

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL: DE INGENIERÍA CIVIL**



**Tesis**

**Influencia de la estructura de pavimento rígido permeable para el drenaje pluvial en la  
Urbanización los Chankas – 2023**

Asesor:

MSc. Gálvez Quintana Marco Antonio

Autores:

Hurtado Ortega, Edy

Sierra Córdova, Andrés Anthony

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Abancay- Apurímac – Perú

2025

# Acta de sustentación



## Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas  
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 042

En la ciudad de Abancay, a los 22 días del mes de enero del 2025, siendo las 9:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 025-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 13 de enero del 2025, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	MSc. Ing. Angel, Maldonado Mendivil
Dictaminante :	Ing. Edwin Reynaldo, Espinoza Asto
Replicante :	Ing. Marco Antonio, Morales Holguin

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis       Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Influencia de la estructura de pavimento rígido permeable para drenaje pluvial en la urbanización los Chancas - 2023

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br: ANDRES ANTHONY, SIERRA CORDOVA

Br: EDY, HURTADO ORTEGA

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

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

Por: Unanimidad

(Unanimidad o Mayoría) (\*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Andres Anthony, Sierra Cordova Edy, Hurtado Ortega	Aprobado

Siendo las 11:00am horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: MSc. Ing. Angel, Maldonado Mendivil

Dictaminante: Ing. Edwin Reynaldo, Espinoza Asto

Replicante: Ing. Marco Antonio, Morales Holguin

Abancay 10 de julio del 2025

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES  
Ciudad Universitaria Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 321559  
Filial Cusco, Av. Grau N° 516, Teléfono (084) 251565  
Filial Andahuaylas, Juan Antonio Trelles N° 513 Teléfono (083) 421752  
www.utea.edu.pe

(\*) Mayoría: Dos integrantes del Jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del Jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.  
(\*\*) 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

# Reporte de similitud



## 23% Similitud general

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




### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

### Exclusiones

- ▶ N.º de fuente excluida

### Fuentes principales

- 19%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 18%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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

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



## Metadatos

<b>Datos del Autores</b>	
Apellidos y nombres	: Hurtado Ortega, Edy
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Numero de Documento de Identidad	: 73468400
URL ORCID	: <a href="https://orcid.org/0009-0007-1873-6154">https://orcid.org/0009-0007-1873-6154</a>
<b>Datos del Autores</b>	
Apellidos y nombres	: Sierra Córdova, Andrés Anthony
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Numero de Documento de Identidad	: 70980782
URL ORCID	: <a href="https://orcid.org/0009-0003-5606-9154">https://orcid.org/0009-0003-5606-9154</a>
<b>Datos del Asesor</b>	
Apellidos y nombres	: Gálvez Quintana, Marco Antonio
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Numero de Documento de Identidad	: 44923575
URL ORCID	: <a href="https://orcid.org/0000-0002-8709-4008">https://orcid.org/0000-0002-8709-4008</a>
<b>Datos de la investigación</b>	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Civil
Línea de Investigación	: Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	: 2023-2024 (2 años)
Fuente de Financiamiento	: Propio
Porcentaje de similitud	: 23%
URL OCDE	: <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01</a>

## **Dedicatoria**

Primero que nada, agradezco a Dios por estar a nuestro lado durante toda la investigación, a nuestros padres que nos han respaldado al proporcionarnos una educación y todos los medios necesarios para alcanzar nuestros objetivos, a nuestros hermanos, y a los maestros por su compromiso, paciencia. y sabiduría en la formación académica y orientarnos de la mejor manera A la memoria de alguien que ya no está, que nos dejó un legado y una huella imborrable en nuestras vidas.

## **Agradecimiento**

Deseamos expresar nuestro más sincero reconocimiento a todos los educadores de la carrera de Ingeniería Civil en la Universidad Tecnológica de los Andes, por confiar constantemente en los estudiantes y por permitirme llevar a cabo toda la investigación dentro de la institución educativa.

También manifestar nuestro agradecimiento a nuestro director de tesis, Ing. Marco Antonio Gálvez Quintana, quien, gracias a la valiosa enseñanza de sus conocimientos, logró orientarnos en nuestro trabajo de investigación; agradecemos su dedicación, apoyo incondicional, paciencia y amistad.

Por último, pero no menos significativo, quiero extender mi agradecimiento más genuino a nuestras familias, quienes nos respaldaron en el logro de nuestras metas.

## Resumen

Se investigó la influencia de una estructura de pavimento rígido permeable, en combinación de un sistema de canalización de agua alterno con columnas de grava. El lugar de estudio será la Urbanización los Chankas de Abancay, exactamente la Av. Enrique Pelach en el tramo de la Av. Nuñez y el Pasaje Valdivia en donde la topografía no permite la evacuación pluvial adecuada. Se construyó un modelo a escala de la estructura de pavimento rígido permeable que planteamos para su mayor análisis el cual nos permitió visualizar la infiltración del agua hasta llegar al subsuelo y que esta infiltración sea inmediata, de esta forma evitando esorrentía superficial. En tanto planteamos un pavimento permeable con infiltración adecuada, así mismo planteamos una subbase que también permita la infiltración inmediata y se infiltre al subsuelo mediante las columnas de grava, este pavimento se diseñó para un tráfico liviano y vehículos ligeros. La investigación nos aportó conocimientos y soluciones para la reducción del caudal de esorrentía pluvial, como también entender el proceso de infiltración de agua pluvial hacia el subsuelo, a la vez permitirá recargar los acuíferos internos del suelo.

Se obtuvo resultados positivos después de la experimentación del modelo a escala, así como tener en cuenta la capilaridad del agua y que esto no afecte a las estructuras del entorno.

**Palabras claves:** concreto permeable, columnas de grava, drenaje pluvial.

## **Abstrac**

The influence of a permeable rigid pavement structure was investigated, in combination with an alternating drainage system with gravel columns. The place of study will be the Urbanization of Los Chankas de Abancay, exactly Av. Enrique Pelach in the section of Av. Nuñez and Pje. Valdivia where the topography does not allow adequate rainwater evacuation. A scale model of the rigid permeable pavement structure was built that we proposed for further analysis, which allowed us to visualize the infiltration of water until it reaches the subsoil and that this infiltration is immediate, thus avoiding surface runoff. While we propose a permeable pavement with adequate infiltration, we also propose a subbase that also allows immediate infiltration and infiltrates the subsoil through gravel columns, this pavement was designed for light traffic and light vehicles. The research provided us with knowledge and solutions for the reduction of the flow of rainwater runoff, as well as understanding the process of infiltration of rainwater into the subsoil, while allowing the recharge of the internal aquifers of the soil.

Positive results were obtained after experimenting with the scale model, as well as taking into account the capillarity of water and that this does not affect the structures of the environment.

**Keywords:** permeable concrete, gravel columns, storm drainage.

## Índice General

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Acta de sustentación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Reporte de similitud</b> .....	<b>iii</b>
<b>Metadatos</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>vii</b>
<b>Abstrac</b> .....	<b>viii</b>
<b>Índice General</b> .....	<b>ix</b>
<b>Índice de tablas</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>xvi</b>
<b>Índice de anexos</b> .....	<b>xviii</b>
<b>I Introducción</b> .....	<b>19</b>
<b>II Planteamiento del problema</b> .....	<b>20</b>
2.1 Descripción y formulación del problema.....	20
2.2 Objetivos.....	24
2.2.1 Objetivo general .....	24
2.2.2 Objetivos específicos .....	24
2.3 Justificación e importancia .....	25
2.4 Hipótesis.....	27
2.5 Variables.....	28

<b>III</b>	<b>Marco teórico</b> .....	<b>30</b>
3.1	Antecedentes .....	30
3.2	Bases teóricas .....	41
3.2.1	Hidrología urbana.....	41
3.2.2	Norma Técnica Peruana E.050 .....	43
3.2.3	Método del número de curva del SCS .....	46
3.3	Excavaciones.....	47
3.3.1	Columnas de grava .....	47
3.3.2	Método Priebe (1995).....	50
3.4	Diseño de pavimento .....	51
3.4.1	Metodología AASTHO 93.....	51
3.4.2	Metodología ACI 522R-10.....	56
3.4.3	Metodología ASTM C39/C39M-20.....	57
3.5	Definición de términos.....	58
3.5.1	Concreto Permeable: .....	58
3.5.2	Porosidad.....	58
3.5.3	Relación agua / cemento.....	58
3.5.4	Columna de grava.....	59
3.5.5	Los pozos de absorción .....	59
3.5.6	Sistema de Drenaje.....	59
3.5.7	Pavimento .....	59
<b>IV</b>	<b>Metodología</b> .....	<b>60</b>

4.1	Tipo y Nivel de investigación.....	60
4.2	Ámbito Temporal y Espacial.....	61
4.3	Población y muestra.....	61
4.4	Instrumentos .....	65
4.5	Procedimientos .....	66
4.6	Análisis de datos.....	67
4.7	Consideraciones éticas.....	69
<b>V</b>	<b>Resultados y discusión.....</b>	<b>71</b>
5.1	Determinación del estudio hidrológico.....	71
5.1.1	Determinación de los datos de intensidades y precipitación.....	71
5.1.2	Determinación de los caudales de las áreas urbanas.....	72
5.1.3	Determinación de la velocidad de infiltración del suelo en el área de estudio in situ.....	74
5.2	Desarrollo del estudio de mecánica de suelos C-1.....	76
5.2.1	Ensayo granulométrico.....	76
5.2.2	Ensayo limite líquido y plástico.....	77
5.2.3	Ensayo de contenido de humedad .....	79
5.2.4	Ensayo de Proctor modificado.....	80
5.2.5	Ensayo California Bearing Ratio (CBR).....	82
5.3	Determinación del espesor del pavimento.....	84
5.4	Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados del concreto.....	86
5.4.1	Análisis granulométrico y tamizado del agregado fino .....	86

5.4.2	Análisis granulométrico y tamizado del agregado grueso.....	88
5.4.3	El peso unitario compactado y suelto del agregado fino.....	90
5.4.4	El peso compactado y suelto del agregado grueso. ....	92
5.4.5	La Gravedad específica y absorción del agregado fino. ....	93
5.4.6	Peso específico y absorción del agregado grueso. ....	94
5.4.7	Porcentaje de humedad en el agregado fino y agregado grueso..	94
5.5	Diseño de mezcla de concreto permeable (ACI 522R-10).....	96
5.5.1	Diseño de mezcla con 16% de vacíos (ACI-522R-10) .....	96
5.5.2	Diseño de mezcla con 20% de vacíos (ACI-522R-10) .....	98
5.5.3	Diseño de mezcla con 30% de vacíos (ACI-522R-10) .....	100
5.5.4	Comparación de los diseños de mezcla .....	103
5.5.5	Ensayo de permeabilidad ASTM C – 1688.....	105
5.6	Diseño de la columna de grava .....	107
5.7	Diseño del modelo a escala de la estructura de concreto permeable ....	109
5.8	Comparación de costos.....	116
	<b>Discusión de resultados .....</b>	<b>117</b>
<b>VI</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>119</b>
<b>VII</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>121</b>
<b>VIII</b>	<b>Referencias .....</b>	<b>122</b>
<b>IX</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>131</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1:</b> Matriz de operacionalización.....	28
<b>Tabla 2</b> Coeficiente de escorrentía .....	42
<b>Tabla 3</b> Clasificación de suelos según su capacidad de infiltración.....	47
<b>Tabla 4:</b> Coeficiente de drenaje .....	54
<b>Tabla 5:</b> Confiabilidad (R) .....	55
<b>Tabla 6:</b> Relación de diseño de Mezcla .....	63
<b>Tabla 7:</b> Prueba de capacidad de infiltración .....	64
<b>Tabla 8:</b> Estudio de tráfico vial IMDA .....	64
<b>Tabla 9:</b> Modelos de estructura de pavimento permeable.....	65
<b>Tabla 10:</b> Validez y confiabilidad de los instrumentos. ....	66
<b>Tabla 11:</b> Ficha de evaluación .....	67
<b>Tabla 12:</b> Intensidad y precipitación.....	72
<b>Tabla 13:</b> Datos de caudales de pr=10 años, método racional.....	73
<b>Tabla 14:</b> Análisis granulométrico de calicata. ....	76
<b>Tabla 15:</b> Limite líquido y limite plástico.....	78
<b>Tabla 16:</b> Contenido de humedad.....	79
<b>Tabla 17:</b> Ensayo de Compactación .....	80
<b>Tabla 18:</b> Ensayo de Proctor .....	80
<b>Tabla 19:</b> Ensayo CBR .....	82
<b>Tabla 20:</b> Penetración.....	83
<b>Tabla 21:</b> Espesor de la sub-base (H).....	85

