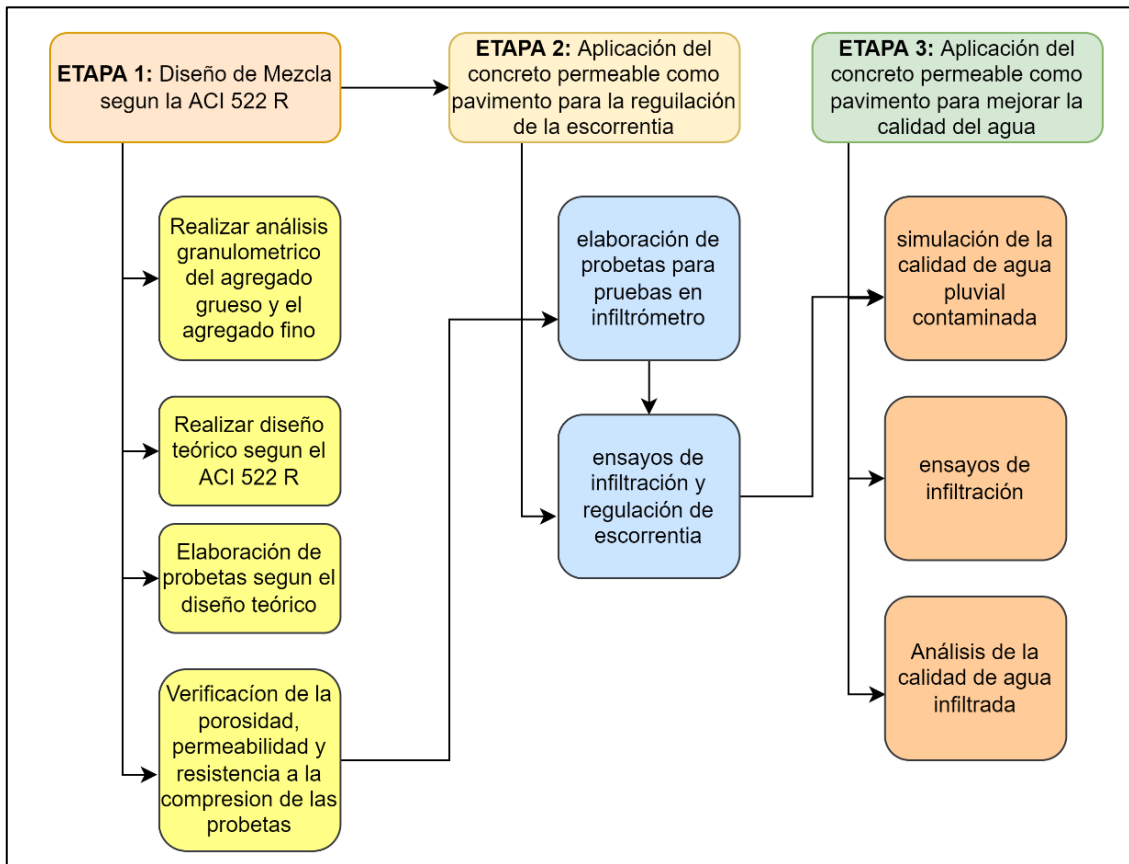
El diseño del estudio realizado es de tipo experimental ya que según Ñaupas et al. (2014) para que una investigación sea experimental debe contar con tres elementos científicos que la caractericen, los cuales son controlar, manipular y observar. Se pretendió evaluar cómo la manipulación de la variable independiente (hormigón permeable) afecta a la variable dependiente (caudal y calidad del agua).

### **4.2. Método de investigación**

El método de investigación se define según Abreu, (2014), como un conjunto de pasos, tareas, procedimientos y técnicas que deben utilizarse de manera coordinada para desarrollar integralmente el proceso de investigación. Para lograr esto; la investigación seguirá diferentes fases incluyendo diferentes etapas, como se puede ver en el siguiente diagrama:

**Figura 3**

*Fases o etapas de la investigación*



A continuación, se describe a detalle cada fase o etapas llevadas a cabo para la ejecución de la investigación.

**Etapa 1: Diseño de mezcla según el ACI 522 R**

Esta etapa tiene como finalidad establecer el diseño teórico de la mezcla de AG, AF, cemento, agua y aditivos. Para ello se hace uso del informe sobre el Hormigón permeable reportado por el comité ACI 522 R.

***Análisis granulométrico***

Antes de proceder a determinar el tamaño teórico de la mezcla, se debe realizar un análisis granulométrico de Agregado fino y Agregado grueso. En la tabla 2 se muestran los parámetros determinados durante el análisis granulométrico del material, el cual se realizará en un laboratorio de materiales externo,

adicionalmente a ello los agregados procederán de la cantera Huácar de la ciudad de Huánuco.

**Tabla 2**

*Parámetros a considerar en el análisis granulométrico del AG y AF*

<b>Parámetro</b>	<b>Método de análisis</b>
Ensayo de peso específico del agregado grueso	NTP 400.021
Ensayo de peso específico del agregado fino	NTP 400.022
Peso unitario seco suelto del agregado grueso	NTP 400.017
Peso unitario seco suelto del agregado fino	NTP 400.017
Peso unitario seco compacto del agregado grueso	NTP 400.017
Peso unitario seco compacto del agregado fino	NTP 400.017
Ensayo de absorción del agregado grueso	NTP 400.021
Ensayo de absorción del agregado fino	NTP 400.022
Ensayo de humedad del agregado grueso	NTP 339.185
Ensayo de humedad del agregado fino	NTP 339.185
Análisis granulométrico del agregado grueso	NTP 400.012
Análisis granulométrico del agregado fino	NTP 400.012

*Nota: Norma Técnica Peruana para Agregados, 2002*

**Diseño teórico de mezcla según el ACI 522 R**

Del análisis granulométrico anterior se utilizará los siguientes datos del AG y AF, según la tabla 3:

**Tabla 3**

*Características del AG y AF para el diseño de mezcla*

Material	Tamaño (pulg)	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción %	Humedad
----------	---------------	--------------------------------------	---	-------------	---------

*Nota: Elaboración propia*

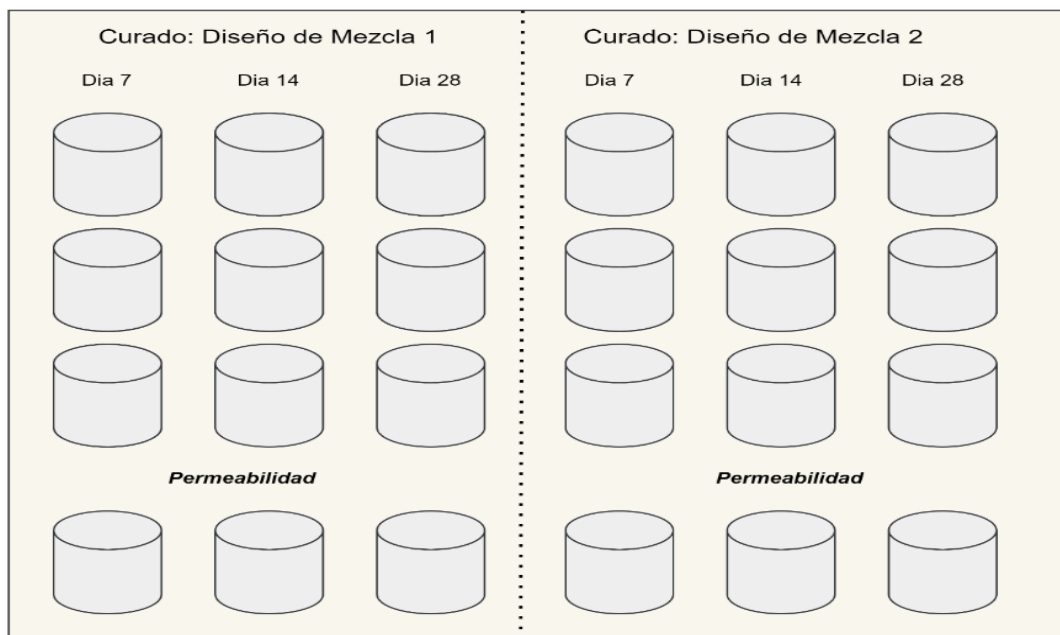
Se consideró para el diseño de mezcla las características del cemento como tipo, densidad (Kg/m<sup>3</sup>) del agua y el aditivo a utilizarse.

Luego de obtenerse estos datos, se procedió a establecer la resistencia a compresión para el diseño de mezcla. En este caso, la RC seleccionada es de 210 Kg/cm<sup>2</sup>. De igual forma dependiendo de la resistencia elegida se estableció un porcentaje de vacíos, es decir 2 porcentajes que permitió desarrollar dos diseños compuestos según el método de la guía ACI 533 R. Finalmente este método brinda las cantidades y volúmenes de los constituyentes (AG, AF, cemento, agua y aditivos) de la mezcla en cada diseño para lograr la RC requerida y la relación de vacíos.

### ***Elaboración de probetas***

**Figura 4**

*Distribución de probetas y etapas de curado.*



### **Etapa 2: Aplicación del concreto permeable como pavimento para la regulación de la escorrentía**

Esta etapa tuvo como finalidad evaluar la aplicación del concreto permeable como pavimento para reducir la escorrentía superficial.

#### ***a. Evaluación de la permeabilidad***

Para la evaluar la permeabilidad del concreto poroso, se elaboró un permeámetro de carga variable, ideal para determinar la capacidad de infiltración en superficies poco o moderadamente porosas, ver Figura 5.

**Figura 5**

*Permeámetro de carga variable*



La ecuación utilizada para determinar la permeabilidad, fue la siguiente:

$$K = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \times \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Donde:

L: Longitud de la probeta (cm).

a: área de la sección transversal de la probeta (cm<sup>2</sup>).

A: área de la tubería de carga (cm<sup>2</sup>).

H<sub>2</sub>: Altura de salida de tubería a la parte superior de la muestra

H<sub>1</sub>: Altura de agua desde la parte superior de la muestra

**b. Determinación de la escorrentía superficial**

Según Sañudo Fontaneda, (2014), las curvas IDF, es un método preciso para la estimación de intensidades de lluvia causante de los caudales máximos de la escorrentía superficial. Así mismo, según este autor el uso de las curvas IDF reduce las probabilidades de escoger una intensidad estándar que no sea la ideal para la zona de estudio.

A continuación, se establecen los siguientes pasos que se siguió para elaborar las curvas IDF.

- **Elección de la zona de estudio:** se seleccionó la ciudad de Huánuco como representativa de la zona centro del Perú, debido a que se cuenta con datos de precipitación de la estación meteorológica del mismo nombre.
- **Descarga de las precipitaciones diarias:** se descargó las precipitaciones diarias registradas en un periodo comprendido desde el 01/01/1981 a 31/12/2016.
- Elección de las precipitaciones máximas anuales
- Determinación de las precipitaciones máximas por diferentes periodos de retorno: para ello se hará uso de la distribución de Gumbel.
- Elaboración de las curvas IDF
- Elección de la intensidad de lluvia con una duración de 15 minutos y periodo de retorno de 100 años: estos datos nos ayudaron a determinar la escorrentía a utilizarse para compararlos con la capacidad de infiltración del concreto permeable.
- **Comparación entre la capacidad de infiltración y la escorrentía superficial generada**

Se determinó la capacidad de infiltración (caudal de infiltración) en función de la permeabilidad, este caudal se comparó con el caudal de escorrentía generada por una intensidad de lluvia de una duración de 15 minutos y un periodo de retorno de 100 años.

### **Etapa 3: Aplicación del concreto permeable como pavimento para mejorar la calidad del agua**

La etapa estuvo destinada a mejorar la calidad de la escorrentía contaminada a través de la infiltración en un pavimento de hormigón poroso.

#### ***Simulación de la calidad de agua pluvial contaminada***

En esta etapa se contaminó el agua con el asfalto convencional, con el fin de simular una escorrentía contaminada. Luego esta agua fue caracterizada en

función de parámetros fisicoquímicos como sólidos totales suspendidos, turbidez y DBO.

### ***Ensayos de infiltración***

Con el agua contaminada se realizó los ensayos de infiltración para evaluar la reducción de la escorrentía, para ello se usó el permeámetro y luego se evaluó la calidad de aguas en función de los parámetros fisicoquímicos ya mencionado en el apartado anterior. Una vez obtenidos estos resultados se calcula el porcentaje de remoción de los contaminantes luego de haberse producido la infiltración.

## **4.2 Población y muestra**

### ***4.2.1 Población***

La población está conformada por las aguas pluviales urbanas que precipitan en las principales ciudades del Perú.

### ***4.2.2 Muestra***

La muestra está conformada por 40 litros aguas pluviales urbanas que precipitan en las principales ciudades del Perú, usándose el muestreo no probabilístico por conveniencia.

## **4.3 Lugar de estudio y periodo de desarrollo**

El lugar donde se realizó la parte experimental fue en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao. Los análisis granulométricos de los agregados se realizaron en laboratorios externos. Los análisis fisicoquímicos se realizaron en laboratorios externos acreditados.

## **4.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.**

### ***4.4.1 Técnica***

La técnica de recolección de datos fue la observación ya que a través de los instrumentos usados se observó el valor de los resultados o información primaria obtenidos en la medición de la tasa de infiltración, escorrentía residual y la calidad de aguas.

#### 4.4.2 Instrumentos de medición

El instrumento que se usó para poder medir las variables dependientes o de respuesta (tasa de infiltración y escorrentía residual) es el permeámetro de carga variable. Igualmente, se utilizaron las siguientes fichas de recolección de datos:

**Tabla 4**

*Fichas de recolección de datos*

Ficha de recolección de datos	Descripción
Ficha para recopilar datos del análisis granulométrico	Esta ficha fue para recopilar los parámetros para el análisis granulométrico (Ver Anexo III). Esta ficha tiene como función
Ficha para recopilar datos de resistencia a la compresión y porosidad	recopilar los datos de RC de las probetas cilíndricas en cada etapa de curado, así como registrar el porcentaje de vacío de cada diseño de mezcla (Ver Anexo IV).
Ficha de para recopilar datos sobre la escorrentía residual y calidad de aguas	Ficha que registra el volumen de la escorrentía decepcionada en los ensayos de infiltración, así como los parámetros de calidad de agua antes y después de la prueba de infiltración

*Nota: Elaboración propia*

#### 4.5 Análisis y procedimientos de datos

Se utilizó la estadística descriptiva para el análisis granulométrico, datos de validación de la resistencia a la compresión, permeabilidad y porcentaje de vacíos con la ayuda del M.S. Excel.

Por otro lado, para determinar diferencias de escorrentía y de parámetros de calidad de aguas evaluados se utilizó la estadística inferencial, como la prueba



T de Student para hallar diferencias antes y después de la infiltración, todo ello con ayuda del software estadístico SPSS versión 26.

## V. RESULTADOS

### 5.1 Resultados descriptivos

#### 5.1.1 Resultados del diseño de concreto permeable

**Agregado grueso:** Se utilizó un tipo de agregado para el diseño de mezcla, este tuvo un diámetro de  $\frac{3}{4}$ ". En la Tabla 5 se muestra los resultados el análisis granulométrico de los agregados.

**Tabla 5**

*Análisis Granulométrico del Agregado Grueso TMN:  $\frac{3}{4}$ "*

Tamiz N°	Tamiz (mm)	Peso retenido	Retenido (%)	Retenido acum. (%)	Pasa (%)
4"	101.6	0	0	0	100
3 $\frac{1}{2}$ "	88.9	0	0	0	100
3"	76.2	0	0	0	100
2 $\frac{1}{2}$ "	63.5	0	0	0	100
2"	50.8	0	0	0	100
1 $\frac{1}{2}$ "	38.1	0	0	0	100
1"	25.4	0	0	0	100
$\frac{3}{4}$ "	19.05	0	0	0	100
$\frac{1}{2}$ "	12.7	1219.2	59.01	59.01	40.99
$\frac{3}{8}$ "	9.53	545.4	26.4	85.4	14.6
N°4	4.76	267.3	12.94	98.34	1.66
N°8	2.36	2.9	0.14	98.48	1.52
N°16	1.18	1	0.05	98.53	1.47
N°30	0.59	7	0.34	98.87	1.13
N°50	0.3	4.2	0.2	99.07	0.93
N°100	0.15	8.2	0.4	99.47	0.53
N°200	0.07	10.4	0.5	99.97	0.03
CAZOLETA	0	0.6	0.03	100	0
<b>TOTAL 2066.20</b>					

*Nota:* Resultados de granulometría de laboratorio

Luego de realizarse la prueba de granulometría se procedió a realizar diferentes ensayos a los agregados para determinar sus propiedades y verificar que cumplan con los requerimientos. En las tablas 6, 7, 8, 9 y 10 se muestran las propiedades del agregado del TMN  $\frac{3}{4}$ ", tales como peso unitario suelto, peso unitario compactado, contenido de humedad, % de absorción y peso específico respectivamente.

**Tabla 6***Peso Unitario Suelto Agregado Grueso TMN ¾"*

<b>Muestra</b>		<b>M - 1</b>	<b>M - 2</b>	<b>M - 3</b>	<b>M - 4</b>
Peso seco del agregado + recipiente	gr	14798.0	14924.0	14753.0	14818.0
Peso del recipiente	gr.	2243.0	2243.0	2243.0	2243.0
Volumen de recipiente	cm <sup>3</sup>	9313.0	9313.0	9313.0	9313.0
Peso del Agregado Fino	gr	12555	12681	12510	12575
Peso unitario suelto seco	kg/m <sup>3</sup>	1348.12	1361.65	1343.28	1350.26
<b>Peso Unitario Seco Suelto del agregado grueso = 1350.83 kg/m<sup>3</sup></b>					

*Nota:* Resultados de granulometría de laboratorio**Tabla 7***Peso Unitario Compactado Agregado Grueso TMN ¾"*

<b>Muestra</b>		<b>M - 1</b>	<b>M - 2</b>	<b>M - 3</b>	<b>M - 4</b>
Peso seco del agregado + recipiente	gr	16229.0	16314.0	16395.0	16321.0
Peso del recipiente	gr	2243.0	2243.0	2243.0	2243.0
Volumen de recipiente	cm <sup>3</sup>	9313.0	9313.0	9313.0	9313.0
Peso del Agregado Fino	gr.	13986	14071	14152	14078
Peso unitario suelto seco	kg/m <sup>3</sup>	1501.77	1510.90	1519.60	1511.65
<b>Peso Unitario Seco Compacto del agregado grueso = 1510.98 kg/m<sup>3</sup></b>					

*Nota:* Resultados de granulometría de laboratorio**Tabla 8***Contenido de humedad Agregado Grueso TMN ¾"*

<b>Muestra</b>		<b>M - 1</b>	<b>M - 2</b>
Peso húmedo + recipiente	gr.	194.4	177.5
Peso seco + recipiente	gr.	194.0	177.1
Peso del recipiente	gr.	39.4	37.9
Peso del Agua	gr.	0.40	0.40
Peso de los sólidos	gr.	154.60	139.20
Humedad	%	0.26%	0.29%
<b>Humedad del agregado grueso = 0.27%</b>			

*Nota:* Resultados de granulometría de laboratorio

**Tabla 9***Absorción del Agregado Grueso TMN ¾"*

<b>Muestra</b>		<b>M - 1</b>	<b>M - 2</b>	<b>M - 3</b>	<b>M - 4</b>
Peso húmedo + gr. recipiente		232.8	241.9	251.3	232.0
Peso seco + gr. recipiente		230.5	239.0	248.0	229.5
Peso del recipiente	gr.	39.4	39.2	39.2	37.9
Peso del Agua	gr.	2.30	2.90	3.30	2.50
Peso de los sólidos	gr.	191.10	199.80	208.80	191.60
Absorción	%	1.20%	1.45%	1.58%	1.30%

**Absorción del agregado grueso = 1.39%***Nota:* Resultados de granulometría de laboratorio**Tabla 10***Ensayo de peso específico del agregado grueso- NTP 400.021*

<b>Muestra</b>	<b>Uni</b>	<b>M - 1</b>	<b>M - 2</b>	<b>M - 3</b>	<b>M - 4</b>
Peso de Matraz + Agregado	gr	748.7	673.2	751.7	646.4
Peso de Matraz + Agregado + Agua	gr	1102.1	1056.0	1105.0	1037.6
Peso de Matraz	gr	365.2	365.2	365.2	365.2
Volumen de Matraz	cm <sup>3</sup>	500	500	500	500
Peso Específico del agua	cm <sup>3</sup>	1.00	1.00	1.00	1.00
Peso del Agregado	gr	383.50	308.00	386.50	281.20
Peso del Agua	gr	353.40	382.80	353.30	391.20
Volumen del agua	cm <sup>3</sup>	353.40	382.80	353.30	391.20
Volumen del Agregado	cm <sup>3</sup>	146.60	117.20	146.70	108.80
Peso Especifico	gr/cm <sup>3</sup>	2.62	2.63	2.63	2.58

**Peso Específico del agregado grueso = 2.62 gr/cm<sup>3</sup>***Nota:* Resultados de granulometría de laboratorio

**Agregado fino:** el tipo de agregado fino utilizado fue arena gruesa, la cual fue sometido al análisis granulométrico. Dichos resultados se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 11***Análisis Granulométrico del Agregado Fino*

TAMIZ N°	Tamiz (mm)	Peso Retenido	Retenido (%)	Retenido acum (%)	Pasa (%)
4"	101.6	0	0	0	100
3 ½"	88-90	0	0	0	100
3"	76.2	0	0	0	100
2 ½"	63.5	0	0	0	100
2"	50.8	0	0	0	100
1 ½"	38.1	0	0	0	100
1"	25.4	0	0	0	100
¾"	19.05	0	0	0	100
½"	12.7	0	0	0	100
¾"	19.05	0	0	0	100
½"	12.7	0	0	0	100
3/8"	9.53	0	0	0	100
N°4	4.76	14.5	0.76	0.76	99.24
N°8	2.36	353	18.6	19.36	80.64
N°16	1.18	429.6	22.63	41.99	58.01
N°30	0.59	338	17.81	59.8	40.2
N°50	0.3	369	19.44	79.23	20.77
N°100	0.15	128	6.74	85.98	14.02
N°200	0.07	28.2	1.49	87.46	12.54
Cazoleta	0	238	12.54	100	0
<b>TOTAL</b>			<b>1898.3</b>		

Nota: Resultados de granulometría de laboratorio

Luego, en las tablas 12, 13, 14, 15 y 16 se muestran las propiedades del agregado fino, tales como peso unitario suelto, peso unitario compactado, contenido de humedad, porcentaje de absorción y peso específico.

**Tabla 12***Peso Unitario Suelto Agregado Fino*

MUESTRA		M - 1	M - 2	M - 3	M - 4
Peso seco del agregado + recipiente	gr.	5042.0	5015.0	5060.0	5012.0
Peso del recipiente	gr.	1150.0	1150.0	1150.0	1150.0
Volumen de recipiente	cm <sup>3</sup> .	2633.1	2633.1	2633.1	2633.1
Peso del Agregado Fino	gr.	3892	3865	3910	3862
Peso unitario suelto seco	kg/m <sup>3</sup> .	1478.13	1467.88	1484.97	1466.74
<b>Peso unitario Seco Suelto del Agregado Fino = 1474.43 kg/m<sup>3</sup></b>					

Nota: Resultados de granulometría de laboratorio

**Tabla 13***Peso Unitario Seco Compacto Del Agregado Fino - NTP 400.017*

<b>Muestra</b>		<b>M - 1</b>	<b>M - 2</b>	<b>M - 3</b>	<b>M - 4</b>
Peso seco del agregado + recipiente	gr	5703.0	5602.0	5666.0	5787.0
Peso del recipiente	gr	1150.0	1150.0	1150.0	1150.0
Volumen de recipiente	cm <sup>3</sup>	2633.1	2633.1	2633.1	2633.1
Peso del Agregado Fino	gr	4553	4452	4516	4637
Peso unitario suelto seco	kg/m <sup>3</sup>	1729.17	1690.81	1715.12	1761.08
<b>Peso Unitario Seco Compacto del agregado fino = 1724.05 kg/m3</b>					

*Nota:* Resultados de granulometría de laboratorio**Tabla 14***Ensayo De Humedad Del Agregado Grueso - NTP 339.185*

<b>Muestra</b>		<b>M - 1</b>	<b>M - 2</b>
Peso húmedo + recipiente	gr.	172.5	151.8
Peso seco + recipiente	gr.	164.5	145.0
Peso del recipiente	gr.	58.4	58.7
Peso del Agua	gr.	8.00	6.80
Peso de los sólidos	gr.	106.10	86.30
Humedad	%	7.54%	7.88%
<b>Humedad del agregado grueso = 0.27%</b>			

*Nota:* Resultados de granulometría de laboratorio**Tabla 15***Ensayo De Absorción Del Agregado Fino - NTP 400.022*

<b>Muestra</b>		<b>M - 1</b>	<b>M - 2</b>	<b>M - 3</b>	<b>M - 4</b>
Peso húmedo + recipiente	gr	171.4	169.8	187.1	186.8
Peso seco + recipiente	gr	167.7	166.1	183.1	182.1
Peso del recipiente	gr	58.4	58.7	58.2	58.3
Peso del Agua	gr	3.70	3.70	4.00	4.70
Peso de los sólidos	gr	109.30	107.40	124.90	123.80
Absorción	%	3.39%	3.45%	3.20%	3.80%
<b>Absorción del agregado fino = 3.46%</b>					

*Nota:* Resultados de laboratorio

**Tabla 16***Ensayo De Peso Específico Del Agregado Fino*

<b>Muestra</b>		<b>M - 1</b>	<b>M - 2</b>	<b>M - 3</b>	<b>M - 4</b>
Peso de Matraz + Agregado	gr	532.1	472.3	484.9	585.0
Peso de Matraz + Agregado + Agua	gr	1074.9	1033.1	1042.4	1094.3
Peso de Matraz	gr	78.3	78.3	78.3	78.3
Volumen de Matraz	cm <sup>3</sup>	750	750	750	750
Peso Específico del agua	cm <sup>3</sup>	1.00	1.00	1.00	1.00
Peso del Agregado	gr	453.80	394.00	406.60	506.70
Peso del Agua	gr	542.80	560.80	557.50	509.30
Volumen del agua	cm <sup>3</sup>	542.80	560.80	557.50	509.30
Volumen del Agregado	cm <sup>3</sup>	207.20	189.20	192.50	240.70
Peso Especifico	gr/cm <sup>3</sup>	2.19	2.08	2.11	2.11
<b>Peso específico del agregado grueso= 2.12gr/cm3</b>					

*Nota:* Resultados de granulometría de laboratorio

Una vez obtenidos los datos del análisis granulométrico y ensayos para determinar las propiedades físicas del AG y AF, se procedió a establecer el diseño de mezcla teórico haciéndose uso de la metodología ACI 522R.

**A. Diseño de Mezcla N°1**

Este diseño estuvo caracterizado por no tener agregado fino, es decir un 0% AF, por lo cual se tuvo en cuenta solo las propiedades del AG, tal y como se muestra en la Tabla 17.

**Tabla 17***Características del AG para el Diseño de Mezcla N°1*

<b>Material</b>	<b>Tamaño (pulg)</b>	<b>peso específico (kg/m3)</b>	<b>peso unitario compactado (kg/m3)</b>	<b>absorción %</b>	<b>humedad</b>
AG	3/4"	2620	1510.98	1.39	0.27

*Nota:* Resultados de laboratorio

Por otro lado, en las siguientes tablas se muestran las características de los otros componentes de la mezcla como el cemento y agua.

**Tabla 18**

*Características del cemento para el diseño de mezcla N°1*

<b>Características del cemento para el diseño de mezcla N°1</b>			
<b>Material</b>	<b>Marca</b>	<b>Tipo</b>	<b>Densidad (Kg/m3)</b>
cemento	sol	I	3180

*Nota.* Datos comerciales del cemento

**Tabla 19**

*Características del agua*

<b>Material</b>	<b>Densidad (Kg/m3)</b>
Agua	1000

*Nota.* valores referenciales del agua de grifo

Asimismo, según la norma ACI 522r, se definió la resistencia a la compresión de diseño, tal y como se muestra en la Tabla 20.

**Tabla 20**

*Parámetro inicial para el diseño de mezcla N°1*

<b>Resistencia especificada de diseño (fc)(kg/cm2)</b>
175

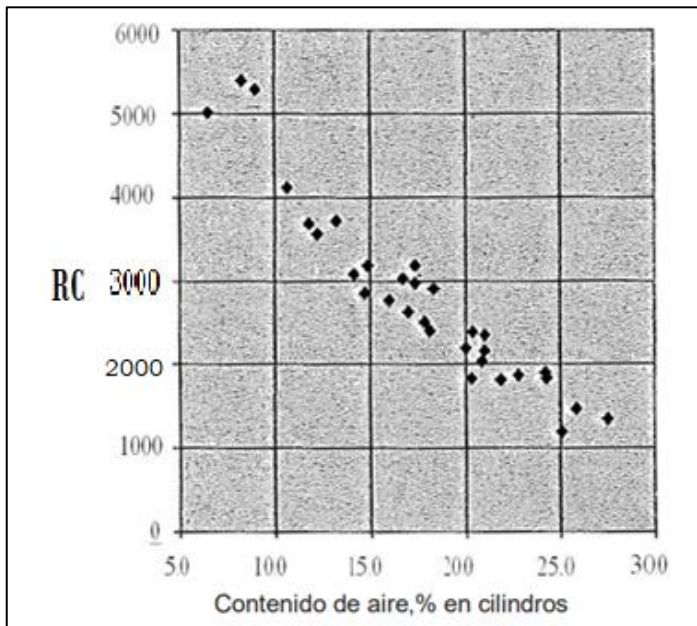
*Nota.* Tomado de referencia del ACI 522r

Una vez establecido la RC con la que diseñará los concretos permeables, se define el porcentaje de vacío asociado a dicha RC. En la siguiente figura se establece la relación entre la resistencia a la compresión y los porcentajes de vacío del concreto poroso.



**Figura 6**

*Relación de la RC vs el contenido de vacíos*

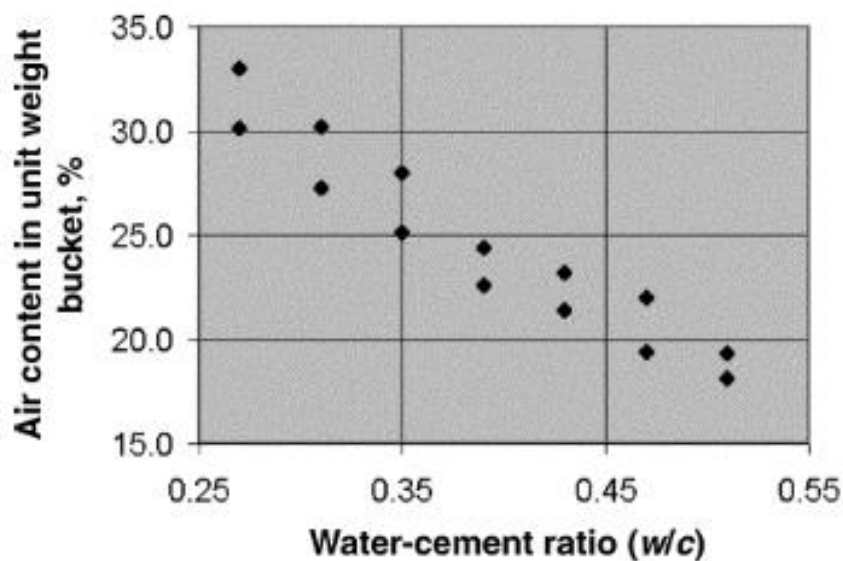


*Nota.* Tomado de “ACI 522, Reporte de Concreto Permeable” ACI 522R-06. Capítulo 4

Según la figura anterior para poder llegar a la resistencia a la compresión requerida en el diseño (175 kg/cm<sup>2</sup> aprox. 2500 psi), se tuvo que trabajar con una mezcla que considere un rango de vacío de entre el 15 y 20%.

**Figura 7**

*Relación del contenido de vacíos vs relación agua – cemento (w/c)*



*Nota.* Tomado de “ACI 522, Reporte de Concreto Permeable” ACI 522R-06. Capítulo 4

Asimismo, y según la figura anterior para obtener porcentajes de vacíos de entre 15 y 20% se tiene que trabajar con relaciones de agua y cemento (w/c) de entre 0.4 y 0.45. Para el diseño materia de esta investigación se utilizó una relación agua-cemento de 0.4, para poder así llegar a la resistencia necesaria, y lograr un porcentaje de vacíos aceptable, del cual se espera obtener un 17%.

**a. Volumen y cantidad de los materiales por metro cubico de concreto**

A continuación, se presentan las ecuaciones requeridas para e cálculo de volúmenes y pesos de los componentes de la mezcla del concreto permeable, basada en la norma ACI 522R.

$$V_P = V_C + V_A \quad (2)$$

Donde:  $V_P$ : volumen de pasta;  $V_C$ , volumen de cemento y  $V_A$ : volumen del agua

Asimismo, se conoce que volumen es igual a masa sobre densidad, por lo cual se reformula la expresión anterior.

$$V_P = \frac{\text{Masa de cemento}}{\text{Densidad del cemento}} + \frac{\text{Masa del agua}}{\text{Densidad del agua}} \quad (3)$$

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

$$W = \left(\frac{W}{C}\right) \times C \quad (4)$$

Se obtiene lo siguiente:

$$V_P = \frac{C}{\text{Densidad del cemento}} + \frac{\left(\frac{W}{C}\right) \times C}{\text{Densidad del agua}} \quad (5)$$

Además, se sabe que:

$$V_P = 1 - (V_{AG} + \% \text{ vacios} + \% \text{ aditivos}) \quad (6)$$

Entonces, una vez conocido el dato del peso volumétrico compactado del agregado grueso, se procede a elegir el coeficiente b/b0 (Tabla 21), el cual es

resultante de la división del peso seco del agregado grueso entre el peso unitario seco y compactado del agregado grueso expresado en kg/m<sup>3</sup> (ACI 211.3, 2002).

**Tabla 21**

*Coefficiente b/b<sub>0</sub>*

		<b>b/b<sub>0</sub></b>	
<b>Porcentaje fino</b>	<b>agregado</b>	<b>ASTM C 33 Tamaño N° 8</b>	<b>ASTM C 33 Tamaño N°67</b>
0		0.99	0.99
10		0.93	0.93

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

El valor b/b<sub>0</sub> es de 0.99, debido a que en el presente caso se utilizó un agregado grueso de 3/4" y no se incluyó agregado fino, entonces para obtener el valor de la masa del agregado grueso se debe multiplicar el valor del peso unitario seco compactado por el b/b<sub>0</sub> y por uno más el porcentaje de absorción de la grava.

$$M_{AG} = PUCS \times \frac{b}{b_0} \times (1 + \% \text{ absorción}) \quad (7)$$

Dónde: MA: masa del AG y PUCS: peso unitario compactado seco.

Resolviendo la expresión anterior, se obtiene la masa del agregado para poder realizar la mezcla para 1 m<sup>3</sup> de concreto.

Masa Agregado grueso= 1516.662796 kg

Posteriormente para determinar el volumen del AG, se divide la masa sobre la densidad del AG.

Utilizando la expresión 3, se obtiene el volumen del agregado, para así poder reemplazar el resultado en la expresión 6.

$$\text{Volumen Agregado} = \frac{1516.662796 \text{ kg}}{2620 \text{ kg/m}^3}$$

Volumen Agregado = 0.578878 m<sup>3</sup>

Volumen de pasta = 1 m<sup>3</sup> - (0.578878 + 0.17+ 0.001518) = 0.24960m<sup>3</sup>

Al obtener el volumen de pasta, se procedió a reemplazarlo en la expresión 5, del cual ya se conoce la relación agua-cemento que será de 0.4

$$0.24960 \text{ m}^3 = \frac{C}{3180 \text{ kg/m}^3} + \frac{(0.4)X C}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

Donde la masa del cemento es:

$$C = 3349.3551133 \text{ kg}$$

Y con la relación agua-cemento de 0.4, se obtiene la masa del agua la cual es:

$$W = 139.7420 \text{ kg} = 139.7420 \text{ lt}$$

Por lo tanto, se pasó a calcular y comprobar los volúmenes de todos los materiales. De ahí se sumaron todos los volúmenes para obtener el volumen de mezcla y luego se verificó si cumplieron para la realización de 1 m<sup>3</sup>

$$\text{Volumen Cemento} = 0.10986 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Agua} = 0.13974 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Agregado} = 0.57887 \text{ m}^3$$

Entonces se obtiene:

$$\text{Volumen Mezcla} + \text{porcentaje de vacíos} = 0.82848 + 0.17 + 0.001518 = 1 \text{ m}^3$$

Para una probeta con 0.0016m<sup>3</sup> de volumen tenemos las siguientes cantidades:

## Tabla 22

*Cantidad de materiales para el Diseño de Mezcla N°1*

Para 1 probeta	Volumen m3	Masa (Kg)	Masa de 12 probetas (kg)
cemento	0.000175776	0.55896818	6.707618175
agua	0.000223587	0.22358727	2.68304727
Agregado grueso	0.000926206	1.39947918	16.79375012
vacío	0.00027443	-	0
Aditivos	2.43028E-06	0.00279484	0.033538091

## B. Diseño de Mezcla N°2

Este diseño estuvo caracterizado por tener un 10% de contenido agregado fino en la mezcla, es decir un 10% AF, por lo cual se tuvo en cuenta las propiedades del AG y AF, tal y como se muestra en la Tabla 23.