<b>Tabla 22:</b> Espesor del pavimento.....	86
<b>Tabla 23:</b> Análisis granulométrico del agregado fino.....	87
<b>Tabla 24:</b> Análisis granulométrico del agregado grueso.....	89
<b>Tabla 25:</b> Análisis del peso unitario suelto del agregado fino.....	91
<b>Tabla 26:</b> Análisis del peso unitario compactado del agregado fino.....	91
<b>Tabla 27:</b> Análisis del peso unitario suelto del agregado grueso.....	92
<b>Tabla 28:</b> Análisis del peso unitario compactado del agregado grueso.....	92
<b>Tabla 29:</b> Ensayo de gravedad específica y absorción del agregado fino.....	93
<b>Tabla 30:</b> Ensayo del peso específico y absorción del agregado grueso.....	94
<b>Tabla 31:</b> Prueba del contenido de humedad en el agregado fino.....	95
<b>Tabla 32:</b> Prueba del contenido de humedad en el agregado grueso.....	95
<b>Tabla 33:</b> Características de diseño.....	96
<b>Tabla 34:</b> Dosificación de materiales con 16% de vacíos.....	96
<b>Tabla 35:</b> Resultados de resistencia.....	97
<b>Tabla 36:</b> Características de diseño.....	98
<b>Tabla 37:</b> Dosificación de materiales con 20% de vacíos.....	99
<b>Tabla 38:</b> Resultados de resistencia.....	99
<b>Tabla 39:</b> Características de diseño.....	100
<b>Tabla 40:</b> Dosificación de materiales con 30% de vacíos.....	101
<b>Tabla 41:</b> Resultados de resistencia.....	101
<b>Tabla 42:</b> Análisis de varianza promedio de la resistencia promedio.....	103
<b>Tabla 43:</b> Permeabilidad obtenida a los 28 días.....	105

<b>Tabla 44:</b> Prueba estadística de la permeabilidad.....	106
<b>Tabla 45:</b> Dimensionamiento de las columnas de grava. ....	108

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Lluvias intensas en la ciudad de Abancay .....	23
<b>Figura 2:</b> Coeficiente estructural de la base granular.....	52
<b>Figura 3:</b> Coeficiente estructural de la subbase granular.....	53
<b>Figura 4:</b> Factor ANOVA.....	69
<b>Figura 5:</b> Curva de intensidad duración y frecuencia .....	71
<b>Figura 6:</b> Modelación de precipitación pluvial pr:10 años.....	73
<b>Figura 7:</b> Lecturas del espejo del agua.....	74
<b>Figura 8:</b> Datos de la velocidad de infiltración en el suelo. ....	75
<b>Figura 9:</b> Curva granulométrica .....	77
<b>Figura 10:</b> Gráfico de limite liquido .....	78
<b>Figura 11:</b> Contenido de humedad. ....	79
<b>Figura 12:</b> Relación Humedad Densidad .....	81
<b>Figura 13:</b> Curva de tendencia % CBR.....	83
<b>Figura 14:</b> Conteo Vehicular.....	85
<b>Figura 15:</b> Curva granulométrico del agregado fino.....	88
<b>Figura 16:</b> Curva granulométrica del agregado grueso.....	90
<b>Figura 17:</b> Curva de resistencia.....	98
<b>Figura 18:</b> Curva de resistencia.....	100
<b>Figura 19:</b> Curva de resistencia.....	102
<b>Figura 20:</b> Comparación de los diseños de mezcla. ....	103
<b>Figura 21:</b> Gráfico de prueba estadística.....	104

<b>Figura 22:</b> Permeabilidad a los 28 días por cada porcentaje de vacíos. ....	106
<b>Figura 23:</b> Gráfico de prueba estadística .....	107
<b>Figura 24:</b> Longitud de la columna de grava.....	108
<b>Figura 25:</b> Modelación hidráulica de la zona más crítica.....	110
<b>Figura 26:</b> Planteamiento de las columnas de grava a escala. ....	111
<b>Figura 27:</b> Colocación de la geomembrana y columna de grava. ....	112
<b>Figura 28:</b> Construcción del drenaje poroso. ....	113
<b>Figura 29:</b> Prototipo a escala culminado.....	113
<b>Figura 30:</b> Saturación a 10 años de periodo de retorno. ....	115
<b>Figura 31:</b> Saturación a posible encharcamiento.....	116
<b>Figura 32:</b> Conteo Vehicular.....	152
<b>Figura 33:</b> Excavación de calicata prof. 2.00 mt .....	153
<b>Figura 34:</b> Ensayo infiltración del suelo. ....	154
<b>Figura 35:</b> Levantamiento topográfico. ....	155
<b>Figura 36:</b> Análisis de estudio de suelos. ....	156
<b>Figura 37:</b> Diseño de mezcla.....	158
<b>Figura 38:</b> Ensayo de permeabilidad.....	160
<b>Figura 39:</b> Prototipo a escala.....	163
<b>Figura 40:</b> Simulación en el prototipo a escala. ....	170
<b>Figura 41:</b> Agua teñida mostrando la infiltración.....	171

## Índice de anexos

<b>Anexo 1:</b> Matriz de operacionalización .....	131
<b>Anexo 2:</b> Matriz de consistencia. ....	132
<b>Anexo 3:</b> Validación de instrumentos.....	133
<b>Anexo 4:</b> Análisis granulométrico de agregado fino y grueso. ....	136
<b>Anexo 5:</b> Diseños de mezcla .....	144

## I Introducción

El pavimento permeable, que se denomina igualmente como suelo poroso, es un tipo de superficie que facilita el paso de agua mediante sus espacios vacíos. A diferencia de la superficie convencional, el agua se filtra de manera directa en el terreno situado debajo de la superficie en lugar de ser conducida a través de sistemas de drenaje y acumulada en capas de grava. Esto reduce los efectos de las inundaciones y disminuye la carga del drenaje pluvial existente.

La urbanización los Chankas de Abancay específicamente la Av. Enrique Pelach sufre encharcamiento en temporada de lluvias ya que no tiene un drenaje pluvial adecuado y la topografía presenta una pendiente insuficiente para el drenaje pluvial óptimo, es por tal motivo que nos planteamos como problema general. ¿En qué medida influye la estructura de pavimento rígido permeable para el drenaje pluvial en la urbanización los Chankas-2023?

El propósito fundamental de la tesis es, determinar la influencia de la estructura de pavimento rígido permeable para el drenaje pluvial en la urbanización los Chankas-2023. Para poder comprobar la influencia de la estructura de pavimento rígido permeable se realizó una maqueta a escala para simular distintas condiciones como son lluvias intensas que llueve sobre la ciudad de Abancay, así como la escorrentía que desciende la Av. Nuñez y analizar si infiltra en el drenaje planteado.

## II Planteamiento del problema

### 2.1 Descripción y formulación del problema

**A nivel internacional**, Londres y otras ciudades tienen problemas con el cambio climático por la ineficiencia del sistema de drenaje pluvial por las fuertes lluvias torrenciales, debido a esto se tiene que cerrar lugares como hospitales para evitar las inundaciones y no corran peligro dichas infraestructura. Simultáneamente a los desastres naturales surgen llamadas de emergencia a los bomberos para evacuar a los ciudadanos inundados por las fuertes lluvias. De acuerdo con las autoridades de Londres, un 17.00% de la ciudad está expuesto a un peligro significativo o moderado de inundación, y más de un millón de residentes londinenses habitan en zonas de inundación. "El peligro es generalmente más elevado en áreas urbanas debido a la presencia de superficies pavimentadas, que son impermeables, pero también por nuestra dependencia de un sistema de drenaje antiguo en Londres, estamos refiriéndonos a desagües de la época victoriana que no pueden manejar las intensas lluvias torrenciales, y debido a la impermeabilidad de las superficies existentes, no hay posibilidad de que el agua de la superficie se infiltre en el suelo. "El gobierno londinense viene implementando drenajes sostenibles y uno de ellos es el pavimento permeable (Kottasová, 2021).

**A nivel regional**, en Colombia ha habido poca investigación y es poco usual el uso de pavimentos permeables. Se han realizado diversas investigaciones sobre características mecánicas, proporcionando formulaciones específicas para incrementar la porosidad sin comprometer la durabilidad. El agua siempre ha existido junto al concreto, pero solo en la investigación académica, tanto durante su producción como en el cumplimiento de sus funciones. Uno de los fenómenos que solo crea el agua es la razón por la cual se realizó este estudio en diferentes universidades (Lopez & Lasprilla, 2013).

En Barranquilla, Debido al inadecuado sistema de drenaje de aguas pluviales, la calle cumple las funciones de un drenaje superficial de aguas pluviales, especialmente

durante la temporada de lluvias, cuando se forma un fuerte flujo de agua en la calle (Sistema de Arroyos, 2019).

La lluvia en las ciudades genera inundaciones, afecta la infraestructura y los sistemas de servicios públicos, empeora la situación del medio ambiente, interrumpe las actividades comerciales, industriales y educativas, interrumpe el transporte urbano y perjudica la salud pública. El crecimiento urbano hace que las áreas sean cada vez más impermeables, aumentando el flujo y aumentando los peligros. Las soluciones van desde canales hasta sistemas de drenaje urbano sostenible que gestionan la escorrentía de aguas pluviales desde las cuencas hidrográficas hasta las descargas finales.

El cambio climático afecto a todo el mundo y Sudamérica no fue ajeno a eso, provocando inundaciones en distintos países y uno de los más afectados es Brasil que es azotado por fuertes lluvias torrenciales provocando diversos destrozos como deslizamientos, colapso de viviendas, desaparecidos, esto sucede constantemente en épocas de lluvias. Hay estudios realizados por la ABCP, uno de ellos es el pavimento permeable y otras tecnologías que quieren implementar como otros países europeos para la disminución de las aguas superficiales es decir las lluvias, principalmente se quiere hacer proyectos de pavimentos permeables en supermercados y centros comerciales. (Peters, 2011)

**A nivel Local** debido a los fenómenos de las lluvias intensas entre el 2003 – 2019 fueron afectadas 15,003,883 personas afectadas y damnificados, debido a las inundaciones 2,578,709 personas afectadas en todo el país. Según datos del Indeci. Apurímac fue el departamento con más emergencias en ese periodo con 9 mil 163 emergencias seguida de Huancavelica y Lima respectivamente. Fuertes lluvias se registraron en Apurímac en marzo de 2011, provocando derrumbes en vías principales, principalmente en las ciudades de las provincias de Antabamba, Huirahuacho y Abancay, afectando canales de riego y calzadas, afectando a 257 personas damnificadas, 3.495

bajas, 04 muertos y 1 herido. Además de los daños a la propiedad, 50 casas fueron destruidas. 865 viviendas fueron afectadas, 02 una institución educativa fue destruida, 52 instituciones educativas fueron afectadas, 34 centros médicos afectados y 01 establecimiento público destruido (Indeci, 2020).

El promedio anual compilado por el Senamhi indica que, en la localidad de Abancay, se registran precipitaciones máximas de hasta 20.16 mm durante los años 2013 y 2014, durante los meses de enero hasta marzo es cuando se experimentan las lluvias más intensas en este lugar, lo que sugiere que hay meses en los que las lluvias son más intensas (Senamhi, 2013).

Durante los meses de noviembre a marzo, las precipitaciones en la ciudad de Abancay generan escorrentías superficiales que transforman las calles en corrientes de agua, los perjudicados son los peatones de a pie, negocios, pero que está sucediendo para que las calles se conviertan en grandes ríos con mucho caudal de aguas pluviales y aguas servidas, esto es debido a que los buzones colapsan y los sistemas de drenajes pluviales existentes no están diseñados para las fuertes lluvias, pues cada vez que llueve vemos que la contaminación es insoportable, mezclándose las aguas de lluvias con las aguas de los desagües y la contaminación afecta a la población. Esto sucede principalmente en el centro de la ciudad, ya que las vías son angostas y no tienen drenaje pluvial. (ElComercio, 2015)

La mayoría de áreas están siendo impermeabilizadas, haciendo que el caudal pluvial aumente día a día y con ello aumente su riesgo en la urbanización los Chankas ya que esta urbanización se encuentra en una zona de riego, por lo tanto, en épocas de lluvias torrenciales no se puede transitar por el agua estancada a causa de las lluvias que viene por la Av. Arenas y Av. Núñez que esta calle viene desde el distrito de Tamburco el agua que acumula es bastante. La infiltración de la precipitación en el suelo es mínima, ya que la mayoría de las superficies pavimentadas de la ciudad presentan características

impermeables, creando arroyos en las pistas de la ciudad de Abancay por esta razón se debe fomentar la creación de sistemas de construcción sostenibles.

### **Figura 1**

*Lluvias intensas en la ciudad de Abancay*



**Nota:** La imagen representa las fuertes lluvias torrenciales en la ciudad de Abancay en las calles de Av. Arequipa con Jirón Junín, tomado de (ElComercio, 2015)

#### **Problema General**

- ✓ ¿En qué medida influye la estructura de pavimento rígido permeable para el drenaje pluvial en la urbanización los Chankas-2023?

#### **Problemas específicos**

- ✓ ¿En qué medida influye el **% de vacíos** en la estructura de pavimento rígido permeable con una red drenaje en la urbanización los Chankas -2023?

- ✓ ¿En qué medida influye la **capacidad de infiltración** del suelo en la estructura de pavimento rígido permeable con una red drenaje en la urbanización los Chankas - 2023?
- ✓ ¿En qué medida influye el **diseño de la columna de grava** en la estructura de pavimento rígido permeable con una red drenaje en la urbanización los Chankas - 2023?
- ✓ ¿En qué medida influye la **intensidad del caudal pluvial**, en la estructura de pavimento rígido permeable con una red drenaje en la urbanización los Chankas - 2023?

## 2.2 Objetivos

### 2.2.1 Objetivo general

- ✓ **Determinar** la influencia de la estructura de pavimento rígido permeable para el drenaje pluvial en la urbanización los Chankas-2023.

### 2.2.2 Objetivos específicos

- ✓ Estimar la influencia del **% de vacíos** en la estructura de pavimento rígido permeable para el drenaje pluvial en la urbanización los Chankas-2023.
- ✓ Visualizar la influencia de la **capacidad de infiltración del suelo** en la estructura de pavimento rígido permeable para el drenaje pluvial en la urbanización los Chankas-2023.
- ✓ Establecer la influencia del **diseño de la columna de grava**, en la estructura de pavimento rígido permeable para el drenaje pluvial en la urbanización los Chankas-2023.
- ✓ Evaluar la influencia de la **intensidad del caudal pluvial**, en la estructura de pavimento rígido permeable para el drenaje pluvial en la urbanización los Chankas-2023.

### 2.3 Justificación e importancia

Teniendo en cuenta las constantes inundaciones en épocas de precipitaciones pluviales y el colapso de los drenajes pluviales de la ciudad céntrica de Abancay principalmente en las calles de Jirón Huancavelica, Av. Nuñez en sus primeras cuadras donde se acumula toda el agua de las partes altas, lo cual no están preparadas para el cambio climático como muchas ciudades en el Perú en donde los drenajes pluviales existentes no están diseñadas ante las fuertes precipitaciones pluviales y tienden a colapsar. El peligro es más alto en las áreas urbanas debido a que tienen superficies asfaltadas., mientras tanto cuando hay chubascos en la ciudad de Abancay se convierten en ríos y los sistemas de aguas servidas colapsan, fluyendo por la superficie del pavimento, ocasionando malos olores y contaminando las zonas además de interrumpir el tráfico de vehículos y peatones. Esto sucede principalmente en el centro de la ciudad y afectando a la Urbanización los Chankas, por toda la escorrentía que viene de partes altas de la ciudad Abancay, por otro lado, las vías de la ciudad de Abancay son angostas generando un caudal más peligroso.

Por ello, se busca implementar un tipo de pavimento permeable que facilite la infiltración del agua y evite la acumulación superficial en la Urbanización Los Chankas y reducir la cantidad de aguas superficiales por precipitaciones pluviales e infiltrar en el subsuelo, de esta forma pretendemos reducir el riesgo de inundaciones, accidentes, tráfico etc. Esto conseguiremos infiltrando en subsuelo reponiendo los niveles de aguas subterráneas al mismo tiempo mejoramos la transitabilidad.

En la actualidad, diversos países aplican pavimentos permeables como alternativa sostenible para mejorar el manejo y drenaje de aguas pluviales, drenando así estas aguas de lluvias con mayor rapidez a través de sistemas de red de drenajes subterráneas a la vez mejorando sus sistemas de drenaje pluvial y evitando accidentes. La tesis de investigación beneficia a la población local y mejorar la transitabilidad en épocas de lluvias torrenciales.

También brindaremos estudios nuevos sobre la permeabilidad del suelo en la urbanización los Chankas y esto sirva para posteriores investigaciones.

Desde una perspectiva académica, el concreto permeable, es una formulación de alto desempeño que se distingue por la escasa o nula presencia de agregados finos. La composición de cemento, agregado grueso, aditivos y agua da como resultado un material endurecido con una estructura porosa interconectada, la cual posee poros de entre 2 y 8 mm que permiten el flujo del agua. Esta microestructura, que presenta una porosidad entre 18% y 35%, Este material puede alcanzar una resistencia a la compresión de hasta 210 kg/cm<sup>2</sup>, y su estructura de celdas abiertas permite la infiltración del agua de lluvia hacia el subsuelo (Cabello et al., 2015).

La estructura propuesta del pavimento permeable se basa en un modelo a escala que permite la infiltración directa del agua hacia el subsuelo, reduciendo así la escorrentía superficial. Para ello, se ha seleccionado una granulometría adecuada en la mezcla del pavimento, incorporando agregado fino cuya capacidad de infiltración fue evaluada mediante ensayos específicos. Asimismo, las capas de base y subbase incluirán una red de columnas de grava diseñadas para optimizar el flujo y la infiltración del agua en el terreno natural.

Adicionalmente, esta investigación tiene como objetivo verificar la permeabilidad del suelo. Es crucial que este proceso no modifique otras propiedades intrínsecas del material, como la resistencia. Una permeabilidad elevada es directamente proporcional a una mayor infiltración, lo que, en última instancia, contribuye a la eficacia del sistema de drenaje pluvial durante los episodios de lluvia. Con esta propuesta se pretende brindar una alternativa al escurrimiento de aguas pluviales en la urbanización los Chankas.

Por ello está de investigación propuso una metodología de diseño de concreto rígido permeable, que toda la estructura sea permeable y que la infiltración del agua

superficial sea inmediata y mejorar el parámetro de infiltración de la metodología AASTHO y sea empleada como una alternativa más en la urbanización los Chankas como drenaje pluvial de tal forma que beneficie a la población.

La presente investigación aporta al conocimiento sobre la reducción del caudal de escorrentía pluvial mediante la experimentación con diferentes configuraciones de pavimentos permeables. Se optimizó el diseño de la mezcla y se evaluó el uso de agregado grueso procedente de canteras locales, priorizando la eficiencia económica. El estudio propone un prototipo de concreto permeable cuyas propiedades de resistencia a la compresión y permeabilidad resultan clave para su aplicación en diversos contextos urbanos. Este modelo representa una alternativa innovadora para el manejo del drenaje pluvial en ciudades con sistemas hidráulicos deficientes.

## 2.4 Hipótesis

### Hipótesis General

- ✓ La estructura de pavimento rígido permeable **mejorará** el drenaje pluvial en la urbanización los Chankas-2023.

### Hipótesis específicas

- ✓ El % de vacíos **influirá** en la estructura de pavimento rígido permeable para el drenaje pluvial en la urbanización los Chankas-2023.
- ✓ La capacidad de infiltración del suelo **influirá** en la estructura de pavimento rígido permeable para el drenaje pluvial en la urbanización los Chankas-2023.
- ✓ El diseño de la columna de grava **favorecerá** a la estructura de pavimento rígido permeable para el drenaje pluvial en la urbanización los Chankas-2023.
- ✓ La intensidad del caudal pluvial **influirá** en la estructura de pavimento rígido permeable con una red drenaje en la urbanización los Chankas -2023.

## 2.5 Variables

**Tabla 1:**

*Matriz de operacionalización*

Variable Independiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento de medición	Escala de medición
Drenaje pluvial	Un drenaje pluvial tiene como finalidad el control y manejo de agua pluvial y evitar daños humanos y materiales. (Perú, 2008)	Planteamos una estructura que fue capaz de captar y evacuar el agua pluvial de forma inmediata por medio de su estructura y luego infiltrar al subsuelo	Caudal pluvial	Intensidad del caudal pluvial	$Q = C \times I \times A$	Lts/seg
			Cuneta	Colector pluvial	Distancia	metros
			Escorrentía	Escorrentía superficial		m³/s
Variable Dependiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento de medición	Escala de medición
Estructura de pavimento rígido permeable	Es un material que permite que el agua atraviese mediante su estructura el cual contiene poros interconectados, reduciendo la escorrentía superficial y evitando encharcamiento. (American Concrete Institute, 2010)	Evaluamos la capacidad de infiltración de la estructura de pavimento rígido permeable, en donde fue sometido a distintas pruebas y simulamos lluvias intensas, escorrentías se controló el tiempo de infiltración, así como otras características de toda la estructura.	Vacíos en el concreto	% de vacíos	18% 20% 30%	%
			Diseño de mezcla	Relación agua/cemento	relación a/c= 0.25 relación a/c= 0.27 relación a/c= 0.35	adimensional
			Velocidad de Infiltración	Capacidad de infiltración	81 90 100	L/min/m²
			Cantidad y tipos de vehículos	IMDA	tráfico pesado tráfico mediano tráfico liviano	veh/dia
			Infiltración interna del Suelo	Diseño de Columna de grava	tamaño de partículas diámetro de la columna de grava separación de las columnas de grava	pulgadas metros metros

profundidad de la  
columna de grava

metros

---

### III Marco teórico

#### 3.1 Antecedentes

En esta sección se presentan antecedentes de investigaciones y tesis relacionadas con el tema, con el propósito de aportar referencias que respalden y fundamenten el desarrollo del presente proyecto

##### **A nivel internacional**

Vera & García ( 2018), con el propósito de mitigar la escorrentía pluvial superficial, plantearon la adaptación de un diseño de concreto permeable, fundamentado en hallazgos de investigaciones colombianas, para su aplicación en un caso de estudio local. En paralelo, se propone un diseño de pavimento optimizado, cuya eficacia será validada mediante el cálculo del caudal máximo a evacuar. Dicho cálculo se basará en la información pluviométrica obtenida de estaciones meteorológicas, garantizando así un enfoque riguroso y académico.