**Tabla 23***Características de los materiales para el diseño de mezcla N°2*

<b>Características de los materiales para el diseño de mezcla N°2</b>					
<b>Material</b>	<b>Tamaño (pulg)</b>	<b>Peso específico (kg/m3)</b>	<b>Peso unitario compactado (kg/m3)</b>	<b>Absorción %</b>	<b>Humedad</b>
AG	3/4"	2620	1510.98	1.39	0.27
AF	-	2120	1724.05	3.46	7.71

*Nota:* Resultados de laboratorio

Par calcular la cantidad en masa y volumen de los componentes del concreto permeable en este segundo diseño de mezcla (agua, cemento, AF, AG y aditivos), se realizó los mismos cálculos que el primer diseño de mezcla. Considerándose en este caso al contenido de AF, por lo cual en la siguiente tabla se muestran los resultados del diseño de mezcla N° 2.

**Tabla 24***Cantidad de materiales para el Diseño de Mezcla N°2*

<b>Para 1 probeta</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Masa (Kg)</b>	<b>Masa de 12 probetas (kg)</b>
Cemento	0.000175776	0.608512534	7.302150411
agua	0.000223587	0.243405014	2.920860164
AG	0.000926206	2.051631127	24.61957353
AF	0.00027443	0.227959014	2.73550817
Aditivos	2.43E-06	0.003042563	0.036510752
Vacíos	0.17		

**5.1.2 Resultados de resistencia a la compresión del concreto permeable**

En las Tabla 25 y Tabla 26 se presentan los resultados de resistencias a la compresión de los dos diseños de mezcla para la elaboración de concreto permeable, a edades de 7, 14 y 28 días.

**Tabla 25**

*Resistencia a la compresión para el diseño de mezcla N°1*

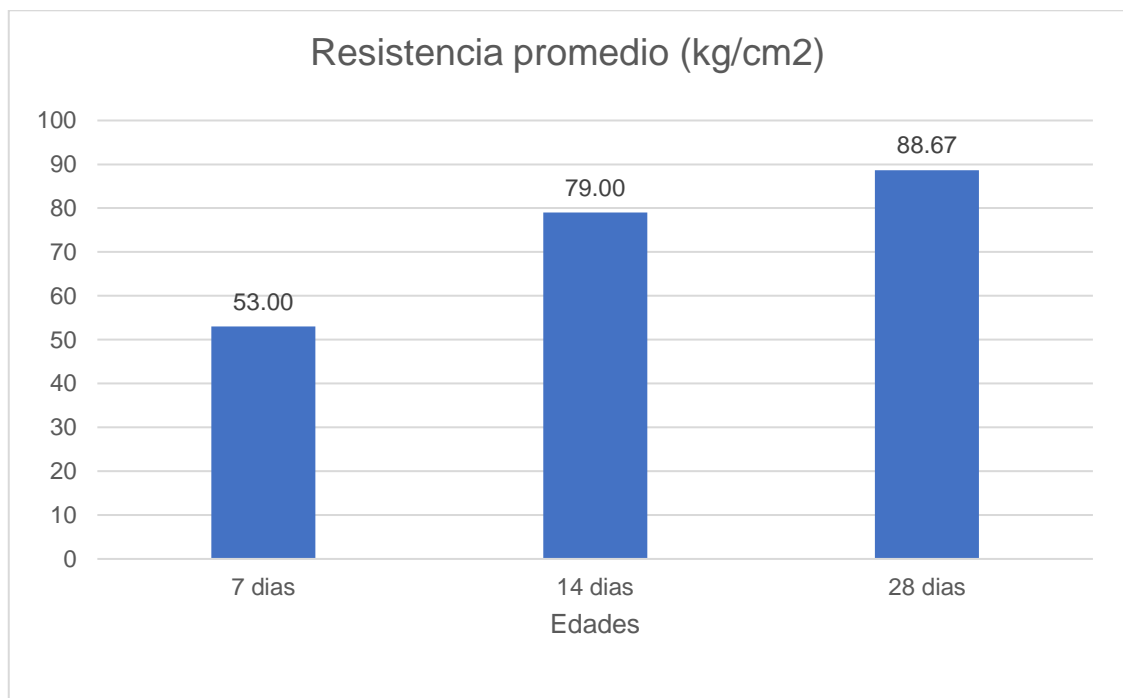
Diseño de mezcla 1	Muestra	Edad	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
17% de vacíos, a/c = 0,4, 0% de AF	A	7	55	53.00
	B	7	54	
	C	7	52	
	D	14	81	79.00
	E	14	77	
	F	14	79	
	G	28	86	88.67
	H	28	87	
	I	28	93	

*Nota:* Resultados de resistencia a la compresión de laboratorio

En la tabla 25 se puede observar que la resistencia a la compresión aumenta a medida que aumenta el tiempo de curado. En este caso llegando a tener una RC promedio de 88.67 kg/cm<sup>2</sup> en el día 28, en la Figura 8 se pueden observar estos resultados gráficamente.

**Figura 8**

*Comportamiento de la RC para el diseño de mezcla N°1*



*Nota:* Resultados de compresión de laboratorio

**Tabla 26**

*Resistencia a la compresión para el diseño de mezcla N°2*

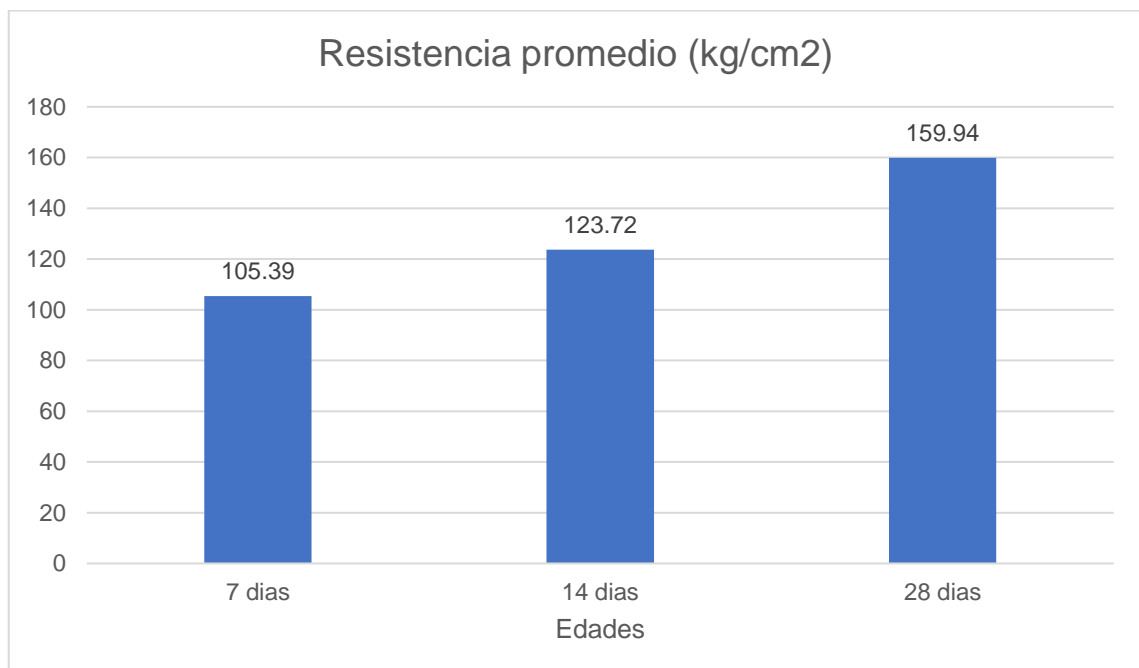
Diseño de mezcla 2	Muestra	Edad	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
17% de vacíos, a/c = 0,4, 10% de AF	A	7	91.77	105.39
	B	7	103.31	
	C	7	121.1	
	D	14	115.28	123.72
	E	14	129.67	
	F	14	126.2	
	G	28	160.23	159.94
	H	28	161.28	
	I	28	158.32	

*Nota:* Resultados de compresión de laboratorio

En la tabla 26, se observa que la resistencia a la compresión del diseño de mezcla N°2 aumenta a medida que aumenta el tiempo de curado. Logrando tener una RC promedio de 96.67 kg/cm<sup>2</sup> en el día 28, en la Figura 9 se pueden observar estos resultados gráficamente.

**Figura 9**

*Comportamiento de la RC para el diseño de mezcla N°2*



*Nota:* Resultados de compresión de laboratorio

### 5.1.3 Resultados de permeabilidad del concreto permeable

En la siguiente tabla se presentan los datos para el cálculo de la permeabilidad con el permeámetro de carga variable.

**Tabla 27**

*Cálculos para la permeabilidad*

Diseño	Muestra	Tiempo (seg)	L: Longitud de la muestra (cm)	D: Diámetro de la muestra (cm)	d: Diámetro de la tubería (cm)	a: Área de la tubería (cm <sup>2</sup> )	A: Área de la muestra (cm <sup>2</sup> )	h1 (cm)	h2 (cm)	K: permeabilidad (cm/s)	Q: Caudal (l/seg)
17% de vacíos, a/c = 0,4, 0% de AF	R1	56.35	20.32	10.16	10.5	81.073	86.590	30	1	1.31	0.045
	R2	57.67	20.32	10.16	10.5	81.073	86.590	30	1	1.28	0.044
	R3	51.98	20.32	10.16	10.5	81.073	86.590	30	1	1.42	0.048
17% de vacíos, a/c = 0,4, 10% de AF	R1	167.76	20.32	10.16	10.5	81.073	86.590	30	1	0.44	0.015
	R2	141.95	20.32	10.16	10.5	81.073	86.590	30	1	0.52	0.018
	R3	160.47	20.32	10.16	10.5	81.073	86.590	30	1	0.46	0.016

Según la tabla anterior se puede observar que la menor permeabilidad está asociada directamente con tiempos de infiltración mayores. Por lo tanto, las mayores permeabilidades se generan en el diseño con 0% de AF, en comparación con el diseño al 10% de AF.



En las siguientes tablas y gráficas se presentan los resultados de ensayos de permeabilidad de los dos diseños de mezcla para elaborar concreto permeable.

**Tabla 28**

*Permeabilidad del diseño de mezcla N°1*

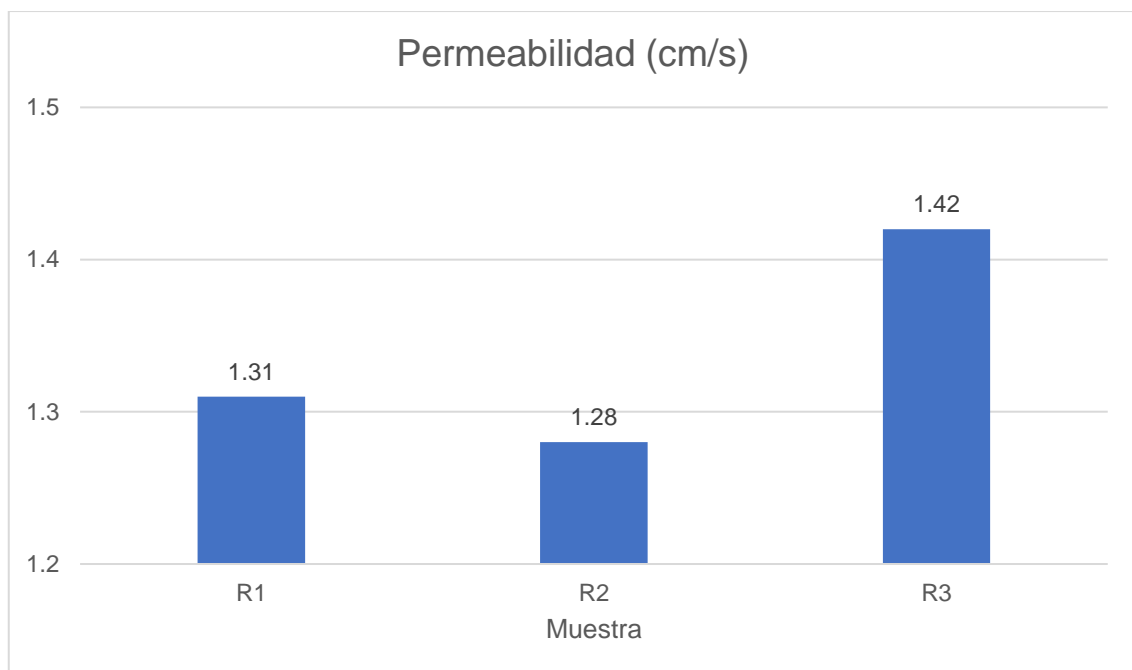
Diseño de mezcla 1	Muestra	Permeabilidad (cm/s)	Permeabilidad promedio (cm/s)
17% de vacíos, a/c = 0,4, <b>0% de AF</b>	R1	1.31	1.34
	R2	1.28	
	R3	1.42	

*Nota:* Resultados de permeabilidad de laboratorio

Los resultados de la tabla 28 y la Figura 10 muestran un resultado promedio de permeabilidad igual a 1.34 cm/s.

**Figura 10**

*Comportamiento de la permeabilidad del diseño de mezcla N°1*



*Nota:* Resultados de permeabilidad de laboratorio

Así mismo en la tabla 29 y Figura 11 se presentan los resultados de permeabilidad del diseño de mezcla N°2.

**Tabla 29**

*Permeabilidad del diseño de mezcla N°2*

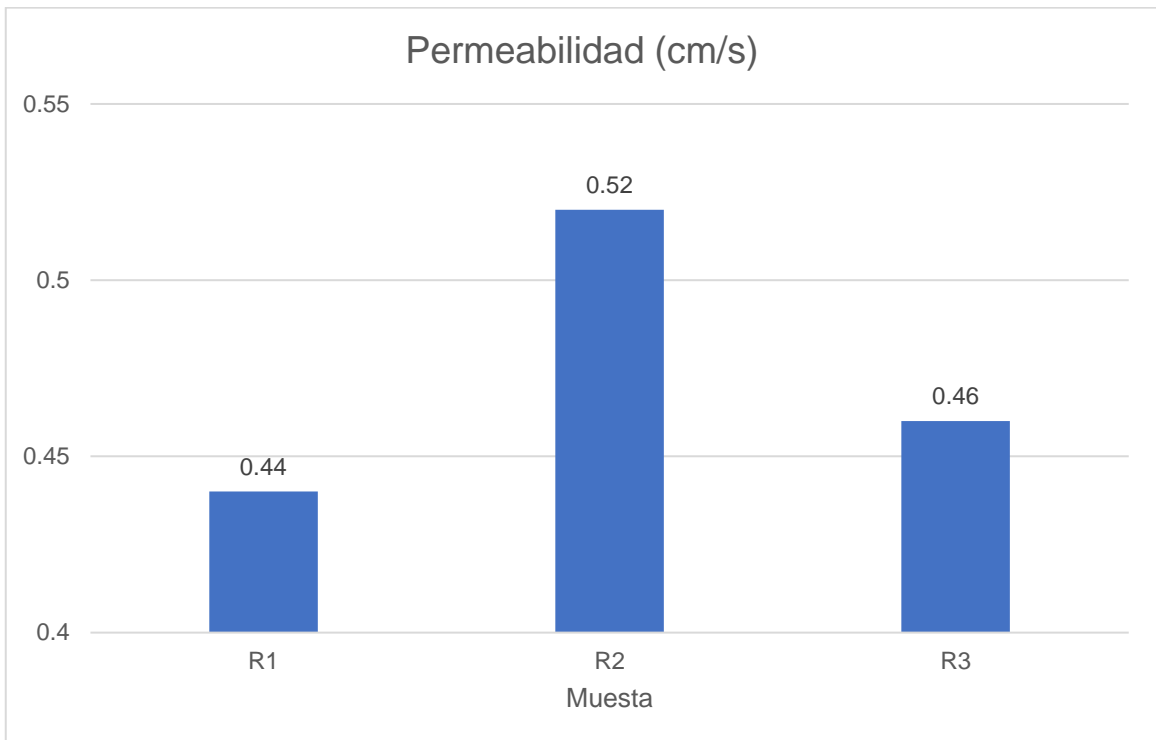
Diseño de mezcla 2	Muestra	Permeabilidad (cm/s)	Permeabilidad promedio (cm/s)
17% de vacíos, a/c = 0,4, <b>10% de AF</b>	R1	0.44	0.47
	R2	0.52	
	R3	0.46	

*Nota: Resultados de permeabilidad de laboratorio*

Los resultados de los tres ensayos determinaron una permeabilidad promedio de 0.47 cm/s.

**Figura 11**

*Comportamiento de la permeabilidad del diseño de mezcla N°2*

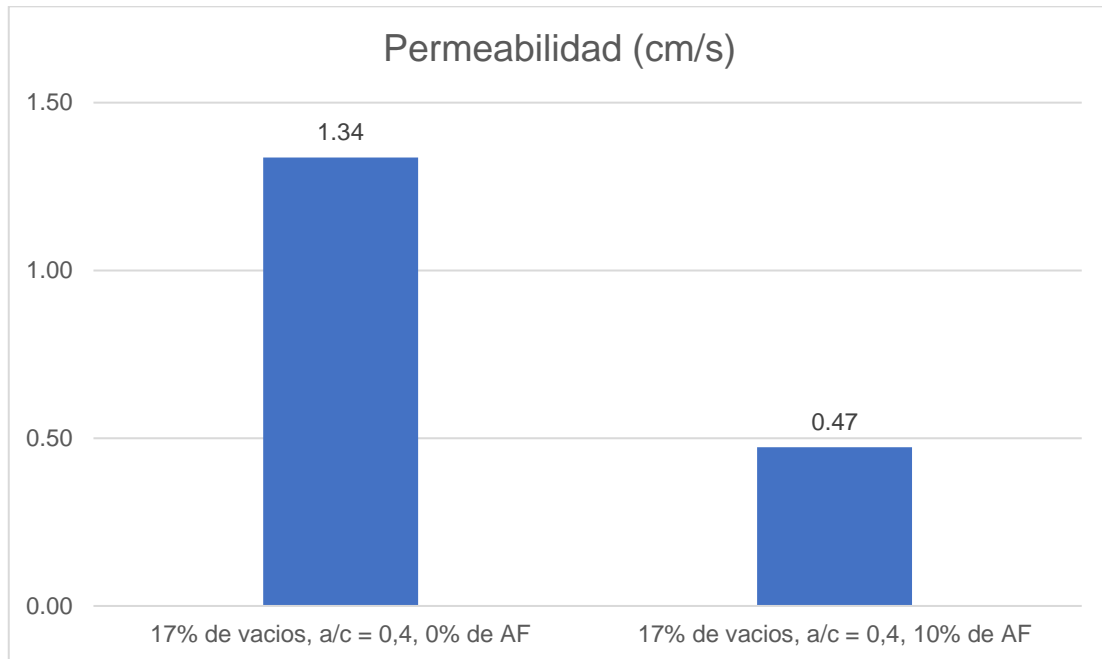


*Nota: Resultados de permeabilidad de laboratorio*

Asimismo, en la siguiente figura se comparan la permeabilidad promedio de cada tipo de diseño de mezcla, donde se puede observar que a medida que el concreto permeable con contenido de agregado fino igual al 10%, tiene menor permeabilidad en comparación al concreto sin agregados finos.