Su población de estudio fue 9 briquetas cilíndricas el cual los denomino C-1, C-2, C-3, así sucesivamente. El lugar donde se realizaron estas pruebas de compresión fue cerca de Rafael Uribe. Se ubica lateralmente 11° sur, diagonal 49 b sur, diagonal 49 d. En Colombia se realizó sobre un área de 996 m<sup>2</sup>. Este lugar tiene ciertas características como: B. Suelo clasificado como arcilloso con presencia de Limos de color Habana CM con beta púrpura. Durante esa exploración, se evaluó la presencia de un nivel freático y se demostró que tenía un CBR de 1,75% a 1 metro de profundidad. El tiempo de concentración de lluvia se calculó mediante la fórmula de Kirpich, arrojando un resultado de 0,050 h, y se conoce la precipitación, dando una precipitación crítica de 198 mm en un período de 9,75 días. Todos estos hallazgos fueron calculados con un periodo de retorno de 32 años y el vertido arrojó un resultado de 0,08298 m<sup>3</sup>/s.

Los análisis de laboratorio determinaron que el material grueso presenta un peso específico de  $2.55 \text{ g/cm}^3$  y un peso específico estándar de  $2.68 \text{ g/cm}^3$ , con una absorción del 1.94%. La prueba de abrasión Los Ángeles arrojó un valor de 37.5%. Para el diseño de la mezcla se empleó una dosificación de 4000 psi, sin incluir material fino. Los resultados del estudio indican que el flujo máximo en el área evaluada alcanza los 82.98 L/s, con una intensidad de precipitación de 215 mm/h durante el evento crítico de lluvia. Finalmente, se recomienda una resistencia a la compresión de 2500 psi para la aplicación propuesta.

Camargo (2021) se enfoca en que el propósito principal de la investigación es “analizar la viabilidad de implementar un tipo de pavimento que deje pasar el agua como opción de drenaje para manejar el agua que fluye en la ciudad de Villavicencio”. El estudio se centra en esta localidad, caracterizada por la presencia de calles pavimentadas y no pavimentadas, así como por la ausencia de sistemas adecuados de drenaje pluvial.

Para la siguiente investigación se está considerando una zona urbana con calles pavimentadas para el cual realizar la investigación con el fin de reducir la escorrentía superficial, seguidamente para su metodología de la investigación se desarrolló de carácter cualitativo en el cual consiste analizar, sintetizar y divulgar una información poco conocida para poder cumplir los objetivos el cual incluye una serie de fases, inicialmente hubo una fase preliminar que consiste en revisar la literatura sobre los pavimentos permeables, seguidamente en la primera fase observo los daños en los pavimentos, la calidad de drenaje y la precipitación, en la siguiente fase hizo los tipos de pavimentos, luego en la siguiente fase se realizó el diseño estructural así como también las condiciones de diseño y recomendar la construcción del pavimento. Y por último observo el ámbito técnico, ambiental, social y económico seguidamente indica en sus resultados indica que el pavimento permeable tiene beneficios ambientales cuando se compara con el pavimento convencional que se utiliza en las vías urbanas. Uno de los beneficios más importantes es que este tipo de pavimento permite la infiltración de agua.

Finalmente, las conclusiones destacan la necesidad de que en Colombia se elaboren e implementen manuales y guías técnicas para el diseño y aplicación de concretos. Esto se debe a que hay países que lo han adoptado y que lo anterior señala si se ven mejoras urbanas en el drenaje pluvial, dicho lo anterior indica que habrá un impacto económico a la hora de la elaboración lo cual será más sencillo por los materiales que se obvian al elaborar.

Alas & Quintero (2020) buscaron evaluar e implementar concretos permeables como una alternativa para recargas de acuíferos y drenaje pluvial urbano e indicar determinar si es viable la utilización del concreto permeable, así como también realizar una comparación con los drenajes convencionales.

La investigación tiene como objetivo principal analizar la viabilidad de implementar un tipo de pavimento permeable como alternativa de drenaje para el manejo de las aguas pluviales en la ciudad de Villavicencio. La población de estudio corresponde a dicha ciudad, caracterizada por contar con vías pavimentadas y no pavimentadas, además de una carencia de sistemas adecuados de drenaje pluvial. La metodología adoptada es de tipo documental, basada en la recopilación y análisis de fuentes escritas y audiovisuales que contribuyan al desarrollo del proyecto y a la obtención de conclusiones fundamentadas.

La ciudad de Sa María emplea recursos de agua subterránea para abastecer de agua potable al 50% de la población, con un caudal de 815 L/s. Utiliza agua subterránea para abastecer de agua potable al 50% de la población con 815 l/s y la otra parte potabilizan agua de los ríos Piedra y Manzanares con un caudal de 1200 l/s. la elaboración del concreto conto con agregado de  $\frac{3}{4}$ " y fueron unos 18 kg y luego se procedió a humedecer el agregado así mismo se hizo la mezcla por 2 min y se añadió un máximo de 60% de cemento y se incorporó 3 litros de agua de manera proporcionada y por último se añadió SIKAPALST. y ya en el molde se dieron golpes suaves. Finalmente indica como conclusión indica que su investigación en la ciudad de Santa Marta en sus calles es apta para la

implementación de concretos permeables el cual es viable en los lugares del barrio Andrea carolina, puesto que es una zona de tráfico mediano. En el estudio suelos indica que es un tipo de "suelo SM" según la clasificación SUCS el cual denomina como arena limosa de una coloración marrón.

El PhD. Fontaneda (2014) buscó desarrollar un sistema de recolección y almacenamiento de agua de lluvia a través de la filtración de los adoquines en los estacionamientos, luego de lo cual se indica que la población donde se realizará el estudio será Santander en la ciudad de Las Llamas. el cual se simulará la lluvia con un volumen de 0.83 l/m<sup>2</sup> y otra con 100 mm/h y en el segundo caso se hará 1512 litro que equivale a 3.333 l/m<sup>2</sup> que indica que hay una intensidad de 400 mm/h, y se realizará en una superficie de 4.2 x2.4 m<sup>2</sup> y se realizará en sus parques donde hay lugares de estacionamiento.

Así mismo indica que en su muestra se realizaron 45 ensayos usando 3 probetas de la misma forma usando 3 escenarios con 5 pendientes distintas. De la misma forma se realizaron 65 ensayos del concreto poroso al igual que los adoquines con 45 ensayos y 20 ensayos extras. Mientras tanto para su metodología usara los siguientes materiales para el concreto permeable en el laboratorio. Se utilizará la caliza el cual se le sustraerá los finos para obtener un nuevo suelo-gravoso permeable, también se usará un geotextil en las capas granulares de esta forma se aumentará una mayor infiltración en el suelo. Para superficie se usará adoquines impermeables que de acuerdo a su geometría y gracias a las ranuras serán permeables, el adoquín tendrá las siguientes dimensiones 20 x 10 cm de alto y las ranuras tendrán formas elípticas Con una longitud de 3.2 cm en el eje mayor y 0.8 cm en el eje menor. El concreto poroso tendrá una resistencia a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> después de 28 días, tendrá el porcentaje de poros será de un 25.00%.

Finalmente, en sus conclusiones indica que se ha cumplido el objetivo fundamental sobre la infiltración en los firmes permeables el cual demuestra la capacidad de captar aguas pluviales y controlar la escorrentía superficial con el fin de minimizar las

inundaciones todo esto se consiguió habiéndose hechos todos los ensayos necesarios en los campos diseñados.

Rosales (2017) propuso una mejora técnica del drenaje en el estacionamiento de la farmacia San Pablo (Tláhuac-Culhuacán) para mitigar inundaciones y reducir el impacto ambiental. El diseño, basado en normas AASHTO, PCA y ACI, incluyó una sub-base de 15–30 cm compactada al 92–96% (ASTM D1557) y un concreto con infiltración de 13 mm/h y resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>. El procedimiento de colocación requirió humedecer la superficie de la base, extender el concreto permeable de forma homogénea, nivelarlo y compactarlo con una placa vibratoria. Las conclusiones indicaron que los procedimientos y ensayos deben seguir las directrices de las normativas ASTM y AASHTO. Se sugirió realizar la colocación en horarios de menor exposición solar, limitar el volumen de concreto transportado en el camión mezclador a 4m<sup>3</sup>, compactar de forma cuidadosa para no obstruir los poros del material y rociar agua para el curado 24 horas después de la aplicación.

### **A nivel nacional**

Morote & Ulloa (2019) buscaron diseñar una mezcla de concreto poroso para carpetas de rodadura, buscando una dosificación óptima con una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>. Se realizaron cálculos de consistencia, densidad, resistencia a la compresión y permeabilidad en un área de 2.00 m<sup>2</sup>. La metodología fue de enfoque cuantitativo, aplicando diversos ensayos conforme a normas ASTM y tomando como referencia el ACI 522-R10 para el diseño de la mezcla.

En su población indica que realizó 40 briquetas en 8 distintos diseños de mezcla. El área que abarcara será de la construcción y la búsqueda de nuevas alternativas de superficie de rodadura y que tenga nuevas propiedades distintas a los concretos convencionales, En los ensayos realizados —que incluyeron pruebas de consistencia,

densidad, resistencia y permeabilidad obteniendo un resultado del concreto permeable en su octavo diseño, la resistencia de 279.156 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días. Por último, en sus conclusiones indico que se elaboró probetas cilíndricas que fueron ensayadas en laboratorio el cual obtuvo y demostró que funciono este sistema alternativo de concreto permeable en donde utilizó una relación a/c = 0.380 con un % de vacíos de 13.00 y 15.00% con aditivos superplastificantes y los resultados fueron satisfactorios.

Garcia & Silva (2019) desarrollaron una propuesta para utilizar concreto permeable como alternativa para recolectar agua de lluvia de pavimentos urbanos de tránsito moderado en la zona norte del país, al querer evaluar propiedades mecánicas como permeabilidad, resistencia a compresión hasta (1.00 x 2.00) Mi prototipo para evaluar su desempeño.

La investigación propone la aplicación de concreto permeable en el norte del Perú como alternativa frente a los efectos del fenómeno El Niño, especialmente durante las lluvias intensas, y como solución para el drenaje de aguas pluviales. Además, busca proteger las vías urbanas al requerir menor proporción de material que el concreto convencional. La muestra estará compuesta por 33 briquetas, y la metodología será de tipo experimental. El diseño de mezcla se realizará según el método AASHTO, mientras que el ensayo de permeabilidad seguirá la norma ACI 522-R10. El concreto utilizará una relación agua/cemento entre 0.27 y 0.34, incorporando un aditivo reductor de agua y un contenido de vacíos de 10%, 15% y 20%. El análisis granulométrico se efectuará conforme a la norma ASTM C136, y la preparación de la mezcla se llevará a cabo en laboratorio, empleando una consistencia seca.

En los resultados se reporta que, de las 11 mezclas elaboradas, dos presentaron un porcentaje de vacíos del 13% y alcanzaron resistencias a los 28 días de 295 y 265 kg/cm<sup>2</sup>, superando la dosificación base de 210 kg/cm<sup>2</sup>. La permeabilidad obtenida fue de 0.02 cm/s, cumpliendo con los requerimientos establecidos en la norma ACI 522-R10. En

las conclusiones, se determina que el porcentaje de vacíos no debe ser inferior al 10%, ya que valores menores afectarían la eficiencia del concreto drenante bajo las condiciones evaluadas. Sin embargo, se destaca que las once mezclas analizadas cumplen con los parámetros mínimos de permeabilidad requeridos para su aplicación en zonas del norte del país.

Pesantes (2019) examinó el concreto permeable como una alternativa para el control de aguas pluviales en la ciudad de Castilla, en la provincia de Piura, comparó el costo unitario del concreto permeable sin agregados finos con el concreto común. La población está constituida y elaborado con arena gruesa de la localidad de Santa Cruz, el agregado fino será traído de Chulucanas, el cemento que utilizarán será de tipo Portland MS, y también se usará aditivos plastificantes, así como agua. La investigación contempla la elaboración de 98 muestras, cada una con diferentes proporciones de aditivo plastificante y agregado fino, además de testigos sin agregado fino. Se realizarán ensayos de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días. La metodología incluye ensayos de laboratorio para evaluar los agregados gruesos y finos conforme a las normas NTP 400.012 y ASTM C123.98, además del ensayo de abrasión Los Ángeles según la norma NTP 400.019. Finalmente, se elaborará un concreto drenante siguiendo la normativa ACI 522R-10, utilizando cemento de la marca Pacasmayo.

En los resultados se obtuvo que, para el diseño 01 con una relación a/c de 0.28, la resistencia a la compresión fue de 111 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días y 136 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, con una permeabilidad de 5.37 mm/s. En el diseño 02, con una relación a/c de 0.35, la resistencia alcanzó 100 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días y 114 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, con una permeabilidad de 6.94 mm/s; este diseño presentó mayor contenido de agua y menor cantidad de cemento. El diseño 03, con una relación a/c de 0.28 y la adición de un 10% de agregado fino, obtuvo resistencias de 122 kg/cm<sup>2</sup> y 147 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 y 28 días, respectivamente. Finalmente, el diseño 04, con una relación a/c de 0.27, alcanzó una resistencia de 206 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días y 238 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, registrando una

permeabilidad de 1.40 mm/s, cumpliendo con el diseño de mezcla propuesto de  $f_c'=210$  kg/cm<sup>2</sup>.

Finalmente, se concluye que, para obtener mezclas de concreto con capacidad de drenaje, es recomendable aplicar el método propuesto en el informe ACI 522R-10 sobre concreto poroso, utilizando una baja relación agua/cemento. Este enfoque permite desarrollar concretos permeables con resistencias a la compresión superiores a  $f_c' = 210$  kg/cm<sup>2</sup>.

Saboya & Rios (2021) buscaron mejorar el sistema de control de aguas pluviales en las calles del distrito de La Banda de Shilcayo, ubicado en el departamento de San Martín. El diseño de mezcla consideró porcentajes de vacíos del "15%, 20%, 24% y 25%", siguiendo la norma ASTM C1707. Los ensayos se realizaron en la calle Jr. San Martín, entre las cuadras 02 y 04, donde se elaboraron nueve muestras de concreto con los distintos porcentajes de vacíos, obteniendo una resistencia promedio de  $f_c' = 210$  kg/cm<sup>2</sup>.

Para la metodología utilizara la normativa ACI 522R y tendrá una infiltración entre 81 y 730 L/min/m<sup>2</sup>, utilizara agregados clasificados entre  $\frac{3}{4}$  y  $\frac{3}{8}$  esto es un requisito de la normativa para que tenga la porosidad deseada, utilizara una relación agua/cemento 0.27 y 0.30 esta relación es bajo por lo tanto pierde trabajabilidad el concreto así que se usara aditivos plastificantes. Las pruebas de resistencia a la compresión se realizarán conforme a las normas NTP 339.034 y ASTM C39, "también se realizará la resistencia a la flexión con la normativa NTP 339.078 y la norma ASTM C 78, el contenido de vacíos y densidad se hará con la normativa ASTM 1754, el grado de compactación tiene que ser suave de tal forma que no se obstruya los poros".

En los resultados realizo mezclas con diseños de  $f_c'=210$ kg/cm<sup>2</sup>, en total se realizaron 4 diseños con distintos porcentajes de vacíos, el cual tuvo los siguientes resultados el diseño con un 15% de vacíos  $f_c'=233.28$ kg/cm<sup>2</sup>, con un % de vacíos de 20 %

obtuvo una resistencia de  $f_c' = 220.21 \text{ kg/cm}^2$ , con un 25% de vacíos obtuvo una resistencia de  $f_c' = 208.38 \text{ kg/cm}^2$  y el que fue más óptimo fue con 24 % de porcentaje de vacíos obteniendo una resistencia de  $f_c' = 210.15 \text{ kg/cm}^2$ .

Finalmente, en sus conclusiones indica sus 4 diseños de mezcla cumplieron con la resistencia deseada, pero el de 24% de porcentaje de vacíos obtuvo la resistencia más cercana, así mismo indica los valores de resistencia para pavimentos de la norma CE .010 sus diseños de mezcla obtuvieron resistencias muchos más altas, la permeabilidad que obtuvo fue de  $0.457 \text{ cm/s}$ , se encuentra en los límites de pavimentos permeables.

El tesista Chayña (2019) tuvo como objetivo desarrollar una superficie de pavimento rígido y permeable utilizando materiales de la cantera Isla, aplicando la metodología AASHTO y garantizando un comportamiento mecánico adecuado en la zona noroeste de la ciudad de Juliaca. recolectó nueve muestras y se efectuaron ensayos de resistencia a los 7, 14 y 28 días, con una mezcla diseñada para alcanzar una resistencia de  $f_c' = 210 \text{ kg/cm}^2$ . La metodología contempla un estudio geotécnico para determinar las propiedades físicas del terreno y un estudio hidrológico para analizar las precipitaciones, empleando el método racional en el diseño del sistema de drenaje pluvial. Asimismo, se incluirá un análisis de tráfico para dimensionar la vía adecuadamente. La superficie de rodadura se construirá siguiendo las recomendaciones del ACI 522R-10, norma que respalda el uso del concreto permeable por su comprobada eficacia en este tipo de aplicaciones.

En los resultados indica que obtuvo las siguientes resistencias promedios de los 7 días dio una resistencia de  $f_c' = 119.60 \text{ kg/cm}^2$ , las pruebas de 14 días dieron una resistencia promedio de  $f_c' = 151.82 \text{ kg/cm}^2$  y el de 28 días dio una resistencia promedio de  $f_c' = 196.92 \text{ kg/cm}^2$ . Finalmente, en sus conclusiones indica que logro el diseño de estructura de pavimento permeable con calidad de drenaje según la metodología AASHTO, obtuvo una infiltración de  $0.46 \text{ m/seg}$ , y el tiempo que infiltra el agua es favorable en condiciones de la

zona de tal forma logrando un drenaje óptimo evacuando las aguas pluviales y así no existe encharcamiento de agua.

Tafur & Goñas (2019) buscaron diseñar un pavimento permeable que funcione como sistema de drenaje pluvial en la localidad de Molinopampa, región Amazonas, además de determinar los parámetros de infiltración del agua y proponer un diseño aplicable a la zona. La investigación se desarrollará mediante un muestreo discrecional o intencional, elaborando dos tipos de dosificación: el primero con material fino, con una relación a/c de 0.50 y un 15.42% de vacíos; y el segundo sin finos, con una relación a/c de 0.66 y un 18.27% de vacíos. La metodología se basa en el modelo de Frederick Bell (1969) para estimar la lluvia máxima, el modelo del Soil Conservation Service para calcular la precipitación máxima en 24 horas, y el Reglamento Nacional de Edificaciones (2016) para determinar la esorrentía. La infiltración se evaluará mediante el ensayo de Muntz o cilindros concéntricos. Finalmente, se proyecta un pavimento permeable con una porosidad de 6.077 cm/s y una subbase de grava con espesores de 15 y 30 cm, diseñada para garantizar una adecuada infiltración.

En sus resultados indica que los espesores que halló son la C.R será de 15cm, su base también será de 15 cm, la subbase será de 20 cm, y la subrasante será de 15 cm por el método Intervape, así mismo se hicieron 15 muestras de concreto permeable donde concluyeron su dosificación fue de 22.2 Mpa a los 28 días con A.G. de ¾" y un % de vacíos de 19.5 %. Finalmente, en sus conclusiones indica que obtuvo una infiltración de la lluvia de 12 mm/hora siendo el límite menor que establece la metodología MINVU-DICTUC, en la parte inferior colocó un tubo con huecos de 15 cm de diámetro para que el agua de lluvia por ahí pueda escurrir, y aplicó la máxima precipitación pluvial para su diseño de tal forma que su estructura evacuó el agua de manera eficiente.

Tamariz (2019) buscó evaluar y construir el concreto permeable en la provincia de Huaraz y se pueda usar como pavimento urbano, seguidamente determinar las

propiedades mecánicas y físicas del concreto drenante usando agregado de la cantera llamada Tacllan”, así como también determinar su capacidad de infiltración del concreto permeable.

La investigación se desarrollará en la provincia de Huaraz, utilizando agregados provenientes de la cantera de Taclán, específicamente piedra chancada de  $\frac{1}{2}$ ” y  $\frac{3}{8}$ ”. Se elaborarán 26 probetas: 18 con piedra de  $\frac{1}{2}$ ” y 8 con piedra de  $\frac{3}{8}$ ”, cada una con diferentes dosificaciones y relaciones agua/cemento. Al concreto permeable se le aplicarán ensayos de resistencia a la compresión, flexión y permeabilidad, obteniéndose una tasa de infiltración de 17.68 mm/s. En los ensayos de compresión con piedra de  $\frac{1}{2}$ ” se registraron resistencias promedio de 7.81 MPa, 9.82 MPa y 11.15 MPa; mientras que, al incorporar un aditivo hiperplastificante, los valores aumentaron a 10.71 MPa, 13.44 MPa y 16.56 MPa.

Finalmente, las conclusiones señalan que el concreto elaborado con piedra chancada de  $\frac{1}{2}$ ” no alcanzó la resistencia mínima prevista de 17.5 MPa, a pesar de haberse ensayado seis dosificaciones, obteniendo una permeabilidad de 0.88 cm/s. En cambio, al emplear agregado grueso de  $\frac{3}{8}$ ”, se logró la resistencia deseada, cumpliendo con los requisitos mínimos tanto en compresión como en flexión, y registrando una permeabilidad de 0.37 cm/s, considerada aceptable. Además, se obtuvo un valor de infiltración de 0.67 mm/s, concluyéndose que el diseño de concreto permeable propuesto permite evacuar eficientemente las aguas pluviales y cumple con las normativas para pavimentos urbanos.