**Figura 12**

*Comparación de la permeabilidad según diseño de mezcla*



Nota: Resultados de permeabilidad de laboratorio

#### **5.1.4 Resultados de reducción de escorrentía del concreto permeable**

Para tener en cuenta la influencia de la aplicación del concreto permeable en la reducción de la escorrentía superficial, en primer lugar, se determinó la escorrentía proveniente de una precipitación con un intensidad, durabilidad y frecuencia; por lo que se estableció una curva IDF.

Para la elaboración de las curvas IDF, en primer lugar, se escoge una estación meteorológica representativa, en este estudio se escogió la estación Huánuco, que registra los datos de precipitación de la ciudad del mismo nombre. Esta ciudad, que ha sufrido de inundaciones, por sus calles angostas e impermeabilizadas, se encuentra ubicada dentro de la intercuenca del Alto Huallaga. En la siguiente tabla se muestra la información básica de la estación meteorológica Huánuco proveída por el SENAMHI.

**Tabla 30***Datos de la estación Huánuco*

<b>Estación: HUANUCO</b>					
Departamento:	HUANUCO	Provincia:	HUANUCO	Distrito:	AMARILIS
Latitud:	9°57'7.24"	Longitud:	76°14'54.8"	Altitud:	1919 msnm.
Tipo:	CP - Meteorológica	Código:	109003		

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

Se descargaron datos de precipitación diaria durante el periodo comprendido entre el 01/01/1981 hasta el 31/12/2016, de igual manera se registró la precipitación máxima cada año, tal y como se muestra en la Tabla 31.

**Tabla 31***Precipitación máxima anal periodo 1981-2016*

<b>Año</b>	<b>Precipitación máxima (mm)</b>	<b>Año</b>	<b>Precipitación máxima (mm)</b>	<b>Año</b>	<b>Precipitación máxima (mm)</b>
<b>1981</b>	28.92	<b>1993</b>	44.83	<b>2005</b>	43.80
<b>1982</b>	69.70	<b>1994</b>	38.65	<b>2006</b>	45.42
<b>1983</b>	45.11	<b>1995</b>	64.37	<b>2007</b>	30.01
<b>1984</b>	37.58	<b>1996</b>	36.85	<b>2008</b>	26.21
<b>1985</b>	51.58	<b>1997</b>	36.79	<b>2009</b>	39.09
<b>1986</b>	36.27	<b>1998</b>	43.49	<b>2010</b>	54.17
<b>1987</b>	30.19	<b>1999</b>	42.00	<b>2011</b>	32.55
<b>1988</b>	44.11	<b>2000</b>	66.87	<b>2012</b>	92.36
<b>1989</b>	52.72	<b>2001</b>	55.00	<b>2013</b>	48.50
<b>1990</b>	34.77	<b>2002</b>	29.30	<b>2014</b>	61.66
<b>1991</b>	40.06	<b>2003</b>	34.07	<b>2015</b>	44.78
<b>1992</b>	34.65	<b>2004</b>	30.04	<b>2016</b>	45.91

Luego para establecer la precipitación máxima a diferentes periodos de retorno, se hizo uso de la distribución de Gumbel. Suponiendo que esta distribución de probabilidad adopta la distribución real de las intensidades de lluvia máximas anuales.

**Tabla 32***Precipitación según periodos de retorno*

TR	$\alpha$	u	F(X)	b	Precipitación (mm)
2	0.08184347	37.6317151	0.5	0.37	42.11
5	0.08184347	37.6317151	0.8	1.50	55.96
10	0.08184347	37.6317151	0.9	2.25	65.13
25	0.08184347	37.6317151	0.96	3.20	76.71
50	0.08184347	37.6317151	0.98	3.90	85.31
100	0.08184347	37.6317151	0.99	4.60	93.84
500	0.08184347	37.6317151	0.998	6.21	113.55

*Nota.* datos calculados tomados en cuenta la distribución de Gumbel

Con los valores establecidos en la tabla anterior se calculó intensidades de precipitación con diferentes tiempos de duración y periodos de retorno. Ver la tabla 33 , en función a estos datos se realizó la curva IDF, ver Figura 13.

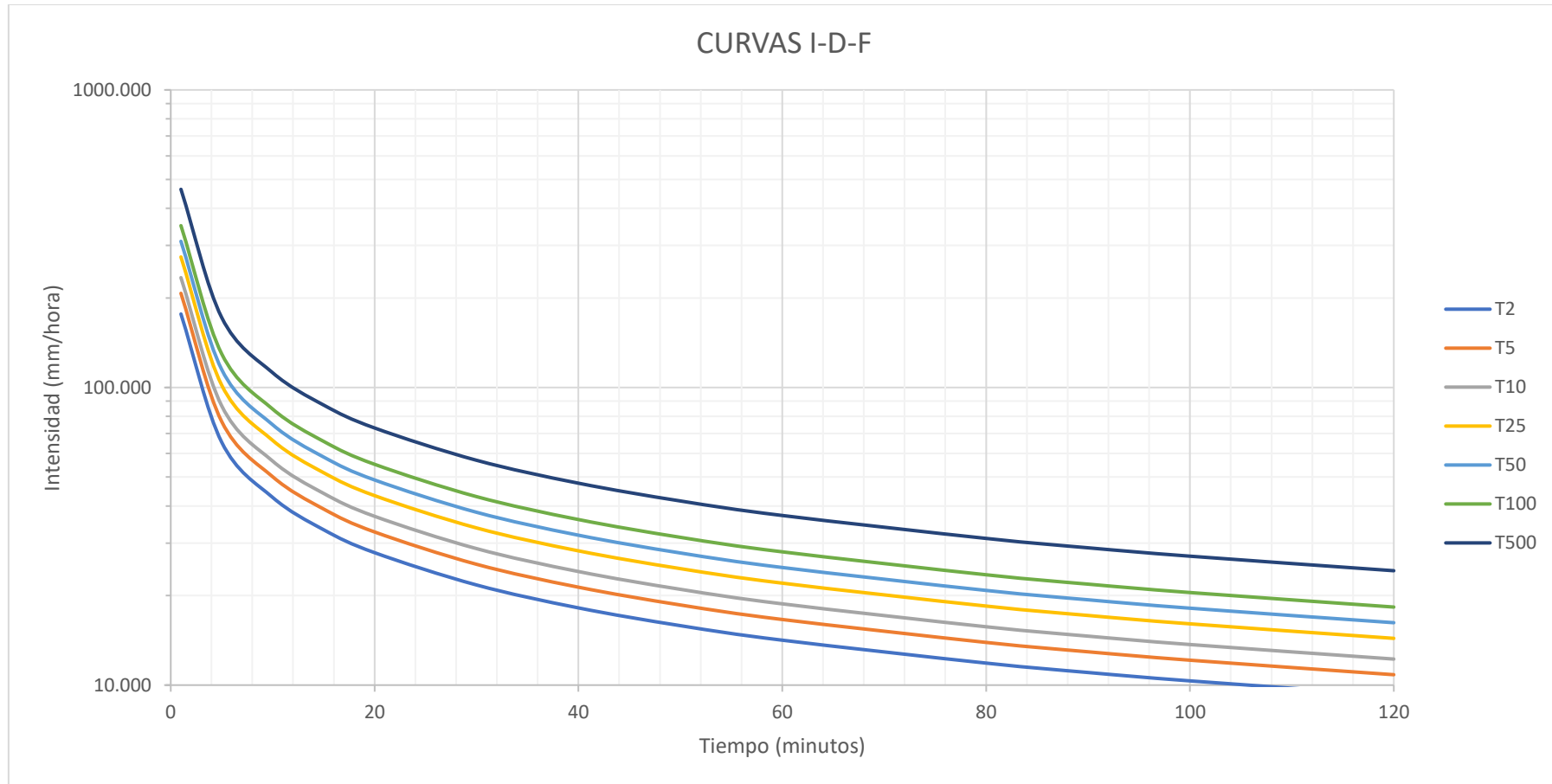
**Tabla 33***Datos de Intensidad, Duración y Frecuencia de la precipitación*

T	Duración en minutos													Intensidad (mm/hora)
	1	5	10	15	20	30	40	50	60	80	90	100	120	
2	176.60	65.49	42.72	33.27	27.86	21.70	18.18	15.84	14.16	11.86	11.03	10.33	9.23	
5	207.26	76.86	50.13	39.05	32.70	25.47	21.33	18.59	16.61	13.91	12.94	12.13	10.84	
10	233.94	86.75	56.59	44.07	36.91	28.75	24.08	20.98	18.75	15.71	14.61	13.69	12.23	
25	274.56	101.81	66.41	51.73	43.32	33.74	28.26	24.63	22.01	18.43	17.14	16.06	14.36	
50	309.92	114.92	74.96	58.39	48.90	38.09	31.90	27.80	24.84	20.81	19.35	18.13	16.21	
100	349.82	129.72	84.62	65.90	55.20	42.99	36.00	31.38	28.04	23.49	21.84	20.47	18.29	
500	463.42	171.84	112.09	87.31	73.12	56.95	47.70	41.57	37.15	31.11	28.93	27.11	24.23	

*Nota.* los cálculos se muestran en el Anexo

En esta investigación asumimos como referencia un evento de lluvia de 15 minutos de duración para un periodo de retorno de 100 años, que es igual a 65.90 mm/hora.

Por



Nota. Procesados de los datos tomados de la estación Huánuco

Con los datos de caudal de la probeta se determinó los datos de caudal para un metro cubico de área transversal de un concreto permeable.Obteniéndose los siguientes resultados, ver Tabla 34:

**Tabla 34**

*datos de caudal de infiltración y escorrentía*

Diseño	Muestra	Q: Caudal (l/seg)	Caudal para una sección de concreto de 1 m <sup>3</sup> (l/seg)	Intensidad de lluvia (mm/hora)	Escorrentía en l/hora	Escorrentía en l/seg
17% de vacíos, a/c = 0,4, <b>0%</b> de AF	R1	0.045	5.15	65.90	65.90	0.0183
	R2	0.044	5.03	65.90	65.90	0.0183
	R3	0.048	5.58	65.90	65.90	0.0183
17% de vacíos, a/c = 0,4, <b>10% de</b> AF	R1	0.015	1.73	65.90	65.90	0.0183
	R2	0.018	2.04	65.90	65.90	0.0183
	R3	0.016	1.81	65.90	65.90	0.0183

*Nota.* se asume que la intensidad de precipitación se convertirá en caudal o escorrentía. Asimismo, se entiende q 1mm; representa la altura de la columna de agua depositada en 1 m<sup>2</sup>.

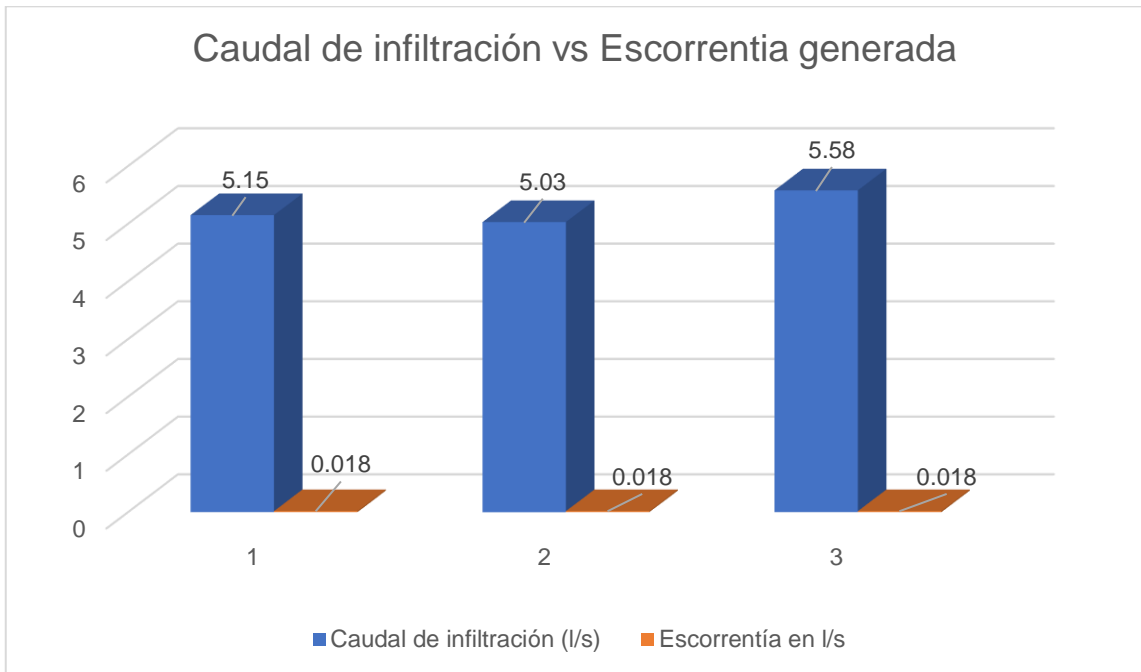
De la tabla anterior se derivan las siguientes graficas conde se comparan la capacidad de absorción (caudal de infiltración) del concreto permeable en cada diseño. Con un área de 1 m<sup>3</sup>; escorrentía generada por una intensidad de lluvia con una duración de 15 minutos y un periodo de retorno de 100 años.

En la Figura 13 y Figura 14, se puede observar que la escorrentía generada es muy inferior a la capacidad de absorción del concreto permeable. Lo que implica que se infiltrará toda el agua, evitándose de esta forma inundaciones (tener en cuenta). Asimismo, ambos diseños de mezcla proporcionan permeabilidades capaces de contrarrestar el flujo generado por una lluvia con una intensidad de 65.9 mm/h, con una duración de 15 minutos y un periodo de retorno de 100 años.



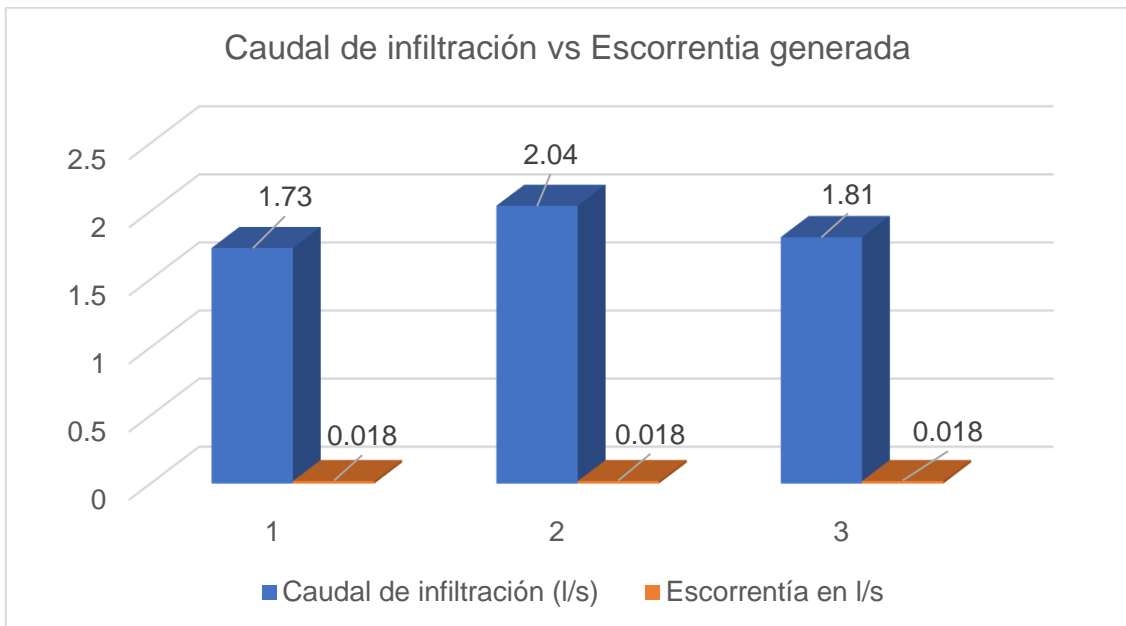
**Figura 13**

*Caudal de infiltración vs Escorrentía, Diseño N°1*



**Figura 14**

*Caudal de infiltración vs Escorrentía, Diseño N°2*



## 5.2 Resultados inferenciales

A continuación, se presentan los resultados inferenciales que permiten establecer la existencia de diferencias en las diferentes pruebas donde se utilizaron los dos diseños de mezcla (sin AF, con AF al 10%).

### Pruebas para la permeabilidad

En la Tabla 35 se presentan los estadísticos descriptivos de las permeabilidades de ambos tipos de diseño de mezcla de concreto poroso.

**Tabla 35**

*Descriptivos de la permeabilidad*

Diseño de mezcla	N (muestra)	Media	Desviación estándar
Permeabilidad 0% de AF	3	1.34	0.07
Permeabilidad 10% de AF	3	0.47	0.041

*Nota:* Resultados de SPSS

Asimismo, en la Tabla 36 se puede observar los resultados de la prueba t de Student. Encontrándose que, sí existen diferencias significativas entre la permeabilidad entre el concreto permeable con y sin AF, por lo que se observa entonces que el concreto poroso sin agregado fino tiene una mayor permeabilidad que el concreto poroso con AF.

**Tabla 36**

*Prueba t de Student para la permeabilidad*

t	GL	p- valor	Diferencia de medias
5.834	4	0.004	0.87

*Nota:* Resultados de SPSS

### Pruebas de calidad de agua (Turbidez, STS, DBO)

En las siguientes tablas se presentan los resultados de las pruebas U de Mann-Whitney y t de Student. Con los cuales se pretende establecer diferencias de parámetros de calidad de aguas como turbidez, sólidos totales suspendidos y

demanda de oxígeno en los dos diferentes tipos de concreto permeable con y sin AF (todos estos ensayos fueron realizados mediante pruebas de infiltración

- **Turbidez**

Se realizaron ensayos de prueba de infiltración con los dos tipos de concreto permeable (con y sin AF), en la siguiente tabla se muestran los resultados descriptivos de los porcentajes de remoción de turbidez.