### **A nivel regional y local**

Montesinos (2024) tuvo como objetivo incorporar pavimentos permeables en las bermas de la ciudad de Abancay, elaborando un concreto patrón y tres mezclas permeables con porcentajes de vacíos del 15%, 18% y 20%. Se empleó un aditivo superplastificante para optimizar las propiedades del material y definir un diseño adecuado. En total, se fabricaron 24 probetas cilíndricas para la evaluación experimental y prismáticas

y las impuso a distintos ensayos entre ellos permeabilidad y su resistencia a compresión, así mismo para los distintos ensayos uso normativas peruanas y americanas obteniendo una permeabilidad de 0.20 a 0.54 cm/s, la investigadora indica que su concreto llego al resultado obtenido, finalmente concluyo que el concreto evacua el agua de manera favorable en las bermas sin embargo resalta el uso de concreto poroso de 15 y 18% son los que cumplen con las investigación de la investigadora.

Mansilla (2022) tuvo como finalidad evaluar las propiedades mecánicas y físicas del concreto poroso para el control de aguas pluviales en la ciudad de Abancay, con el propósito de promover su implementación por parte de las autoridades competentes. Se determinó que el concreto poroso presenta un menor costo en comparación con el convencional y que el uso de aditivos mejora significativamente sus características. El estudio, de tipo experimental y enfoque cuantitativo, concluye que las mezclas con un 12% de vacíos alcanzan resistencias superiores a 270 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que las de 17% presentan mejor desempeño en permeabilidad, por lo que se recomienda este último diseño para su aplicación en las vías urbanas de Abancay.

## **3.2 Bases teóricas**

### **3.2.1 Hidrología urbana**

#### **3.2.1.1 Caudal Método racional**

Ram S. Gupta en su libro “**Hydrology and Hydraulic Systems**” en el capítulo de Escorrentía y drenaje urbano explica en detalle los conceptos de esta metodología.

Estimación de la escorrentía Usa el método racional:

$$Q = C \times I \times A$$

Donde

- $Q$ : caudal m<sup>3</sup>/seg

- $C$ : coeficiente de escorrentía (**adimensional**)
- $I$ : intensidad de la lluvia **mm/h**
- $A$ : área de captación **m<sup>2</sup>**

### a) Área de aporte y coeficiente de escorrentía

El área de contribución se estima como la suma de las áreas cerradas que drenan hacia los pozos de infiltración. Para áreas cerradas como techos, pasillos, etc., los coeficientes de escorrentía superficial se pueden asumir como indica en la tabla:

**Tabla 2**

*Coeficiente de escorrentía*

Cobertura vegetal	Tipo de suelo	Pendiente del terreno				
		Pronunciada (> 50%)	Alta (> 20%)	Media (> 5%)	Suave (> 1%)	Despreciable (< 1%)
<b>Sin vegetación</b>	Impermeable	0.8	0.75	0.7	0.65	0.6
	Semipermeable	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5
	Permeable	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3
<b>Cultivos</b>	Impermeable	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5
	Semipermeable	0.6	0.55	0.5	0.45	0.4
	Permeable	0.4	0.35	0.3	0.25	0.2
<b>Pastos, vegetación ligera</b>	Impermeable	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45
	Semipermeable	0.55	0.5	0.45	0.4	0.35
	Permeable	0.35	0.3	0.25	0.2	0.15
<b>Hierba, grama</b>	Impermeable	0.6	0.55	0.5	0.45	0.4
	Semipermeable	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3
	Permeable	0.3	0.25	0.2	0.15	0.1
<b>Bosques, densa vegetación</b>	Impermeable	0.55	0.5	0.45	0.4	0.35
	Semipermeable	0.45	0.4	0.35	0.3	0.25
	Permeable	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05

**Nota:** Esta tabla presenta coeficientes de escorrentía que indican qué proporción del agua de lluvia escurre sobre la superficie del terreno, en función de tres factores principales: la cobertura vegetal, el tipo de suelo y la pendiente del terreno. Tomado de. Manual de carreteras Hidrología, hidráulica y drenaje Perú (2008).

### 3.2.1.2 Intensidad

La fórmula general utilizada para determinar la intensidad y la frecuencia es:

$$I = \frac{K}{(t + a)^n}$$

Donde:

- I= Intensidad en chubascos (mm/h).
- t= Duración (minutos u horas).
- K, a, y n = Coeficientes específicos del lugar obtenidos a partir de las curvas IDF.

### 3.2.2 Norma Técnica Peruana E.050

La norma establece los procedimientos para la clasificación y caracterización de los suelos, además de los criterios para evaluar su capacidad portante, asentamientos, estabilidad y propiedades mecánicas.

#### A. Granulometría

El estudio de las partículas se lleva a cabo para conocer cómo se distribuyen los diferentes tamaños en un tipo de suelo. Las ecuaciones que se emplean son:

**% que pasa por un tamiz:**

$$\% \text{ que pasa} = \left( \frac{\text{peso que pasa por el tamiz}}{\text{peso total de la muestra}} \right) \times 100$$

**Coeficiente de uniformidad (Cu):**

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Donde:

$D_{60}$ ,  $D_{10}$ : Son los diámetros correspondientes al 60% y 10% del suelo que pasa, respectivamente.

**Coefficiente de curvatura (Cc):**

$$C_c = \frac{(D_{60})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

Donde:

$D_{30}$ : es el diámetro correspondiente al 30% del suelo que pasa.

## B. Límites de Consistencia

- **Límite Líquido (LL):**

$$LL = \frac{W_L}{W_S} \times 100$$

Donde:

$W_L$ : Peso del agua en el estado líquido.

$W_S$ : Peso seco del suelo.

- **Límite Plástico (LP):**

$$LP = \frac{W_P}{W_S} \times 100$$

Donde

$W_P$ : Peso del agua en el estado plástico.

- **Índice de Plasticidad (IP):**

$$IP = LL - LP$$

Donde

LL: Limite líquido.

LP: Limite plástico.

### C. Ensayo CBR (California Bearing Ratio)

- El estudio de las partículas se lleva a cabo para conocer cómo se distribuyen los diferentes tamaños en un tipo de suelo. Las ecuaciones que se emplean son:

#### CBR

$$CBR = \frac{P}{P_s} \times 100$$

Donde:

P: Carga unitaria del suelo en kg/cm<sup>2</sup>.

P<sub>s</sub>: Carga estándar en kg/cm<sup>2</sup>.

### D. Ensayo Proctor

El ensayo Proctor determina la relación entre la densidad seca de un suelo y su contenido de humedad.

- **Densidad seca ( $\rho_d$ ):**

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + \frac{w}{100}}$$

Donde:

$\rho$ : Densidad húmeda.

$W$ : Contenido de humedad.

- **Relación de compactación:**

$$\text{Relación de compactación} = \frac{\rho d}{\rho d_{max}} \times 100$$

Donde:

$\rho d_{m\acute{a}x}$ : Densidad seca máxima obtenida en el ensayo.

### **E. Humedad Natural**

- El contenido natural de humedad del suelo se determina con el fin de conocer la cantidad de agua presente en la muestra en su estado natural.

### **Contenido de humedad (W):**

$$W = \frac{W_{h\acute{u}medo} - W_{seco}}{W_{seco}} \times 100$$

Donde:

$W_{h\acute{u}medo}$ : Peso de la muestra húmeda.

$W_{seco}$ : Peso de la muestra seca.

### **3.2.3 Método del número de curva del SCS**

Este método se basa en los datos de precipitación y escorrentías de un día y es una técnica creada para predecir la infiltración del suelo, considerando las pérdidas por evaporación real.

**Tabla 3**

*Clasificación de suelos según su capacidad de infiltración*

<b>Grupo hidrológico del suelo</b>	<b>Infiltración cuando están muy húmedos</b>	<b>Características</b>	<b>Textura</b>
<b>A</b>	Rápida	Alta capacidad de infiltración > 76 mm/h	Arenosa, Arenosa-limosa
<b>B</b>	Moderada	Capacidad de infiltración 76-38 mm/h	Franca, Franco-arcillosa-arenosa, Franco-limosa
<b>C</b>	Lenta	Capacidad de infiltración 36-13 mm/h	Franco-arcillosa, Franco-arcillo-limosa, Arcillo-arenosa
<b>D</b>	Muy Lenta	Capacidad de infiltración < 13 mm/h	Arcillosa

**Nota:** La tabla nos muestra los suelos y sus características respecto a su característica de infiltración. Tomado de Bradbury (2000).

### 3.3 Excavaciones

#### 3.3.1 Columnas de grava

Según (Piqueras, 2019). Las columnas de grava se hicieron para la mejora de suelos, existen dos técnicas de realizarlo uno de ellos es mediante pilotaje convencional y el otro mediante el uso de vibradores especiales, las recomendaciones son las siguientes:

- **Diámetro de la columna**

Entre 0.4 m y 0.6 m.

- **Espaciamiento de columnas**

El espaciamiento puede ser de 1.5 a 3 veces el diámetro de la columna.

- **Altura de columna**

La altura de las columnas de grava puede ser de 3 a 6 metros, aunque puede variar según el proyecto y la capacidad de infiltración requerida.

- **Tamaño de agregado**

Se recomienda emplear grava con un tamaño de partícula comprendido entre 20 mm y 40 mm (3/4" a 1.5"), ya que este rango favorece una mayor permeabilidad y capacidad de infiltración del sistema.

- **Porosidad**

La porosidad del material granular utilizado suele estar en el rango del 30% al 40%, lo que es crucial para el almacenamiento de agua y la eficacia del drenaje.

### 3.3.1.1 *Diseño hidráulico*

- **Caudal de Infiltración (Ley de Darcy)**

Es un principio que describe el flujo de los fluidos en superficies porosas y esta relacionada a la velocidad del agua, en esta investigación se realizó para la evaluación del concreto poroso. (Darcy, 1856). El caudal de infiltración  $Q$  a través de la columna de grava puede ser calculado utilizando la Ley de Darcy:

$$Q = K \times A \times \frac{\Delta h}{L}$$

Donde:

$Q$  = Caudal de infiltración (**m<sup>3</sup>/s**)

$k$  = Coeficiente de permeabilidad del material granular. Grava,  $k$  rango de  $10^{-2}$  a  $10^{-1}$  **m/s**.

$A$  = Área transversal de la columna ( $A = \pi \times (d/2)^2$ ) (**m<sup>2</sup>**).

$\Delta h$  = Altura del agua sobre la columna (**m**).

$L$  = Altura de la columna de grava (**m**)

- **Porosidad y Capacidad de Almacenamiento**

La capacidad de almacenamiento dentro de la columna depende de su porosidad

$$S = n \times V$$

donde:

$S$  = Capacidad de almacenamiento (**m<sup>3</sup>**)

$n$  = Porosidad de la grava (0.3 a 0.4)

$V$  = Volumen de la columna ( $V=A \times L$ ) (**m<sup>3</sup>**)

### 3.3.1.2 *Diseño estructural de columna de grava*

- **Diámetro**

El diámetro de la columna  $d$  debe ser lo suficientemente grande para manejar el volumen de agua esperado. Para un diámetro de 40 cm:

$$A = \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

$A$  = Área transversal de la columna (**m<sup>2</sup>**).

$D$  = diámetro de la columna de grava (**m**).

- **Altura de la Columna**

La altura de la columna  $L$  dependerá del espesor del estrato permeable y del volumen de agua a infiltrar.

$$L = \frac{V}{A \times n}$$

$A$  = Área transversal de la columna (**m<sup>2</sup>**).

$n$  = Porosidad de la grava (0.3 a 0.4)

$V$ = Volumen de la columna ( $V=A \times L$ ) (**m<sup>3</sup>**).

$L$ = Longitud de la columna (**m**).