**Tabla 37**

*Descriptivos del porcentaje de remoción de la turbidez*

Medidas	turbidez (0% de AF)	Turbidez (10% de AF)	Diferencia
Media =	93,333333	90,000000	3,333333
Error estándar =	0,333333	0,577350	0,666667
IC 95% Límite inferior =	91,899116	87,515862	1,482370
IC 95% Límite superior =	94,767551	92,484138	5,184297

*Nota:* Resultados de SPSS

Luego se plantea la siguiente pregunta ¿La turbidez del concreto permeable con 0% de agregado fino es distinta a la turbidez con concreto permeable al 10% de AF? En función a ello se establece las siguientes hipótesis:

En función a ello se establece las siguientes hipótesis:

**Ho:** La turbidez del concreto al 0% de AF NO es distinto a la turbidez del concreto permeable al 10% de AF.

**H1:** La turbidez del concreto al 0% de AF es distinto a la turbidez del concreto permeable al 10% de AF.

Se establece el nivel de significancia es menor a 5% y se escoge la prueba estadística U de Mann-Whitney para muestras independientes, debido a que los datos no cumplen con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. En la siguiente tabla se muestran os resultados de la U de Mann-Whitney

**Tabla 38***Prueba U de Mann Whitney turbidez*

Hipótesis nula	Prueba	p valor	Decisión
La distribución de la turbidez es la mismo entre las categorías de Tipo mezcla	Prueba U de Mann Whitney para muestras independientes	0.1	Conserve la hipótesis nula

*Nota:* Resultados de SPSS

- **Solidos totales suspendidos**

En la siguiente tabla se presentan los datos descriptivos de la remoción de STS en los dos tipos de concreto poroso (con AF y sin AF).

**Tabla 39***Descriptivos del porcentaje de remoción de STS*

Medidas	DBO (0% de AF)	DBO (10% de AF)	Diferencia
Media =	89,666667	82,666667	4,000000
Error estándar =	2,027588	1,452966	0,942809
IC 95% Límite inferior =	80,942662	76,415057	1,382342
IC 95% Límite superior =	98,390672	88,918276	6,617658

*Nota:* Resultados de SPSS

Luego se plantea la siguiente pregunta ¿La remoción de STS del concreto permeable con 0% de agregado fino es distinta a la remoción de STS con concreto permeable al 10% de AF? En función a ello se establece las siguientes hipótesis

**H<sub>0</sub>:** la remoción de STS del concreto al 0% de AF NO es distinto a la remoción de STS del concreto permeable al 10% de AF

**H<sub>1</sub>:** la remoción de STS del concreto al 0% de AF es distinto a la remoción de STS del concreto permeable al 10% de AF

Se establece el nivel de significancia igual a 5% y se escoge la prueba estadística T student para muestras independientes, debido a que los datos cumplen con

los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. En la siguiente tabla se muestran los resultados de la T student

**Tabla 40**

*T de Student para el porcentaje de remoción de SST*

t	gl	p valor
2.81	4.00	0.049

*Nota:* Resultados de SPSS

Según la Tabla 38 se puede observar un p valor igual a 0.049 y menor a 0.05, por lo cual con una probabilidad de 0.63 % se puede afirmar que “la remoción de STS del concreto al 0% de AF NO es distinto al STS del concreto permeable al 10% de AF.

- **Demanda de Oxigeno**

En cuanto a la DBO, en la siguiente tabla se observan los resultados de remoción de DBO, luego de los ensayos de infiltración de cada tipo de concreto permeable (con AF y sin AF)

**Tabla 41**

*Descriptivos del porcentaje de remoción de DBO*

Medidas	DBO (0% de AF)	DBO (10% de AF)	Diferencia
Media =	79,666667	75,666667	4,000000
Error estándar =	0,666667	0,666667	0,942809
IC 95% Límite inferior =	76,798232	72,798232	1,382342
IC 95% Límite superior =	82,535102	78,535102	6,617658

*Nota:* Resultados de SPSS

Luego se plantea la siguiente pregunta ¿Los niveles de DBO del concreto permeable con 0% de agregado fino es distinto los niveles de DBO con concreto permeable al 10% de AF? En función a ello se establece las siguientes hipótesis:

**H<sub>0</sub>:** Los niveles de DBO del concreto al 0% de AF NO es distinto a los niveles de DBO del concreto permeable al 10% de AF

**H<sub>1</sub>:** Los niveles de DBO del concreto al 0% de AF es distinto a los niveles de DBO del concreto permeable al 10% de AF.

Se establece el nivel de significancia menor a 5 % y se escoge la prueba estadística U Man Whitman para muestras independientes debido a que los datos no cumplen con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. En la siguiente tabla se muestran los resultados de la U Man Whitney.

**Tabla 42**

*Prueba U Mann Whitney DBO*

Hipótesis nula	Prueba	p valor	Decisión
La distribución de la DBO es la mismo entre las categorías de Tipo mezcla	Prueba U de Mann Whitney para muestras independientes	0.1	Conserve la hipótesis nula

*Nota:* Resultados de SPSS

Según la tabla anterior se puede observar un p valor igual a 0.1 y mayor a 0.05, por lo cual con una probabilidad de 1 % se puede afirmar que “los niveles de DBO del concreto al 0% de AF NO es distinto a los niveles de DBO del concreto permeable al 10% de AF”.

## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1 Contratación y demostración de la hipótesis con los resultados

#### 6.1.1. *Contratación con la primera hipótesis general*

**Ha:** La aplicación del concreto permeable como pavimento permite la adecuada gestión de aguas pluviales a nivel piloto.

**Ho:** La aplicación del concreto permeable como pavimento no permite la adecuada gestión de aguas pluviales a nivel piloto.

Los resultados de permeabilidad, reducción de escorrentía y calidad de agua después de la aplicación del concreto permeable demuestran que “La aplicación del concreto permeable como pavimento permite la adecuada gestión de aguas pluviales a nivel piloto”; por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna.

#### 6.1.2. *Contratación con la primera hipótesis específica*

##### **Resultados inferenciales**

**HA<sub>1</sub>:** La norma ACI 522R permite el diseño del concreto permeable a diferentes porcentajes de vacío, permeabilidad y resistencias a la compresión.

**Ho<sub>1</sub>:** La norma ACI 522R no permite el diseño del concreto permeable a diferentes porcentajes de vacío, permeabilidad y resistencias a la compresión.

Los resultados muestran resistencias a la compresión de 88.67 kg/cm<sup>3</sup> en el primer diseño es de 159.94 kg/cm<sup>3</sup> para el segundo diseño, inferior a la resistencia de diseño es de 175 kg/cm<sup>3</sup>. Por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna de que La norma ACI 522R permite el diseño del concreto permeable a diferentes porcentajes de vacío, permeabilidad y resistencias a la compresión.

#### 6.1.3. *Contratación con la segunda hipótesis específica*

**HA<sub>2</sub>:** La escorrentía superficial es reducida en un gran porcentaje mediante la aplicación del concreto permeable como pavimento.

**Ho<sub>2</sub>:** La escorrentía superficial no es reducida en un gran porcentaje mediante la aplicación del concreto permeable como pavimento.

Con un p valor igual a 0.004 menor al nivel de significancia 0.05, se puede concluir que la capacidad de infiltración es mayor a la escorrentía generada. Por lo que se infiltraría todo el agua, por ello se acepta la hipótesis alterna de que “La escorrentía superficial es reducida en un gran porcentaje mediante la aplicación del concreto permeable como pavimento”.

#### **6.1.4. Contrastación con la tercera hipótesis específica**

**H<sub>A3</sub>:** La calidad del agua es mejorada después de su infiltración en el concreto permeable como pavimento.

**H<sub>03</sub>:** La calidad del agua no es mejorada después de su infiltración en el concreto permeable como pavimento.

Con un p valor igual a 0.04, menor a 0.05, se puede decir que el concreto permeable permite la remoción de la turbidez. Asimismo, con un p valor igual a 0.049 menor a 0.05, se infiere que el concreto poroso remueve SST, finalmente con un p valor igual a 0.01 menor a 0.05, se establece que el concreto permeable permite remover los niveles de DBO. Según estos resultados se puede se acepta la hipótesis alterna de que “La calidad del agua es mejorada después de su infiltración en el concreto permeable como pavimento”.

## **6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares**

Los resultados de resistencia a compresión están lejos de los especificados en el diseño teórico (210 kg/m<sup>3</sup>), a pesar de que se utilizó una relación de 0,32 como indica Esquerre (2019).

De manera similar, agregar agregado fino a la mezcla puede mejorar la resistencia a la compresión hasta en un 20 %, pero a expensas de la permeabilidad, Ravello (2020) reportó resultados similares.

Nuestros resultados muestran que el concreto permeable sin agregado fino logra una mayor remoción de turbidez que el concreto permeable con agregado fino. Estos resultados contrastan con el reporte del autor (Teymouri, et al. 2020) que demostró que al mezclar concreto permeable con 10% de agregado fino reduce la turbidez en más del 0%.



De manera similar, nuestros resultados muestran que el concreto sin agregado fino logró una mayor eficiencia de eliminación de DBO, datos diferentes a lo reportado por el autor (Teymouri, et al. 2020) que muestra que la mezcla de concreto permeable para drenaje con un 10 % de agregado fino reduce más la DBO en comparación al 0 % de agregado fino.

En cuanto a los SST nuestro estudio demuestra que el concreto permeable al 0% de agregado fino logró una mayor capacidad de remoción de los SST menos que al 10% de agregado fino, caso contrario a lo mencionado por el autor (Alam et. al 2019) quien demuestra que el concreto permeable con más porosidad reduce más los STS.

### **6.3 Responsabilidad ética**

Los autores de esta investigación aseguran la originalidad de los datos y se someten a todas las medidas que las normas contemplados en el Código de Ética de Investigación, que fue aprobado mediante la resolución 17-R-260-19-CU.

## VII. CONCLUSIONES

El método establecido por ACI 522R para el diseño de concreto permeable, no puede predecir valores de la resistencia a compresión y relación de vacíos. Asimismo, se establece la influencia de los agregados finos en las propiedades macroscópicas del concreto permeable, tales como la resistencia a la compresión y la permeabilidad.

Se concluye que la reducción de escorrentía se puede lograr mediante la aplicación de concreto permeable y que la adición de agregado fino en la muestra también reduce la permeabilidad del concreto. Afectando la reducción de la escorrentía superficial, debido a que el concreto permeable con AF tiene menor porosidad a comparación del concreto permeable sin AF.

Se demostró que al infiltrar el agua a través del hormigón permeable, puede eliminar contaminantes como la turbidez y los sólidos suspendidos totales, lo que a su vez puede ayudar a mejorar la calidad del agua superficial o de la escorrentía superficial.

Finalmente se concluyó que la aplicación de concreto permeable permitiría un manejo adecuado de las aguas pluviales, ya que permite reducir la escorrentía, al mismo tiempo que eliminan los contaminantes.

## **VIII. RECOMENDACIONES**

Se recomienda evaluar otros diseños de mezcla, donde se adhieran distintos porcentajes de agregado fino y a la vez se estudien otros tipos de agregados con distintas granulometrías. Con el fin de llegar a la resistencia del diseño sin sacrificar la permeabilidad del concreto.

Optar por el uso de concreto permeable sin finos ya que permite una mayor reducción de la escorrentía, pero su aplicación debe requerirse en zonas de baja carga, debido a que no se garantiza una alta resistencia a la compresión.

Utilizar el concreto permeable en la remoción de contaminantes de las aguas pluviales, pero también considerando la capacidad de carga de este concreto en futuras aplicaciones.

Se recomienda emplear el concreto permeable como infraestructura sostenible, dado que permite una adecuada gestión de aguas pluviales.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ACI 522R-10. (2010). Report on Pervious. American Concrete Institute.
- AGUIRRE HERRERA, Boris et al., 2021. *Propuesta de utilización de pavimento de concreto permeable para reducir el efecto de precipitaciones intensas en las calles de Alfonso Ugarte y Miguel Grau, ubicadas en el departamento de Tumbes* [en línea]. Trabajo fin de grado. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas [consulta en mayo 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10757/655019>
- ALAM, Taufiqul, et al., 2019. A Comparison of Three Types of Permeable Pavements for Urban Runoff Mitigation in the Semi Arid South Texas, U.S.A. *MDPI* [en línea]. Texas: Agua, 11(10), 1992 [consulta en mayo 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w11101992>
- AZIZI ,Koorosh ,et al., Integrated community-based approaches to urban pluvial flooding research, trends and future directions: A review. *Urban Climate*. Elsevier [en línea]. USA: vol. 44, 101237. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101237>
- AZOUZ, Mona & SALEM, Dina, 2023. Urban resilience and stormwater management: Lessons learnt from New Cairo, Egypt. *Ain Shams Engineering Journal* [en línea]. ASEJ, vol. 14, no. 6, pp. 102117 [consulta mayo 2023]. ISSN 2090-4479. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447923000060>
- BAEZ GÓMEZ, Eduardo, 2016. Calidad de agua. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile [en línea]. Chile [consulta: julio del 2023]. Disponible en: <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/23747/2/Calidad%20del%20Agua%20Final.pdf>
- BENDEZU ULLOA, José & AMORÓS MOROTE, Carlos ,2019. Diseño de mezcla de concreto permeable para la construcción de la superficie de rodadura de un pavimento de resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>. Trabajo fin de grado. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas [consulta en mayo 2023]. Disponible en:

[https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/626313/BEND\\_EZU\\_UJ.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/626313/BEND_EZU_UJ.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

BORGAONKAR, Ashish D. y MARHABA, Taha F, 2021. Chapter 16 - Evaluation of sustainability strategies—a water quantity and quality perspective. En: AHUJA, Satinder. *Handbook of Water Purity and Quality*. Second Edition. United States: Academic Press, pp. 409-454. ISBN 978-0-12-821057-4. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821057-4.00011-2>

CASTRO ESPINOSA, Mario ,2011. *Pavimentos permeables como alternativa de drenaje urbano*[en línea].Trabajo fin de grado. Bogota: Pontificia Universidad Javeriana [consulta en mayo 2023]. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7483/tesis599.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CASTRO , D, et al., 2007 . The influence of paving-block shape on the infiltration capacity of permeable paving. (E. PUBLICATIONS, Ed.) *Land Contamination and Reclamation*, 15, 335. [consulta en mayo 2023]. DOI: 10.2462/09670513.855 Disponible en : [https://pdfs.semanticscholar.org/98aa/edb35caf562f06579f7455ae13d60d9ad18b.pdf?\\_gl=1\\*w0gc7g\\*\\_ga\\*OTE4Njk0ODUuMTY4NDE3NTUyNg..\\*\\_ga\\_H7P4ZT52H5\\*MTY4NDE3NTUyNi4xLjEuMTY4NDE3NTUzNS4wLjAuMA..](https://pdfs.semanticscholar.org/98aa/edb35caf562f06579f7455ae13d60d9ad18b.pdf?_gl=1*w0gc7g*_ga*OTE4Njk0ODUuMTY4NDE3NTUyNg..*_ga_H7P4ZT52H5*MTY4NDE3NTUyNi4xLjEuMTY4NDE3NTUzNS4wLjAuMA..)

CASTRO- FRESNO, D., VALERI ANDRES, V., SAÑUDO-FONTANEDA, L., & Rodriguez-Hernandez, J. (2013). Sustainable drainage practices in Spain, specially focused on pervious pavements. *Water*, 5(1), 67-93.

DAVIES, J., PRATT, C., & SCOTT, M. (2002). Laboratory study of permeable pavement systems to support hydraulic modeling. En *Global Solutions for Urban Drainage* (págs. 1-9).

ESQUERRE GARCIA, Michell et al.,2019. *Propuesta de diseño de pavimento drenante para la captación de agua de lluvias en zonas urbanas del norte del Perú* [en línea]. Trabajo fin de grado. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas [consulta en mayo 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10757/625617>

GAROZI DA SILVA, Rodrigo,2019. Estudio de concreto permeável como pavimento [en línea]. Trabajo fin de master. Ilha Solteira; Universidade Estadual Paulista [consulta en mayo 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11449/182415>

GEETHA VARMA, V ,2022 Chapter 6 - Water-efficient technologies for sustainable development. Current Directions in Water Scarcity Research. *Elsevier*[en línea].India : vol.6 , págs 101-128[consulta en mayo 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91838-1.00009-9>

GONZALES FERNANDEZ, Jorge. 2016. *Estudio de alternativas para la construcción de firmes permeables*. Trabajo fin de grado. España: Universidad de Cantabria [consulta en mayo 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/9259/Gonzalez%20Fernandez%2C%20Javier.pdf>

KALIMUR Rahman ,et al.,2020. Removal of heavy metals from stormwater by means of porous concrete pavement porous concrete pavement [en línea]. Dhaka, Bangladesh: Journal of Modern Materials, vol. 7, no 1, pp. 37-44. [consulta en mayo 2023]. ISSN 2456-4834. Disponible en: <https://doi.org/10.21467/jmm.7.1.37-44>

MADUEÑO, Giorgio ,2023. Ciclón Yaku y el cambio climático. *Info inundaciones* [en línea] .19 de marzo. Disponible en: <https://infoinundaciones.com/noticias/yaku-cambio-climatico/#:~:text=El%20impacto%20del%20cicl%C3%B3n%20Yaku,han%20sido%20declarados%20en%20emergencia.>

MARCÓ, Leandro, et al.2004,. La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina). Hig. Sanidad Ambiental. [en línea].Argentina, vol. 27, no 3, p. 172-18 vol. 4, no 11.. Disponible en: [https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c\\_Hig.Sanid\\_.Ambient.4.72-82\(2004\).pdf](https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82(2004).pdf).

PÉREZ TIRADO, Angel ,2019. *Optimización de la permeabilidad del concreto ecológico con adición de nanosílice y fibra de polipropileno para pavimentos rígidos, utilizando agregados de concreto reciclado* [en línea]. Trabajo fin de máster. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca [consulta en mayo 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.14074/2993>

PIADEH, Farzad, BEHZADIAN, Kourosh y ALANI, Amir, 2022. A critical review of real-time modelling of flood forecasting in urban drainage systems. *Journal of Hydrology* [en línea]. London: Elsevier, vol. 607 [consulta: mayo 2023]. ISSN 0022-1694. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169422000518>

PCM, 2017. DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM APRUEBAN EL REGLAMENTO DE ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA. 2017. S.I.: Perú

PCM, 2009. LEY N° 29338 LEY DE RECURSOS HIDRICOS S.I.: Perú

PRATT, C. (2003). Application of geosynthetics in sustainable drainage systems. [en línea]. En *Geosynthetics: Protecting the Environment: Proceedings of the 1st IGS UK Chapter National Geosynthetics Symposium held at The Nottingham Trent University on 17 June 2003* (págs. 121-135). Thomas Telford Publishing. [consulta en mayo 2023].

RAVELLO BOLO, Mirella et al., 2020. *Propuesta de concretos permeables para la captación de agua de lluvia en pavimentos de estacionamientos de hospitales en Arequipa* [en línea]. Trabajo fin de grado. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas [consulta en mayo 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10757/652418>

RODRIGUEZ HERNANDEZ, J. (2008). Estudio, análisis y diseño de secciones permeables de firmes para vías urbanas con un comportamiento adecuado frente a la colmatación y con la capacidad portante necesaria para soportar tráfico ligero. Universidad de Cantabria.