### 3.3.1.3 Estudio de trafico

Análisis de la carga vehicular determina las equivalencias de carga de eje.

$$ESAL = \sum \left( \frac{P}{P_0} \right)^n$$

Donde:

$P$ : Carga real del eje.

$P_0$ : Carga estándar.

$n$ : Exponente de daño.

### 3.3.2 Método Priebe (1995)

Vincent (2019), lo clasifican en distintos aspectos:

#### a) Sistema de excavación:

- Vía deshumedecida (con aire comprimido)
- Vía humedecida (empleo de líquido, con cierta extracción del terreno diluido)

Según (Casto, 2008) El método de columnas de grava, es un método para la mejora del suelo mediante la densificación y refuerzo del suelo, que consiste en agregar al suelo elementos verticales constituida por materiales.

Las columnas de grava, al tener mayor permeabilidad que el suelo natural, actúan como drenes verticales. (Ishihara et al., 1976).

### 3.4 Diseño de pavimento

#### 3.4.1 Metodología AASTHO 93

Según AASHTO guide for desing of pavement structures (1993). El método ASSHTO para el diseño de pavimento rígido aplica un modelo de ecuaciones

a) Ecuación 01

$$\log \log (W) = ZR * S_o + 7.35 \text{ Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \left( \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + (4.22 - 0.32 * pt)$$

$$* \text{Log} \left( \frac{S'c * C_d * (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 * J \left( D^{0.75} - \frac{18.42}{\left( \frac{Ec}{k} \right)^{0.25}} \right)} \right)$$

Dónde:

**W:** Número estimado de ejes equivalentes en el período de diseño.

**ZR:** Desviación estándar normal

**So:** Error estándar combinado de la predicción del tráfico y de la predicción del comportamiento estructural

**ΔPSI:** Diferencia entre índice de servicio inicial y final

**MR:** Módulo resiliente (lb/pulg) <sup>2</sup>.

**SN:** Número estructural

De la Ec.01 obtenemos el **SN** para luego determinar los espesores (Di), estos deben igualar o superar el (SN), la siguiente ecuación es en función al coeficiente estructural(**a**i):

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * m_2 * D_2 + a_3 * m_3 * D_3 \dots \dots \dots \text{ecuacion (2)}$$

Dónde:

$a_i$ : Coeficiente estructural de la capa  $i$ .

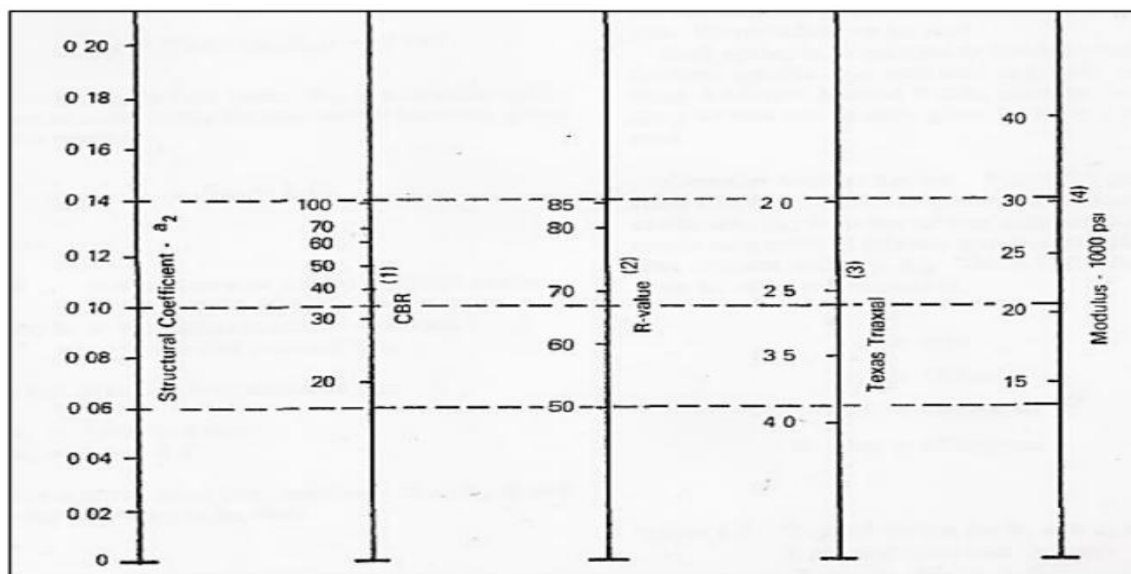
$D_i$ : Espesor de la capa  $i$  en pulgadas.

$m_i$ : Coeficiente de drenaje de la capa  $i$ .

Luego obtendremos mediante un gráfico el coeficiente estructural de la base granular el cual mostraremos:

**Figura 2:**

Coeficiente estructural de la base granular.

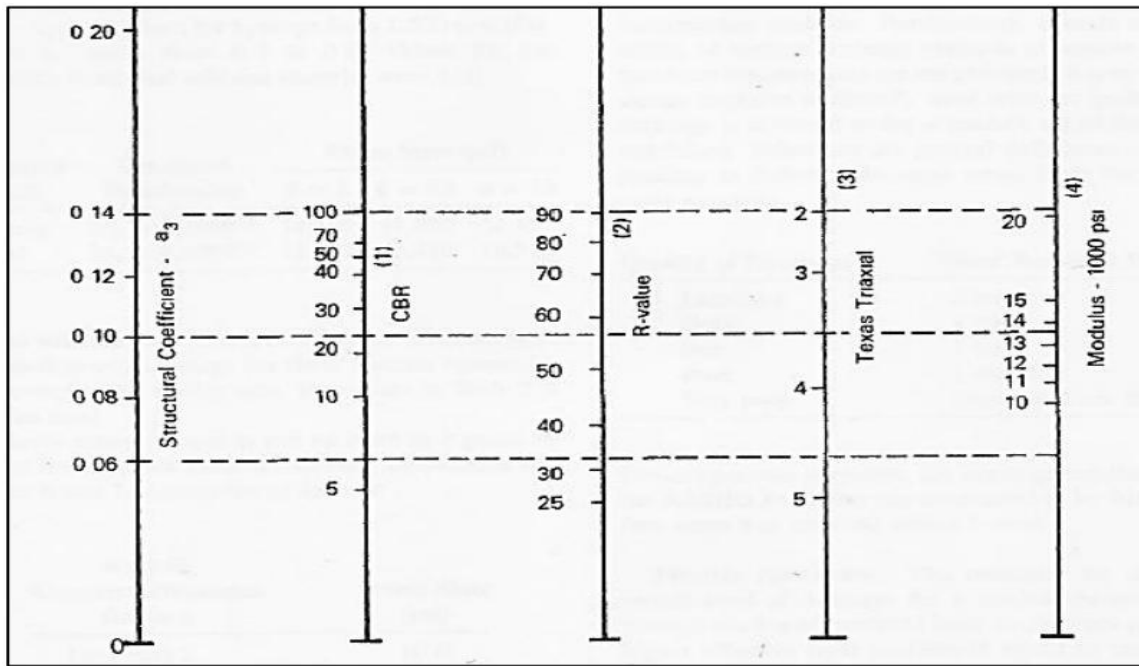


**Nota:** La figura muestra la correlación entre parámetros de resistencia de suelos usados en diseño de pavimentos. Tomado de (AASHTO guide for desing of pavement structures, 1993),

A continuación, se procederá al cálculo del coeficiente estructural de la subbase granular, el cual se presenta a continuación:

**Figura 3:**

*Coeficiente estructural de la subbase granular.*



**Nota:** La figura muestra la correlación entre parámetros geotécnicos utilizados en el diseño de pavimentos, vinculando el coeficiente estructural  $a_3$  con valores equivalentes de CBR, R-value, ensayo triaxial y módulo de elasticidad. Tomado de (AASHTO guide for desing of pavement structures, 1993)

Para calcular los coeficientes de drenaje de los materiales de base y subbase se utilizan los criterios sugeridos por la AASHTO según la tabla siguiente:

**Tabla 4:**

Coeficiente de drenaje

Características del drenaje	Agua evacuada en	Porcentaje de tiempo en el año, que la estructura de pavimento está expuesta a un nivel de humedad			
		<1%	1%-5%	5%-25%	>25%
<b>Excelente</b>	2 horas	1.40 - 1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
<b>Bueno</b>	1 día	1.35 - 1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
<b>Regular</b>	1 semana	1.25 - 1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
<b>Pobre</b>	1 mes	1.15 - 1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
<b>Muy malo</b>	No drena	1.05 - 0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

**Nota:** La tabla nos indica los coeficientes y los tiempos de drenaje, tomado de AASHTO guide for desing of pavemnt structures (1993).

Así mismo una vez definido los parámetros anteriores, estimaremos los espesores de la siguiente manera:

$$D_1 \geq \frac{SN1}{a_1} \quad (3) \quad SN1 = a_1 * D_1 \geq SN1 \dots \dots \dots (4)$$

$$D_2 \geq \frac{SN2 - SN1}{a_2 * m_2} \dots \dots \dots (5) \quad SN1 + SN2 \geq SN2 \dots \dots (6)$$

$$D_3 * a_3 * m_3 + SN1 + SN2 \geq SN3 \dots \dots \dots (7)$$

**Transito:** Para la estimación del tránsito se hará evaluación 01 semana por la calle y se realizará el proyecto de investigación en una calle con transito mediano o bajo, ya que eso son las recomendaciones para el concreto permeable y para la estimación del tráfico se empleará la siguiente ecuación:

$$N = (Ndx365xfDXfC) * \left( \frac{(1+r)^{n-1}}{r} \right)$$

Dónde:

N : Transito en ejes equivalentes

Nd : Transito equivalente acumulado.

Fd : Factor sentido.

Fc : factor carril

r : Taza de crecimiento del tránsito.

n : periodo de diseño en años.

**Confiabilidad (R).** - estos parámetros está establecido en la AASHTO, este parámetro indica la importancia de la vía:

**Tabla 5:**

*Confiabilidad (R)*

Clasificación	Nivel de confiabilidad recomendado	
	Urbana	Rural
Autopistas interestatales y otras	85 - 99.9	80-99.9
Arterias colectoras	80 - 99	75-95
Colectoras de tránsito	80 - 95	75-95
Carreteras locales	50 - 80	50-80

*Nota:* la nos indica los valores de la confiabilidad de R, tomado de AASHTO *guide for desing of pavement structures (1993)*.

- El parámetro de error estándar combinado (So) representa la variabilidad en la predicción del tráfico y el comportamiento estructural del pavimento, con valores que generalmente oscilan entre 0.40 y 0.45.
- El índice de servicialidad ( $\Delta PSI$ ) mide la capacidad del pavimento para atender adecuadamente el tránsito previsto. Su valor varía de 5, cuando el pavimento se encuentra en óptimas condiciones, a 0, cuando está totalmente deteriorado.
- La parte resistente de la subrasante, esto se relaciona con el CBR y se puede observar mediante la ecuación:

$$M_{rsr} = 2555(CBR)^{0.64}$$

- Módulo resiliente de la capa subbase: se determina a partir de los resultados de los ensayos CBR realizados al material granular destinado a la subbase de la vía.
- Módulo resiliente de la capa base: se obtiene en función de los ensayos efectuados al material correspondiente, considerando el valor de CBR obtenido para dicha cap. (AASHTO guide for desing of pavement structures, 1993)

### 3.4.2 Metodología ACI 522R-10

#### 3.4.2.1 *Concreto permeables parámetros*

- ✓ Porosidad adecuada (15% - 25%).
- ✓ Resistencia a la compresión suficiente para soportar las cargas de tráfico 5 - 20 MPa.
- ✓ Permeabilidad adecuada típicamente 2 - 5 mm/s.