SAÑUDO FONTANEDA ,Luis ,2014 *Análisis de la infiltración de agua de lluvia en firmes permeables con superficies de adoquines y aglomerados porosos para*

*el control en origen de inundaciones* Universidad de Cantabria [en línea]. Trabajo fin de doctorado.España: Universidad de Cantabria [consulta en mayo de 2023].Disponible en: file:///C:/Users/PC/Downloads/Tesis%20LASF%20(1).pdf

SAÑUDO FONTANEDA, L., Castro-Fresno, D., Rodriguez-Hernandez, J., & Ballester Muñoz, F. (2010). Rainwater Energy Valorization through the Use of Permeable Pavements in Urban Areas. En XXXVII IAHS World Congress on Housing, Santander (Spain)

SAMBONI RUIZ, Natalia Eugenia; CARVAJAL ESCOBAR, Yesid; ESCOBAR, Juan Carlos. 2007. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. Ingeniería e investigación, Scielo [en línea].Colombia: Ingeniería e investigación, vol. 27, no 3, p. 172-181. ISSN 0120-5609. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s0120-56092007000300019&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s0120-56092007000300019&script=sci_arttext).

SINGH SOLANKI Jayraj, et al.,2021. Permeable low-density cellular concrete (PLDCC) as a replacement for aggregate layers in permeable parking lots. *Science Direct* [en línea]. Estados Unidos: Elsevier, vol.8 ,pp. 100060. [consulta en mayo de 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2021.100060>

TARIFEÑO FONSECA, Branco Yeltsin. 2019 Evaluación de las propiedades del concreto permeable en pavimentos especiales, Lambayeque. Universidad Señor de Sipán [en línea]. [consulta: julio del 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/6425/Tarife%C3%B1o%20Fonseca%20Branco%20Yeltsin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

TEYMOURI , Ehsan ,et al.,2020. Municipal Wastewater pretreatment using porous concrete containing fine-grained mineral adsorbents . *Science Direct* [en línea]. Irán: Elsevier, vol. 36, pp. 101346. [consulta en mayo 2023]. ISSN 19395-3697. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101346>

MALDONADO M, Julio Issac et al., 2018. Desempeño del concreto permeable con agregados reciclados combinados. *Ingeniería e Investigación* [en línea]. Bogotá: Scielo, vol.38 no.2, pp. 34-41[consulta en mayo 2023]. ISSN 0120-5609. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v38n2.67491>



VALERIANO MAMANI, Enrique. 2023 Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Yunguyo-Puno, Repositorio Alcira [en línea]. Perú. Disponible en:

[http://repositorio.upsc.edu.pe/bitstream/handle/UPSC/561/Enrique\\_VALERIANO\\_MAMANI.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.upsc.edu.pe/bitstream/handle/UPSC/561/Enrique_VALERIANO_MAMANI.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

VILLENA CHAVEZ, JORGE ,2018. .Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Simposio Agua, Saneamiento y Salud* . [en línea]. Perú

VILLÓN, Máximo, 2011. Hidrología. 3ra ed. Costa Rica: Villón, ISBN pag. 17.

Rev Peru Med Exp Salud Publica [consulta en mayo 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v35n2/a19v35n2.pdf>

YAN SOH,Qiao , et al., Optimization and Control of a Rainwater Detention and Harvesting Tank. Science Direct. *Elsevier* [en línea]. Londres: vol. 48, páginas 547-552[consulta: mayo del 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823377-1.50092-6>

YU. Fan, et al., 2023. A review of the pore structure of pervious concrete: Analyzing method, characterization parameters and the effect on performance. *Construction and Building Materials*. *Elsevier* [en línea]. China: vol. 365, pp. 129971 [consulta: febrero del 2023]. ISSN 0950-0618. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061822036273>

MALDONADO, Julio Isaac, et al.,2006 Elaboración curvas IDF esaciones: Villa Olga y Santa Isabel – Municipio de Cúcuta- Colombia. *Revista ambiental agua, aire y suelo*, 2006, no 1. Disponible en: <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/aaas/article/view/2052/2144>

## IX. ANEXOS

### Anexo I: Matriz de Consistencia

Título: “CONCRETO PERMEABLE EN LA GESTIÓN DE AGUAS PLUVIALES, A NIVEL PILOTO”						
Problema General	Objetivo general	Hipótesis general	Variable	Dimensiones	Indicador	Unidades
¿De qué manera el concreto permeable permite la gestión de aguas pluviales a nivel piloto?	Evaluar la aplicación del concreto permeable en la gestión de aguas pluviales a nivel piloto	La aplicación del concreto permeable como pavimento permite la adecuada gestión de aguas pluviales a nivel piloto.	V. INDEPENDIENTE: Concreto permeable	Estructura de poro	Porosidad	%
				Propiedades macroscópicas	Permeabilidad	cm/s
					Resistencia a la compresión	psi
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis general	Variable	Dimensiones	Indicador	Unidades
<b>P1:</b> ¿De qué manera se diseña el concreto permeable de acuerdo a la norma ACI522R para regular la gestión de aguas pluviales?	<b>O1:</b> Diseñar el concreto permeable de acuerdo a la norma ACI522R. <b>O2:</b> Determinar el porcentaje de reducción de escorrentía superficial mediante la aplicación del concreto permeable. <b>O3:</b> Comparar los parámetros de la calidad de agua antes y después de la infiltración en un concreto permeable	<b>H1:</b> La norma ACI 522R permite el diseño del concreto permeable a diferentes porcentajes de vacío, permeabilidad y resistencias a la compresión. <b>H2:</b> La escorrentía superficial es reducida en un gran porcentaje mediante la aplicación del concreto permeable como pavimento. <b>H3:</b> La calidad del agua es mejorada después de su infiltración en el concreto permeable como pavimento.	V. DEPENDIENTE Gestión de aguas pluviales	Inundaciones de aguas pluviales	Reducción de la escorrentía	%
Sólidos totales disueltos				mg/L		
Calidad del agua				DBO	mg/L	
<b>P3:</b> ¿De qué manera el concreto permeable permite mejorar la calidad del agua a nivel piloto?					Turbidez	NTU

## Anexo II: Ficha de recolección de análisis de materiales

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellido y nombres:
- 1.2. Cargo e institución donde labora:
- 1.3. Especialidad o línea de investigación:
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación:
- 1.5. Autores del instrumento:

<b>Título</b>	<b>CONCRETO PERMEABLE EN LA GESTIÓN DE AGUAS PLUVIALES</b>		
<b>Análisis de materiales</b>			
Línea de investigación	Ingeniería y Tecnología		
Escuela	Ingeniería Ambiental y RRNN		
Autores			
Asesor			
Fecha		Hora	
<b>Parámetros</b>			
Peso específico del agregado grueso			
Peso específico de agregado fino			
peso unitario seco suelto del agregado grueso			
Peso unitario seco suelto del agregado fino			
Peso unitario seco compactado del agregado grueso			
Peso unitario seco compactado del agregado fino			
porcentaje de absorción agregado grueso			
porcentaje de absorción agregado fino			
Humedad del agregado grueso			
Humedad del agregado fino			

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

El instrumento cumple con los  
requisitos para su aplicación

El instrumento NO cumple con los  
requisitos para su aplicación

<b>DNI:</b>  <b>N° CIP:</b>
-----------------------------------

Lugar y fecha:

### Anexo III: Ficha de recolección de la resistencia a la compresión

#### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellido y nombres:
- 1.2. Cargo e institución donde labora:
- 1.3. Especialidad o línea de investigación:
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación:
- 1.5. Autores del instrumento:

Titulo		CONCRETO PERMEABLE EN LA GESTIÓN DE AGUAS PLUVIALES							
Resistencia a la compresión y porosidad									
Línea de investigación	Ingeniería y Tecnología								
Escuela	Ingeniería Ambiental y RRNN								
Autores									
Asesor									
Fecha							Hora		
Parámetros	Dia 7			Dia 14			Dia 28		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
RC Diseño de mezcla I									
RC Diseño de mezcla II									
Porosidad Diseño de mezcla I									
Porosidad Diseño de mezcla II									

#### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

El instrumento cumple con los  
requisitos para su aplicación

El instrumento NO cumple con los  
requisitos para su aplicación

**DNI:**

**N° CIP:**

Lugar y fecha:

## Anexo IV: Ficha de recolección de escorrentía y calidad de aguas

### I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellido y nombres:
- 1.2. Cargo e institución donde labora:
- 1.3. Especialidad o línea de investigación:
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación:
- 1.5. Autores del instrumento:

<b>Título</b>	<b>CONCRETO PERMEABLE EN LA GESTIÓN DE AGUAS PLUVIALES</b>		
<b>VOLUMEN DE ESCORRENTIA Y CALIDAD DE AGUAS</b>			
Línea de investigación	Ingeniería y Tecnología		
Escuela	Ingeniería Ambiental y RRNN		
Autores			
Asesor			
Fecha		Hora	
Escorrentía			
Réplica	R1	R2	R3
Volumen de escorrentía sin CP			
Volumen de escorrentía con CP			
Calidad de aguas			
Solidos totales suspendidos (antes)			
Metales pesados (antes)			
Turbidez (antes)			
Solidos totales suspendidos (después)			
Metales pesados (después)			
Turbidez (después)			

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

El instrumento cumple con los  
requisitos para su aplicación

El instrumento NO cumple con los  
requisitos para su aplicación

**DNI:**

**N° CIP:**

## Anexo V: Formato de validación de instrumentos

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellido y nombres:
- 1.2. Cargo e institución donde labora:
- 1.3. Especialidad o línea de investigación:
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación:
- 1.5. Autores del instrumento:

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1.CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible													
2.OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos													
3.ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación													
4.ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica													
5.SUFICIENCIA	Toma en cuenta aspectos metodológicos esenciales													
6.INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis													
7.CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y científicos													
8.COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos ,hipótesis ,variables e indicadores													
9.METODOLOGÍA	La estrategia responde a una metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis													
10.PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico													

### III. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

El instrumento cumple con los

requisitos para su aplicación

El instrumento NO cumple con los

requisitos para su aplicación

**DNI:**

**N° CIP:**

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

Lima, 09 de Junio del 2023

## Anexo VI: Validación de instrumentos

Anexo III: Ficha de recolección de análisis de materiales

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y nombres: **Cabrera Carrillo Miguel Angel**  
 1.2. Cargo e institución donde labora: **OSITRAN**  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Ingeniero Civil**  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación:  
 1.5. Autores del instrumento:

Título		CONCRETO PERMEABLE EN LA GESTIÓN DE AGUAS PLUVIALES		
<b>Análisis de materiales</b>				
Línea de investigación	Ingeniería y Tecnología			
Escuela	Ingeniería Ambiental y RRNN			
Autores				
Asesor				
Fecha		Hora		
<b>Parámetros</b>				
Peso específico del agregado grueso				
Peso específico de agregado fino				
peso unitario seco suelto del agregado grueso				
Peso unitario seco suelto del agregado fino				
Peso unitario seco compactado del agregado grueso				
Peso unitario seco compactado del agregado fino				
porcentaje de absorción agregado grueso				
porcentaje de absorción agregado fino				
Humedad del agregado grueso				
Humedad del agregado fino				

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación



El instrumento NO cumple con los requisitos para su aplicación



DNI: 07595678 N° CIP: MIGUEL ANGEL CABRERA CARRILLO INGENIERO CIVIL Rev CIP N° 177	
---	---

Lugar y fecha: **Lima, 30 de junio del 2023**

**Anexo IV: Ficha de recolección de la resistencia a la compresión**

**I. DATOS GENERALES**

- 1.1. Apellidos y nombres: *Cabrera Carrillo Miguel Angel*  
 1.2. Cargo e institución donde labora: *OSITRAN*  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: *Ingeniero Civil*  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación:  
 1.5. Autores del instrumento:

Titulo		CONCRETO PERMEABLE EN LA GESTIÓN DE AGUAS PLUVIALES									
Resistencia a la compresión y porosidad											
Línea de investigación		Ingeniería y Tecnología									
Escuela		Ingeniería Ambiental y RRNN									
Autores											
Asesor											
Fecha								Hora			
Parámetros		Dia 7			Dia 14			Dia 28			
		R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	
RC Diseño de mezcla I											
RC Diseño de mezcla II											
Porosidad Diseño de mezcla I											
Porosidad Diseño de mezcla II											

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación



El instrumento NO cumple con los requisitos para su aplicación



DNI: 07595678
N° CIP: MIGUEL ANGEL CABRERA CARRILLO INGENIERO CIVIL Req CIP N° 417-2

Lugar y fecha: *Lima, 30 de junio del 2023*



**Anexo V: Ficha de recolección del volumen de escorrentía y calidad de aguas.**

**I. DATOS GENERALES:**

- 1.1. Apellidos y nombres: *Cabrera Carrillo Miguel Angel*  
 1.2. Cargo e institución donde labora: *OSITRAN*  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: *Ingeniero civil*  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación:  
 1.5. Autores del instrumento:

<b>Título</b>	<b>CONCRETO PERMEABLE EN LA GESTIÓN DE AGUAS PLUVIALES</b>		
<b>VOLUMEN DE ESCORRENTIA Y CALIDAD DE AGUAS</b>			
Línea de investigación	Ingeniería y Tecnología		
Escuela	Ingeniería Ambiental y RRNN		
Autores			
Asesor			
Fecha		Hora	
Escorrentía			
Réplica	R1	R2	R3
Volumen de escorrentía sin CP			
Volumen de escorrentía con CP			
Calidad de aguas			
Sólidos totales suspendidos (antes)			
Metales pesados (antes)			
Turbidez (antes)			
Sólidos totales suspendidos (después)			
Metales pesados (después)			
Turbidez (después)			

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación



El instrumento NO cumple con los requisitos para su aplicación



DNI: 07595678	
N° CIP: MIGUEL ANGEL CARRERA CARRILLO	
INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 41712	

Lugar y fecha: *Lima, 30 de junio del 2023*

### VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

**I. DATOS GENERALES**

- 1.1. Apellidos y nombres: *Cabrera Carrillo Miguel Angel*
- 1.2. Cargo e institución donde labora: *OSITRAN*
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: *Ingeniero Civil*
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación:
- 1.5. Autores del instrumento:

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos													X
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la hipótesis										X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y científicos											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde a una metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico											X		

**III. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación

El instrumento NO cumple con los requisitos para su aplicación

DNI: *07595678*

N° CIP: *MIGUEL ANGEL CABRERA CARRILLO*  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° *4172*



Lugar y fecha: *Lima, 30 de Junio del 2023*

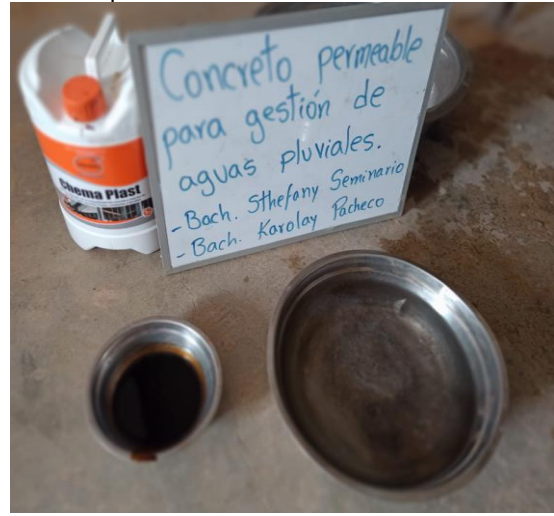
## Anexo VII: Registro fotográfico

Agregado grueso de la Cantera Huácar



Probetas con la mezcla al 10% de Agregado Fino

Aditivo y volumen de agua para la mezcla del concreto permeable



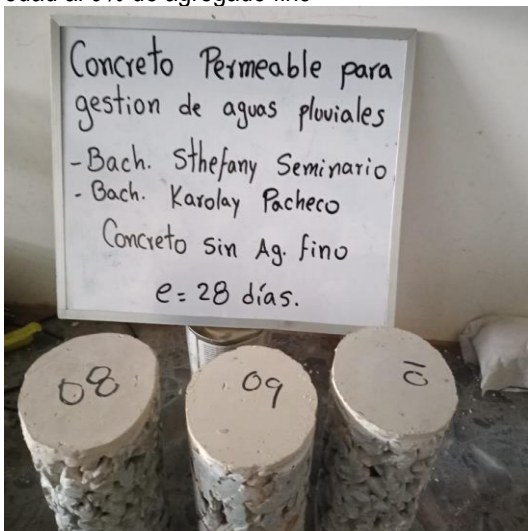
Probetas con mezcla de 10% de agregado fino y 0% de agregado fino.



Probetas con concreto permeable a los 28 días de edad al 0% de agregado fino



Probetas con concreto permeable a los 28 días de edad al 10% de agregado fino



Prueba de resistencia



Prueba de resistencia



## Anexo VII: Cálculos de IDF de las precipitaciones

T (años)	2	5	10	25	50	100	500
Pd	42.1099	55.9587	65.1277	76.7128	85.3073	93.8384	113.5523

Precipitación máxima								Intensidad de lluvia							
T (años)	2	5	10	25	50	100	500	min	2	5	10	25	50	100	500
24	42.1099	55.9587	65.1277	76.7128	85.3073	93.8384	113.5523	1440	1.7546	2.3316	2.7137	3.1964	3.5545	3.9099	4.7313
18	38.3200	50.9224	59.2662	69.8087	77.6297	85.3929	103.3326	1080	2.1289	2.8290	3.2926	3.8783	4.3128	4.7441	5.7407
12	33.6879	44.7669	52.1022	61.3703	68.2459	75.0707	90.8419	720	2.8073	3.7306	4.3418	5.1142	5.6872	6.2559	7.5702
8	28.6348	38.0519	44.2868	52.1647	58.0090	63.8101	77.2156	480	3.5793	4.7565	5.5359	6.5206	7.2511	7.9763	9.6519
6	25.6871	34.1348	39.7279	46.7948	52.0375	57.2414	69.2669	360	4.2812	5.6891	6.6213	7.7991	8.6729	9.5402	11.5445
5	24.0027	31.8964	37.1228	43.7263	48.6252	53.4879	64.7248	300	4.8005	6.3793	7.4246	8.7453	9.7250	10.6976	12.9450
4	21.8972	29.0985	33.8664	39.8907	44.3598	48.7960	59.0472	240	5.4743	7.2746	8.4666	9.9727	11.0900	12.1990	14.7618
3	19.3706	25.7410	29.9587	35.2879	39.2414	43.1657	52.2341	180	6.4569	8.5803	9.9862	11.7626	13.0805	14.3886	17.4114
2	16.4229	21.8239	25.3998	29.9180	33.2699	36.5970	44.2854	120	8.2114	10.9119	12.6999	14.9590	16.6349	18.2985	22.1427
1	12.6330	16.7876	19.5383	23.0138	25.5922	28.1515	34.0657	60	12.6330	16.7876	19.5383	23.0138	25.5922	28.1515	34.0657

T=2						T=5							
#	x	y	lnx	lny	lnx*lny	lnx*lnx	#	x	y	lnx	lny	lnx*lny	lnx*lnx
1	1440	1.7546	7.272398393	0.562229827	4.088759289	52.88777838	1	1440	2.3316	7.272398393	0.846559196	6.156515739	52.88777838
2	1080	2.1289	6.98471632	0.755601222	5.277660172	48.78626207	2	1080	2.8290	6.98471632	1.039930589	7.263620159	48.78626207
3	720	2.8073	6.579251212	1.032233456	6.791323217	43.28654651	3	720	3.7306	6.579251212	1.316562826	8.661997566	43.28654651
4	480	3.5793	6.173786104	1.275179635	7.872686309	38.11563486	4	480	4.7565	6.173786104	1.559509004	9.628075019	38.11563486
5	360	4.2812	5.886104031	1.454227865	8.559736506	34.64622067	5	360	5.6891	5.886104031	1.738557236	10.23332875	34.64622067
6	300	4.8005	5.703782475	1.568726827	8.947676581	32.53313452	6	300	6.3793	5.703782475	1.853056196	10.56942946	32.53313452
7	240	5.4743	5.480638923	1.700062829	9.317430511	30.03740301	7	240	7.2746	5.480638923	1.984392198	10.87573712	30.03740301
8	180	6.4569	5.192956851	1.865142579	9.685604934	26.96680086	8	180	8.5803	5.192956851	2.149471949	11.16211508	26.96680086
9	120	8.2114	4.787491743	2.105527937	10.08019761	22.92007719	9	120	10.9119	4.787491743	2.389857306	11.44142212	22.92007719
10	60	12.6330	4.094344562	2.536310853	10.38453055	16.76365739	10	60	16.7876	4.094344562	2.820640222	11.54867296	16.76365739

T=10						T=25							
#	x	y	lnx	lny	lnx*lny	lnx*lnx	#	x	y	lnx	lny	lnx*lny	lnx*lnx
1	1440	2.7137	7.272398393	0.998296214	7.260007784	52.88777838	1	1440	3.1964	7.272398393	1.162015161	8.4506	52.8878
2	1080	3.2926	6.98471632	1.191667607	8.323460184	48.78626207	2	1080	3.8783	6.98471632	1.355386554	9.4670	48.7863
3	720	4.3418	6.579251212	1.468299843	9.660313525	43.28654651	3	720	5.1142	6.579251212	1.63201879	10.7375	43.2865
4	480	5.5359	6.173786104	1.711246022	10.56486691	38.11563486	4	480	6.5206	6.173786104	1.874964968	11.5756	38.1156
5	360	6.6213	5.886104031	1.890294254	11.12646863	34.64622067	5	360	7.7991	5.886104031	2.0540132	12.0901	34.6462
6	300	7.4246	5.703782475	2.004793214	11.4349044	32.53313452	6	300	8.7453	5.703782475	2.16851216	12.3687	32.5331
7	240	8.4666	5.480638923	2.136129216	11.70735293	30.03740301	7	240	9.9727	5.480638923	2.299848162	12.6046	30.0374
8	180	9.9862	5.192956851	2.301208966	11.95007887	26.96680086	8	180	11.7626	5.192956851	2.464927913	12.8003	26.9668
9	120	12.6999	4.787491743	2.541594324	12.16786184	22.92007719	9	120	14.9590	4.787491743	2.705313271	12.9517	22.9201
10	60	19.5383	4.094344562	2.97237724	12.16993659	16.76365739	10	60	23.0138	4.094344562	3.136096187	12.8403	16.7637

T=50						T=100							
#	x	y	lnx	lny	lnx*lny	lnx*lnx	#	x	y	lnx	lny	lnx*lny	lnx*lnx
1	1440	3.5545	7.272398393	1.268206669	9.2229	52.8878	1	1440	3.9099	7.272398393	1.363520192	9.9161	52.8878
2	1080	4.3128	6.98471632	1.461578062	10.2087	48.7863	2	1080	4.7441	6.98471632	1.556891585	10.8744	48.7863
3	720	5.6872	6.579251212	1.738210298	11.4361	43.2865	3	720	6.2559	6.579251212	1.833523822	12.0632	43.2865
4	480	7.2511	6.173786104	1.981156477	12.2312	38.1156	4	480	7.9763	6.173786104	2.07647	12.8197	38.1156
5	360	8.6729	5.886104031	2.162004708	12.7152	34.6462	5	360	9.5402	5.886104031	2.25551832	13.2762	34.6462
6	300	9.7250	5.703782475	2.274703669	12.9744	32.5331	6	300	10.6976	5.703782475	2.370017192	13.5181	32.5331
7	240	11.0900	5.480638923	2.406039671	13.1866	30.0374	7	240	12.1990	5.480638923	2.501353194	13.7090	30.0374
8	180	13.0805	5.192956851	2.571119421	13.3517	26.9668	8	180	14.3886	5.192956851	2.666432945	13.8467	26.9668
9	120	16.6349	4.787491743	2.811504779	13.4601	22.9201	9	120	18.2985	4.787491743	2.906818302	13.9164	22.9201
10	60	25.5922	4.094344562	3.242287695	13.2750	16.7637	10	60	28.1515	4.094344562	3.337601219	13.6653	16.7637

T=500						Regresión Potencial									
#	x	y	lnx	lny	lnx*lny	lnx*lnx	#	T	[d]	[n]	lnT	ln d	lnT*ln d	lnT*lnT	
1	1440	4.7313	7.272398393	1.554210017	11.3028	52.8878	1	2	159.1977	-0.6163861	0.693147181	5.070146606	3.514357825	0.480453014	
2	1080	5.7407	6.98471632	1.74758141	12.2064	48.7863	2	5	211.5531	-0.6163861	1.609437912	5.354475976	8.617696636	2.590290394	
3	720	7.5702	6.579251212	2.024213647	13.3178	43.2865	3	10	246.2169	-0.6163861	2.302585093	5.506212993	12.67852396	5.30189811	
4	480	9.6519	6.173786104	2.267159825	13.9970	38.1156	4	25	290.0148	-0.6163861	3.218875825	5.66993194	18.25080685	10.36116158	
5	360	11.5445	5.886104031	2.446208057	14.3986	34.6462	5	50	322.5066	-0.6163861	3.912023005	5.776123448	22.59632781	15.30392399	
6	300	12.9450	5.703782475	2.560707017	14.6057	32.5331	6	100	354.7584	-0.6163861	4.605170186	5.871436972	27.03896649	21.20759244	
7	240	14.7618	5.480638923	2.692043019	14.7541	30.0374	7	500	429.2875	-0.6163861	6.214608098	6.062126797	37.67374228	38.62135382	
8	180	17.4114	5.192956851	2.85712277	14.8369	26.9668	7				Suma	22.5558	39.3105	130.3704	93.8667
9	120	22.1427	4.787491743	3.097508127	14.8293	22.9201	7								
10	60	34.0657	4.094344562	3.528291043	14.4460	16.7637	10								

Ln(d)=	5.0701
d=	159.1977
n=	-0.6164

Ln(d)=	5.3545
d=	211.5531
n=	-0.6164

Ln(d)=	5.5062
d=	246.2169
n=	-0.6164

Ln(d)=	5.6699
d=	290.0148
n=	-0.6164

Ln(d)=	5.7761
d=	322.5066
n=	-0.6164

Ln(d)=	5.8714
d=	354.7584
n=	-0.6164

Ln(K)=	5.0528
K=	156.4533
m=	0.1747
n=	0.6164

## Anexo VIII: Resultados de laboratorio de pruebas de resistencia a la compresión sin agregado fino

### ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO - NTP 339.034

TESIS : CONCRETO PERMEABLE PARA GESTIÓN DE AGUAS PLUVIALES

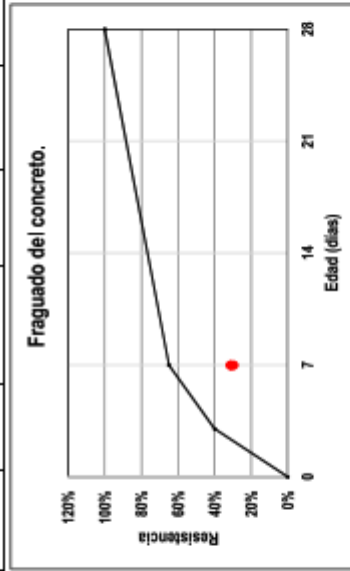
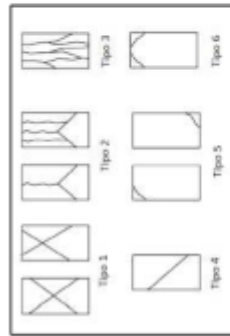
UBICACIÓN : CANTERA HUÁCAR, HUÁCAR, AMBO, HUÁNUCO

TESISTA : BACH. STEFANY ARIANY SEMINARIO PORTILLO Y BACH. KAROLAY DALILA PACHECO SOTO

OBSERVACIONES: Muestra elaborada por el cliente con la supervisión del jefe de laboratorio

DATOS DE DISEÑO		f'c	FECHA MOLDE	FECHA ROTURA	EDAD	DIÁMETRO	AREA	CARGA	ESFUERZO DE ROTURA	TIPO DE FALLA	RESISTENCIA
CONCRETO PERMEABLE SIN AGREGADO FINO	1	175kg/cm <sup>2</sup>	20/05/2023	27/05/2023	7días	10.16cm	81.07cm <sup>2</sup>	4430kg	55kg/cm <sup>2</sup>	2	31.22%
	2	175kg/cm <sup>2</sup>	20/05/2023	27/05/2023	7días	10.16cm	81.07cm <sup>2</sup>	4400kg	54kg/cm <sup>2</sup>	2	31.01%
	3	175kg/cm <sup>2</sup>	20/05/2023	27/05/2023	7días	10.16cm	81.07cm <sup>2</sup>	4190kg	52kg/cm <sup>2</sup>	3	29.53%

TIPO DE FALLA



*[Firma]*  
 Jeremy García Martel Peña  
 Ingeniero Civil  
 Reg. CIP N° 289464

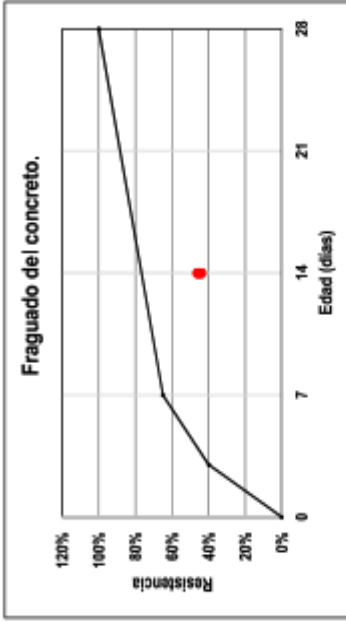
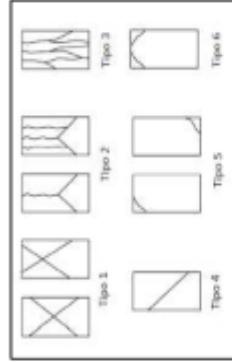
**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO - NTP 339.034**

TESIS : CONCRETO PERMEABLE PARA GESTIÓN DE AGUAS PLUVIALES  
 UBICACIÓN : CANTERA HUÁCAR, HUÁCAR, AMBO, HUÁNUCO  
 TESISTA : BACH. STEHFANY ARIANY SEMINARIO PORTILLO Y BACH. KAROLAY DALILA PACHECO SOTO

OBSERVACIONES: Muestra elaborada por el cliente con la supervisión de jefe la laboratorio

DATOS DE DISEÑO		f <sub>c</sub>	FECHA MOLDE	FECHA ROTURA	EDAD	DIÁMETRO	AREA	CARGA	ESFUERZO DE ROTURA	TIPO DE FALLA	RESISTENCIA
CONCRETO PERMEABLE SIN AGREGADO FINO	1	175kg/cm <sup>2</sup>	20/05/2023	03/06/2023	14días	10.16cm	81.07cm <sup>2</sup>	6560kg	81kg/cm <sup>2</sup>	3	46.24%
	2	175kg/cm <sup>2</sup>	20/05/2023	03/06/2023	14días	10.16cm	81.07cm <sup>2</sup>	6210kg	77kg/cm <sup>2</sup>	2	43.77%
	3	175kg/cm <sup>2</sup>	20/05/2023	03/06/2023	14días	10.16cm	81.07cm <sup>2</sup>	6430kg	79kg/cm <sup>2</sup>	3	45.32%

**TIPO DE FALLA**



*[Signature]*  
**Jeremy Gabriel Mariel Peña**  
 Ingeniero Civil  
 Reg. CIP N° 29946A

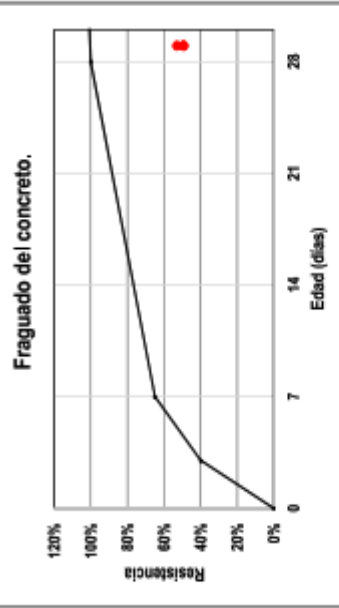
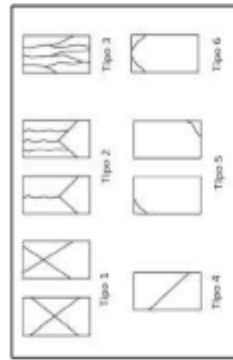
**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO - NTP 339.034**

TESIS : CONCRETO PERMEABLE PARA GESTIÓN DE AGUAS PLUVIALES  
 UBICACIÓN : CANTERA HUÁCAR, HUÁCAR, AMBO, HUÁNUCO  
 TESISTA : BACH. STEFANY ARIANY SEMINARIO PORTILLO Y BACH. KAROLAY DALILA PACHECO SOTO

OBSERVACIONES: Muestra elaborada por el cliente con la supervisión de jefe la laboratorio

DATOS DE DISEÑO		f'c	FECHA MOLDE	FECHA ROTURA	EDAD	DIÁMETRO	AREA	CARGA	ESFUERZO DE ROTURA	TIPO DE FALLA	RESISTENCIA
CONCRETO PERMEABLE SIN AGREGADO FINO	1	175kg/cm2	20/05/2023	18/06/2023	29días	10.16cm	81.07cm2	6990kg	86kg/cm2	3	49.27%
	2	175kg/cm2	20/05/2023	18/06/2023	29días	10.16cm	81.07cm2	7020kg	87kg/cm2	3	49.48%
	3	175kg/cm2	20/05/2023	18/06/2023	29días	10.16cm	81.07cm2	7510kg	93kg/cm2	2	52.93%

**TIPO DE FALLA**



*[Signature]*  
**Jhemy Gael Maril Peña**  
 Ingeniero Civil  
 Reg. CIP N° 299464



## Anexo IX: Resultados de laboratorio de pruebas de granulometría



ESTUDIO DE CANTERAS

AGREGADOS PARA CONCRETO

PROYECTO : CONCRETO PERMEABLE PARA GESTIÓN DE AGUAS PLUVIALES  
 UBICACIÓN : CANTERA HUÁCAR, HUÁCAR, AMBO, HUÁNUCO  
 SOLICITA : BACH. STHEFANY ARIANY SEMINARIO PORTILLO Y BACH. KAROLAY DALILA PACHECO SOTO  
 CANTERA : YANAG  
 FECHA : MAYO DEL 2023

### ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO - NTP 400.021

MUESTRA		M - 1	M - 2	M - 3	M - 4
Peso de Matraz + Agregado	gr.	748.7	673.2	751.7	646.4
Peso de Matraz + Agregado + Agua	gr.	1102.1	1056.0	1105.0	1037.6
Peso de Matraz	gr.	365.2	365.2	365.2	365.2
Volumen de Matraz	cm <sup>3</sup> ,	500	500	500	500
Peso Especifico del agua	cm <sup>3</sup> ,	1.00	1.00	1.00	1.00
Peso del Agregado	gr.	383.50	308.00	386.50	281.20
Peso del Agua	gr.	353.40	382.80	353.30	391.20
Volumen del agua	cm <sup>3</sup> ,	353.40	382.80	353.30	391.20
Volumen del Agregado	cm <sup>3</sup> ,	146.60	117.20	146.70	108.80
Peso Especifico	gr./cm <sup>3</sup> .	2.62	2.63	2.63	2.58

Peso Especifico del agregado grueso = 2.62 gr/cm<sup>3</sup>

### ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - NTP 400.022

MUESTRA		M - 1	M - 2	M - 3	M - 4
Peso de Matraz + Agregado	gr.	532.1	472.3	484.9	585.0
Peso de Matraz + Agregado + Agua	gr.	1074.9	1033.1	1042.4	1094.3
Peso de Matraz	gr.	78.3	78.3	78.3	78.3
Volumen de Matraz	cm <sup>3</sup> ,	750	750	750	750
Peso Especifico del agua	cm <sup>3</sup> ,	1.00	1.00	1.00	1.00
Peso del Agregado	gr.	453.80	394.00	406.60	506.70
Peso del Agua	gr.	542.80	560.80	557.50	509.30
Volumen del agua	cm <sup>3</sup> ,	542.80	560.80	557.50	509.30
Volumen del Agregado	cm <sup>3</sup> ,	207.20	189.20	192.50	240.70
Peso Especifico	gr./cm <sup>3</sup> .	2.19	2.08	2.11	2.11

Peso Especifico del agregado grueso = 2.12 gr/cm<sup>3</sup>

  
  
 Jhemy Gadiel Martel Peña  
 Ingeniero Civil  
 Reg. CIP N° 299464

PROYECTO : CONCRETO PERMEABLE PARA GESTIÓN DE AGUAS PLUVIALES  
 UBICACIÓN : CANTERA HUÁCAR, HUÁCAR, AMBO, HUÁNUCO  
 SOLICITA : BACH. STHEFANY ARIANY SEMINARIO PORTILLO Y BACH. KAROLAY DALILA PACHECO SOTO  
 CANTERA : YANAG  
 FECHA : MAYO DEL 2023

**PESO UNITARIO SECO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO - NTP 400.017**

MUESTRA		M - 1	M - 2	M - 3	M - 4
Peso seco del agregado + recipiente	gr.	14798.0	14924.0	14753.0	14818.0
Peso del recipiente	gr.	2243.0	2243.0	2243.0	2243.0
Volumen de recipiente	cm3.	9313.0	9313.0	9313.0	9313.0
Peso del Agregado Fino	gr.	12555	12681	12510	12575
Peso unitario suelto seco	kg/m3.	1348.12	1361.65	1343.28	1350.26

Peso Unitario Seco Suelto del agregado grueso = 1350.83 kg/m3

**PESO UNITARIO SECO SUELTO DEL AGREGADO FINO - NTP 400.017**

MUESTRA		M - 1	M - 2	M - 3	M - 4
Peso seco del agregado + recipiente	gr.	5042.0	5015.0	5060.0	5012.0
Peso del recipiente	gr.	1150.0	1150.0	1150.0	1150.0
Volumen de recipiente	cm3.	2633.1	2633.1	2633.1	2633.1
Peso del Agregado Fino	gr.	3892	3865	3910	3862
Peso unitario suelto seco	kg/m3.	1478.13	1467.88	1484.97	1466.74

Peso Unitario Seco Suelto del agregado fino = 1474.43 kg/m3

  
 Jhemy Godiel Marial Peña  
 Ingeniero Civil  
 Reg. CIP N° 299464

PROYECTO : CONCRETO PERMEABLE PARA GESTIÓN DE AGUAS PLUVIALES  
UBICACIÓN : CANTERA HUÁCAR, HUÁCAR, AMBO, HUÁNUCO  
SOLICITA : BACH. STEHFANY ARIANY SEMINARIO PORTILLO Y BACH. KAROLAY DALILA PACHECO SOTO  
CANTERA : YANAG  
FECHA : MAYO DEL 2023

**PESO UNITARIO SECO COMPACTO DEL AGREGADO GRUESO - NTP 400.017**

MUESTRA		M - 1	M - 2	M - 3	M - 4
Peso seco del agregado + recipiente	gr.	16229.0	16314.0	16395.0	16321.0
Peso del recipiente	gr.	2243.0	2243.0	2243.0	2243.0
Volumen de recipiente	cm3.	9313.0	9313.0	9313.0	9313.0
Peso del Agregado Fino	gr.	13986	14071	14152	14078
Peso unitario suelto seco	kg/m3.	1501.77	1510.90	1519.60	1511.65

Peso Unitario Seco Compacto del agregado grueso = 1510.98 kg/m3

**PESO UNITARIO SECO COMPACTO DEL AGREGADO FINO - NTP 400.017**

MUESTRA		M - 1	M - 2	M - 3	M - 4
Peso seco del agregado + recipiente	gr.	5703.0	5602.0	5666.0	5787.0
Peso del recipiente	gr.	1150.0	1150.0	1150.0	1150.0
Volumen de recipiente	cm3.	2633.1	2633.1	2633.1	2633.1
Peso del Agregado Fino	gr.	4553	4452	4516	4637
Peso unitario suelto seco	kg/m3.	1729.17	1690.81	1715.12	1761.08

Peso Unitario Seco Compacto del agregado fino = 1724.05 kg/m3

**Jhemy Gadiel Marín Peña**  
Ingeniero Civil  
Reg. CIP N° 299464

PROYECTO : CONCRETO PERMEABLE PARA GESTIÓN DE AGUAS PLUVIALES  
 UBICACIÓN : CANTERA HUÁCAR, HUÁCAR, AMBO, HUÁNUCO  
 SOLICITA : BACH. STHEFANY ARIANY SEMINARIO PORTILLO Y BACH. KAROLAY DALILA PACHECO SOTO  
 CANTERA : YANAG  
 FECHA : MAYO DEL 2023

**ENSAYO DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO - NTP 400.021**

MUESTRA		M - 1	M - 2	M - 3	M - 4
Peso húmedo + recipiente	gr.	232.8	241.9	251.3	232.0
Peso seco + recipiente	gr.	230.5	239.0	248.0	229.5
Peso del recipiente	gr.	39.4	39.2	39.2	37.9
Peso del Agua	gr.	2.30	2.90	3.30	2.50
Peso de los sólidos	gr.	191.10	199.80	208.80	191.60
Absorción	%	1.20%	1.45%	1.58%	1.30%

Absorción del agregado grueso = 1.39%

**ENSAYO DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO - NTP 400.022**

MUESTRA		M - 1	M - 2	M - 3	M - 4
Peso húmedo + recipiente	gr.	171.4	169.8	187.1	186.8
Peso seco + recipiente	gr.	167.7	166.1	183.1	182.1
Peso del recipiente	gr.	58.4	58.7	58.2	58.3
Peso del Agua	gr.	3.70	3.70	4.00	4.70
Peso de los sólidos	gr.	109.30	107.40	124.90	123.80
Absorción	%	3.39%	3.45%	3.20%	3.80%

Absorción del agregado fino = 3.46%

  
  
 Jhemy Gadriel Martel Peña  
 Ingeniero Civil  
 Reg. CIP N° 299464

PROYECTO : CONCRETO PERMEABLE PARA GESTIÓN DE AGUAS PLUVIALES  
 UBICACIÓN : CANTERA HUÁCAR, HUÁCAR, AMBO, HUÁNUCO  
 SOLICITA : BACH. STHEFANY ARIANY SEMINARIO PORTILLO Y BACH. KAROLAY DALILA PACHECO SOTO  
 CANTERA : YANAG  
 FECHA : MAYO DEL 2023

**ENSAYO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO - NTP 339.185**

MUESTRA		M - 1	M - 2
Peso húmedo + recipiente	gr.	194.4	177.5
Peso seco + recipiente	gr.	194.0	177.1
Peso del recipiente	gr.	39.4	37.9
Peso del Agua	gr.	0.40	0.40
Peso de los sólidos	gr.	154.60	139.20
Humedad	%	0.26%	0.29%

Humedad del agregado grueso = 0.27%

**ENSAYO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO - NTP 339.185**

MUESTRA		M - 1	M - 2
Peso húmedo + recipiente	gr.	172.5	151.8
Peso seco + recipiente	gr.	164.5	145.0
Peso del recipiente	gr.	58.4	58.7
Peso del Agua	gr.	8.00	6.80
Peso de los sólidos	gr.	106.10	86.30
Humedad	%	7.54%	7.88%

Humedad del agregado fino = 7.71%

  
 Jhemy Gadiel Maríel Peña  
 Ingeniero Civil  
 Reg. CIP N° 299464

TESIS : CONCRETO PERMEABLE PARA GESTIÓN DE AGUAS PLUVIALES  
 UBICACIÓN : CANTERA HUÁCAR, HUÁCAR, AMBO, HUÁNUCO  
 SOLICITA : BACH. STHEFANY ARIANY SEMINARIO PORTILLO Y BACH. KAROLAY DALILA PACHECO SOTO  
 CANTERA : YANAG  
 FECHA : MAYO DEL 2023

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO - NTP 400.012**

TAMIZ N°	Tamiz (mm)	Peso Retenido	Retenido (%)	Retenido acum. (%)	Pasa (%)
4"	101.60	0.00	0.00	0.00	100.00
3 1/2"	88.90	0.00	0.00	0.00	100.00
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	1219.20	59.01	59.01	40.99
3/8"	9.53	545.40	26.40	85.40	14.60
N° 4	4.76	267.30	12.94	98.34	1.66
N° 8	2.36	2.90	0.14	98.48	1.52
N° 16	1.18	1.00	0.05	98.53	1.47
N° 30	0.59	7.00	0.34	98.87	1.13
N° 50	0.30	4.20	0.20	99.07	0.93
N° 100	0.15	8.20	0.40	99.47	0.53
N° 200	0.07	10.40	0.50	99.97	0.03
CAZOLETA	0.00	0.60	0.03	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>2066.20</b>			

GRANULOMETRÍA	
Peso de la Muestra Húmeda	2205.30 gr
Peso de la Muestra Seca	2205.00 gr
Peso de la Muestra Seca Lavada	2204.40 gr
Peso de la Tara	138.80 gr

LÍMITES DE ATTERBERG	
Límite líquido LL	NP
Límite plástico LP	NP
Ind. de Plasticidad IP	NP

Pasa tamiz N° 4 :	1.66
Pasa tamiz N° 200:	0.03
Módulo de Finesa	6.78
Huso	# 57
Tamaño Máximo Nomina	3/4"



Observaciones: Granulometría en el límite

*[Firma]*  
 Jeremy Gadiel Martel Peña  
 Ingeniero Civil  
 Reg. CIP N° 299464

TESIS : CONCRETO PERMEABLE PARA GESTIÓN DE AGUAS PLUVIALES  
 UBICACIÓN : CANTERA HUÁCAR, HUÁCAR, AMBO, HUÁNUCO  
 SOLICITA : BACH. STEFANY ARIANY SEMINARIO PORTILLO Y BACH. KAROLAY DALILA PACHECO SOTO  
 CANTERA : YANAG  
 FECHA : MAYO DEL 2023

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO - NTP 400.012**

TAMIZ Nº	Tamiz (mm)	Peso Retenido	Retenido (%)	Retenido acum. (%)	Pasa (%)
4"	101.60	0.00	0.00	0.00	100.00
3 1/2"	88.90	0.00	0.00	0.00	100.00
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 4	4.76	14.50	0.76	0.76	99.24
Nº 8	2.36	353.00	18.60	19.36	80.64
Nº 16	1.18	429.60	22.63	41.99	58.01
Nº 30	0.59	338.00	17.81	59.80	40.20
Nº 50	0.30	369.00	19.44	79.23	20.77
Nº 100	0.15	128.00	6.74	85.98	14.02
Nº 200	0.07	28.20	1.49	87.46	12.54
CAZOLETA	0.00	238.00	12.54	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>1898.30</b>			

Peso de la Muestra Húmeda	2040.80 gr
Peso de la Muestra Seca	2039.00 gr
Peso de la Muestra Seca Lavada	1801.00 gr
Peso de la Tara	140.70 gr

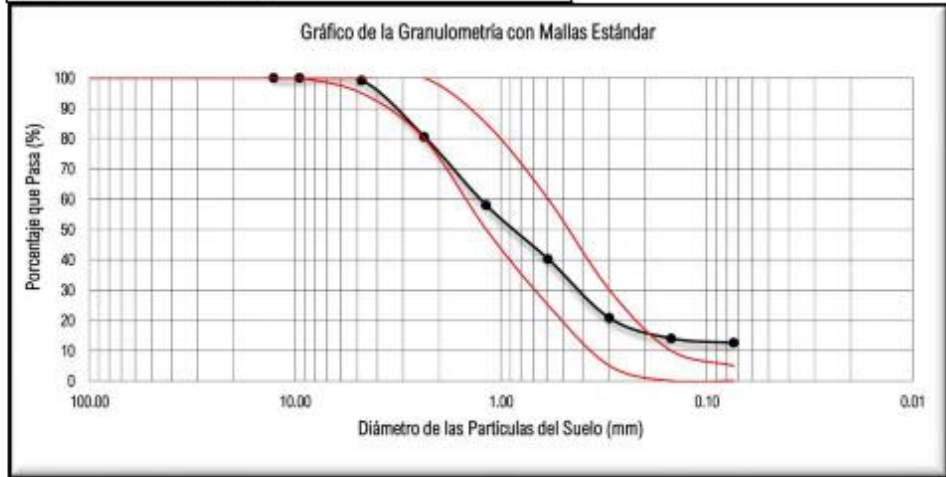
GRANULOMETRÍA	
Cantidad de Grava	0.76 %
Cantidad de Arena	86.70 %
Cantidad de Limo-Arcilla	12.54 %

LÍMITES DE ATTERBERG	
Límite líquido LL	NP
Límite plástico LP	NP
Ind. de Plasticidad IP	NP

Pasa tamiz Nº 4 :	99.24
Pasa tamiz Nº 200:	12.54
Módulo de Finesa	2.87
Huso	Arena Gruesa
Tamaño Máximo Nominal	-



Observaciones: Granulometría en el límite. Requiere lavado.

  
**Jhemy Gadiel Maríel Peña**  
 Ingeniero Civil  
 Reg. CIP Nº 299464

# Anexo X: Calibración de los instrumentos de laboratorio



**Punto de Precisión SAC**  
 LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL  
 ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
 CON REGISTRO N° LC - 033



**Punto de Precisión SAC**  
 LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL  
 ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
 CON REGISTRO N° LC - 033



## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-399-2022

Página 1 de 3

Expediente : 113-2022  
 Fecha de Emisión : 2022-06-25

1. Solicitante : CONSULTORA Y CONSTRUCTORA GEO ESTRUCTURAS S.A.C.  
 Dirección : JR. LOS EUCALIPTOS MZA. F. LOTE. 25 URB. LOS PORTALES - AMARILIS - HUANUCO

2. Instrumento de Medición : BALANZA  
 Marca : AND  
 Modelo : EK-6100I  
 Número de Serie : 6A440809  
 Alcance de Indicación : 6 000 g  
 División de Escala de Verificación ( a ) : 0,1 g  
 División de Escala Real ( d ) : 0,1 g  
 Procedencia : KOREA  
 Identificación : NO INDICA  
 Tipo : ELECTRÓNICA  
 Ubicación : LABORATORIO  
 Fecha de Calibración : 2022-06-23

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la Medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones en que se realizarán las mediciones y no debe ser utilizado como certificado de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

### 3. Método de Calibración

La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-011 4ta Edición, 2010, Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase I y II del SNM-INDECOPI.

### 4. Lugar de Calibración

LABORATORIO de CONSULTORA Y CONSTRUCTORA GEO ESTRUCTURAS S.A.C.  
 JR. LOS EUCALIPTOS MZA. F. LOTE. 25 URB. LOS PORTALES - AMARILIS - HUANUCO



PT-06-F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

Jefe de Laboratorio  
 Ing. Luis Loayza Capcha  
 Reg. CIP N° 152831

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Tel# 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntoderecision@hotmail.com

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-399-2022

Página 1 de 3

Expediente : 113-2022  
 Fecha de Emisión : 2022-06-25

1. Solicitante : CONSULTORA Y CONSTRUCTORA GEO ESTRUCTURAS S.A.C.  
 Dirección : JR. LOS EUCALIPTOS MZA. F. LOTE. 25 URB. LOS PORTALES - AMARILIS - HUANUCO

2. Instrumento de Medición : BALANZA  
 Marca : AND  
 Modelo : EK-6100I  
 Número de Serie : 6A440809  
 Alcance de Indicación : 6 000 g  
 División de Escala de Verificación ( a ) : 0,1 g  
 División de Escala Real ( d ) : 0,1 g  
 Procedencia : KOREA  
 Identificación : NO INDICA  
 Tipo : ELECTRÓNICA  
 Ubicación : LABORATORIO  
 Fecha de Calibración : 2022-06-23

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la Medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones en que se realizarán las mediciones y no debe ser utilizado como certificado de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

### 3. Método de Calibración

La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-011 4ta Edición, 2010, Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase I y II del SNM-INDECOPI.

### 4. Lugar de Calibración

LABORATORIO de CONSULTORA Y CONSTRUCTORA GEO ESTRUCTURAS S.A.C.  
 JR. LOS EUCALIPTOS MZA. F. LOTE. 25 URB. LOS PORTALES - AMARILIS - HUANUCO



PT-06-F06 / Diciembre 2016 / Rev 02


Jefe de Laboratorio  
 Ing. Luis Loayza Capcha  
 Reg. CIP N° 152831

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Tel# 292-5106




# Anexo XI: Resultados de Calidad de agua

NTP ISO/IEC17025



**AUROLAB**  
LABORATORIO AMBIENTAL Y OCEANOGRÁFICO



**INACAL**  
DA - Perú  
Laboratorio  
Acreditado

Registro IFLD - 284

**AUROLABORATORIO E INGENIERIA S.A.C**  
Laboratorio de Ensayo

**INFORME DE ENSAYO**

**N°: IE – 23 – 0147**

**I. Solicitante**

Cliente : Bach. Seminario Portillo Sthefany, Bach. Pacheco Soto Karolay

Dirección : Urb. California, Mz A LT 7, Calle Los Cipreses – Lurigancho, Lima

Proyecto : CONCRETO PERMEABLE EN LA GESTIÓN DE AGUAS PLUVIALES A NIVEL PILOTO

Procedencia : Huánuco

Muestreo Realizado : Cliente

Orden de servicio : OS – 2023 - 143

Fecha de Emisión de Informe : 01/08/2023

**II. Datos de ítem de ensayo**

Matriz : Agua Natural

Fecha y Hora Recepción de Muestra : 15/07/2023

Número de Muestras : 7

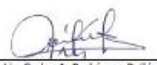
Fecha de Inicio de Ensayo : 15/07/2023

Lugar donde se Realizó el Ensayo : Aurolaboratorio e Ingeniería S.A.C

**III. Condiciones Ambientales**

Temperatura : 24° C

Humedad : 56%



Lic. Carlos A. Rodríguez Bailón  
Jefe de Laboratorio  
**CQP N°1212**

Puente Piedra Mz. A Lote. 5 AA.HH. Nueva Canadá  
www.aurolab.com.pe  
Cel: 987 635 105 / 952 357 821  
E-mail: comercial@aurolab.com.pe

**Rev: 00**  
**Fecha: 09/01/2022**  
**Código: FLAB 055**



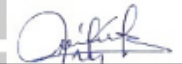
## IV. Metodología de Ensayo

Agua						
PARAMETRO	MÉTODO	TÍTULO	L.D.M	L.C.M	UNIDAD	OBSERVACIONES
Sólidos Suspendidos Totales	Standard Methods 2540 "D" Total Suspended Solids Dried at 103°C – 105°C Pág. 2-70 / 2-72	"Standard Methods "for the Examination of Water and Wastewater 23 rd Edition - 2017 "	2	5	mg/L	Agua Natural
Turbidez <sup>(*)</sup>	SMEWWAPHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23rd. Ed. 2017	Turbidity, Nephelometric Method	0.01	2	NTU	Agua Natural
DBO <sup>(*)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test	2	2	mg/L	Agua Natural

L.D.M: Limite de detección del método  
L.C.M: Limite de cuantificación del método

N.A : No Aplica

(\*) Método no acreditado por AUROLABORATORIO E INGENIERIA SAC ante INACAL-DA.



Lic. Carlos A. Rodríguez Bailón  
Jefe de Laboratorio  
**CQP N°1212**

v. Resultados

Descripción del punto de muestreo		M-0	M-1	M-2	M-3
Fecha/Hora de muestreo		14/07/2023 10:30 hrs	14/07/2023 10:45 hrs	14/07/2023 11:00 hrs	14/07/2023 11:15 hrs
Tipo de muestra		Agua natural	Agua natural	Agua natural	Agua natural
Coordenadas del punto de muestreo		N: 8902003.83 E: 363818.23	N: 8902003.83 E: 363818.23	N: 8902003.83 E: 363818.23	N: 8902003.83 E: 363818.23
Parámetro	Unidades	Resultados			
SST	mg/L	248	52	48	51
Turbidez(*)	NTU	250	15	18	17
DBO(*)	mg/L	71	5	7	10

Descripción del punto de muestreo		M-4	M-5	M-6
Fecha/Hora de muestreo		14/07/2023 11:30 hrs	14/07/2023 11:45 hrs	14/07/2023 12:00 hrs
Tipo de muestra		Agua natural	Agua natural	Agua natural
Coordenadas del punto de muestreo		N: 8902003.83 E: 363818.23	N: 8902003.83 E: 363818.23	N: 8902003.83 E: 363818.23
Parámetro	Unidades	Resultados		
SST	mg/L	62	63	58
Turbidez(*)	NTU	22	28	25
DBO(*)	mg/L	12	14	11