#### 3.4.2.2 *Diseño*

$$v_{total} = v_{cemento} + v_{agua} + v_{agregado} + v_{aditivo}$$

Donde:

$V_{total}$  = Volumen total mezcla.

$V_{cemento}$  = Volumen de cemento.

$V_{agua}$  = Volumen de agua.

$V_{agregado}$  = Volumen de agregado.

$V_{aditivo}$  = Volumen de aditivo.

#### 3.4.2.3 *Permeabilidad*

$$K = \frac{Q \times L}{A \times \Delta h}$$

Donde:

- K = Coeficiente de permeabilidad (m/s).
- Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s).
- L = Longitud del manto de concreto (m).
- A = Área transversal del concreto (m<sup>2</sup>).
- Δh = Diferencia de altura (m).

#### 3.4.2.4 Densidad

$$\rho = \frac{M}{V}$$

Donde:

- ρ = Densidad del concreto (kg/m<sup>3</sup>).
- M = Masa del concreto seco (kg).
- V = Volumen del concreto (m<sup>3</sup>).

#### 3.4.2.5 Porosidad

$$P = \frac{V_{poros}}{V_{total}}$$

Donde:

$V_{poros}$  = Volumen de los poros.

$V_{Total}$  = Volumen total del concreto.

### 3.4.3 Metodología ASTM C39/C39M-20

La compresión del concreto se evalúa a través de una prueba de compresión en cilindros o cubos de este material. La fórmula básica para la resistencia a la compresión  $f_c$  es:

$$f'_c = \frac{P}{A}$$

Donde:

- $f'_c$  = Resistencia a la compresión (MPa o psi).
- P = Carga aplicada (N o lb).
- A = Área de la sección transversal de la muestra (m<sup>2</sup> o in<sup>2</sup>)

### **3.5 Definición de términos**

#### **3.5.1 Concreto Permeable:**

La denominación de concreto permeable viene de los compuestos de sus materias que estos que permiten la obtención de un material duro con aberturas de 2 a 8 mm de sus poros que se encuentran interconectados para que así el agua infiltre. los compuestos vienen a ser cemento portland, agregado grueso, en algunos diseños no se incluye agregado fino y en otros se añade en muy poca cantidad, aditivos y agua. El contenido de vacíos se encuentra en un rango de 15% y 35% que alcanza una resistencia del con concreto de 28 a 280 kg/cm<sup>2</sup>. American Concrete Institute (2010).

#### **3.5.2 Porosidad**

La porosidad es muy importante para para el aguante del concreto y la permeabilidad de esta. Unos de los factores muy fundamentales para que el concreto sea permeable y poroso es el porcentaje adecuado de agregado fino obteniendo así un porcentaje óptimo de contenido de vacíos de 15% a 30% respectivamente Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (2013).

#### **3.5.3 Relación agua / cemento**

El cálculo de la relación entre agua y cemento es uno de los aspectos más cruciales a considerar, porque si se realiza un mal calculo puede que la pasta fluya entre los

agregados y también se podría ocasionar problemas en la trabajabilidad del concreto American Concrete Institute (2010).

#### **3.5.4 Columna de grava**

Las columnas de grava son métodos o forma de mejorar la estabilidad de suelos muy inestables cohesivos medios y granulares, al usar este método de columnas de grava mejoramos el terreno para sea más competente y menos deformable. Priebe (1995).

#### **3.5.5 Los pozos de absorción**

Son estructuras cilíndricas que se encuentran llenos o no de material granulares y su profundidad se encuentra entre los 2 metros y su diseño y construcción depende mucho de la percolación del suelo donde se encuentre Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2021).

#### **3.5.6 Sistema de Drenaje**

Se denomina sistema de drenaje al conjunto de estructuras diseñadas para conducir y evacuar las aguas pluviales en zonas urbanas o habitadas. Su implementación tiene como finalidad mejorar las condiciones de habitabilidad y optimizar la calidad de vida de la población, evitando acumulaciones de agua que puedan generar daños o inconvenientes Wikipedia (2024).

#### **3.5.7 Pavimento**

Es una estructura multicapa cuya función básica es mejorar la seguridad y el confort durante el transporte. Carreteras y pavimentos urbanos mejoran la calidad de los habitantes RNE (2006).

## IV Metodología

### 4.1 Tipo y Nivel de investigación

#### Tipo de Investigación

La investigación descriptiva se centra en observar, experimentar y analizar para identificar y describir características de un objeto de estudio Torres (2010).

La investigación será, **exploratorio y descriptivo**, ya que nos permitirá identificar y examinar los aspectos fundamentales de una situación determinada ya que esta investigación es poco conocida en la ciudad de Abancay y es algo novedoso e innovador. De carácter descriptiva porque buscaremos especificar y recopilar información, así como también describir sus propiedades y características del pavimento rígido permeable ya que este tipo de investigación estudia con mayor precisión.

#### Nivel de investigación

El alcance de nuestra investigación será **exploratoria**, así mismo en este nivel se puede utilizar el método cuantitativo y examinar sus características.

#### Diseño de la Investigación

“Las investigaciones que emplean diseños experimentales buscan identificar los efectos posibles de las causas que se pueden manipular.” El primer requisito es la manipulación intencionada de una o más variables independientes.” El requisito principal es modificar de forma consciente una o más variables independientes. Estas son las que se consideran como la posible causa dentro de la relación que existe entre las demás variables Sampieri, Collado, & Lucio, Metodología de la Investigación (2010).

Se considerará diseño **experimental**, ya que en este diseño se puede manipular las variables independientes así mismo debe hacerse la planeación de experimento de la investigación y tener el control de nuestras variables.

Según Sampieri, Collado, & Lucio, Metodología de la Investigación (2010), Para que sea experimental, se debe cambiar la variable independiente de forma intencional y observar cómo esto afecta a la variable dependiente, sin modificarla.

## 4.2 **Ámbito Temporal y Espacial**

### **Ámbito temporal**

La investigación se realizó entre enero y agosto de 2024, periodo en el que se presentan las lluvias en la ciudad de Abancay.

### **Ámbito espacial**

El estudio se realizó en la Urb. Los Chankas, del distrito de Abancay, provincia de Abancay, departamento de Apurímac. Donde planteamos una estructura de pavimento rígido permeable en donde el drenaje tiene columnas de grava para infiltrar el agua de lluvia de manera más eficiente.

## 4.3 **Población y muestra**

### **Población**

Población es una expresión equivalente que hacen alusión al conjunto total de elementos que conforman la superficie de interés analítico de la cual queremos obtener nuestras inferencias analíticas, estadísticas y conclusiones sustantivas o teóricas Roldan & Fachelli (2015).

**Población:** La investigación se realizará en la urbanización las Chankas perteneciente al distrito de Abancay, provincia de Abancay – Departamento Apurímac.

**Inclusión:**

- zonas con mayor afectación debido a la escorrentía pluvial
- pavimentos deteriorados
- sectores con mayor tráfico peatonal

**Exclusión:**

- zonas de tráfico pesado.
- Pavimentos con adecuado sistema de drenaje.

**Muestra:**

Conjunto o grupo de componentes lo cuales fueron seleccionados de una población en base a planificación de operaciones y actividades relacionadas a la población para así se pueda obtener una conclusión que abarque toda la población Salazar & Castillo (2018).

“La muestra no probabilística, también conocida como muestra dirigida, se considera una técnica elegida según las características del estudio, en lugar de un criterio estadístico de generalización.” Sampieri, Collado, & Lucio, Metodología de la Investigación, Sexta edición (2014).

La muestra será no probabilística comprende las zonas cruciales identificadas en urbanización los Chankas, los cuales vendrían a ser la intersección de Av. Enrique Pelach y pasaje Valdivia, Av. Enrique Pelach (clínica Santa Teresa) y Jr. Huancavelica c/n Jr. Tacna en donde estos lugares ocurre encharcamiento de agua en épocas de precipitaciones pluviales en los meses de diciembre a marzo. En la determinación de los ensayos se tomará referencia de la norma ASTM C-34 la cual considera en sus ensayos como mínimo 3 unidades.

Para la elaboración del diseño de Mezcla ACI 522 R-10, se tomaron los parámetros de relación  $a/c = 0.27, 0.33$  y  $0.50$  en función del porcentaje de vacíos  $16\%, 20\%$  y  $30\%$ . En el ensayo de resistencia a la compresión (ASTM C-34), se tomó  $n_1 = 27$  probetas Cilíndricas de  $15\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ . Las cuales se ensayarán en las edades de  $7, 14,$  y  $28$  días.

**Tabla 6:**

*Relación de diseño de Mezcla*

Relación $a/c$ % vacío	Relación de diseño de Mezcla		
	Edad de testigo 7 días	Edad de testigo 14 días	Edad de testigo 28 días
$a/c=0.27$ y $16\%$ vacíos	3	3	3
$a/c=0.27$ y $20\%$ vacíos	3	3	3
$a/c=0.27$ y $30\%$ vacíos	3	3	3
Total, de testigos	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>
<b>Total</b>	<b>27 probetas</b>		

**Nota:** La tabla nos indica el diseño experimental que contempló una relación  $a/c$  de  $0.27$  con tres niveles de vacíos ( $16\%, 20\%$  y  $30\%$ ), evaluando tres testigos por cada edad de curado ( $7, 14$  y  $28$  días), para un total de  $27$  probetas.

Para evaluar su capacidad de filtración, se llevó a cabo una prueba de permeabilidad siguiendo los lineamientos de la Norma ASTM C1701, utilizando un total de  $27$  muestras ( $n=27$ ).

Para calcular nuestra muestra trabajamos con un nivel de confianza del  $95\%$  y error del  $5\%$  por lo tanto al realizar los calculo correspondientes nos sale que nuestra muestra debería ser  $109$  muestras, es por eso que distribuimos como la anterior tabla y saldrá un total de  $108$  muestras de nuestro proyecto de investigación.

**Tabla 7:***Prueba de capacidad de infiltración*

Relación a/c % vacío	Cantidad	total
a/c=0.27 16% vacíos	5	
a/c=0.27 20% vacíos	5	15
a/c=0.27 30% vacíos	5	

**Nota:** La tabla nos indica los diseños de mezclas con relación a/c = 0.27 y tres niveles de vacíos (16%, 20% y 30%), empleando 5 probetas por condición, con un total de 15 para el 16% y distribución equivalente en los demás casos.

Ensayo de mecánica de suelos (Norma E 0.50). Debido a que no se pudo acceder a las propiedades privadas se realizó 01 calicata en la zona de estudio.

**Estudio de tráfico vial IMDA****Tabla 8:***Estudio de tráfico vial IMDA*

Zonas de estudio	Días	Total
Av. Enrique Pelach y Pasaje Valdivia	7 días	1 semana

**Nota:** La tabla nos indica la zona de estudio la Av. Enrique Pelach y el Pasaje Valdivia, con un período de observación de 7 días equivalente a 1 semana.

Para el ensayo de permeabilidad final de la estructura de pavimento se realizó 1 modelos a escala de una estructura de pavimento con un drenaje subterráneo de columna de grava.

**Tabla 9:**

*Modelos de estructura de pavimento permeable.*

<b>Prototipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>total</b>
Modelo de estructura de pavimento permeable con columnas de grava	1	1

**Nota:** La tabla nos indica el prototipo de estructura de pavimento permeable con columnas de grava, con una cantidad total de 1 unidad.

#### **4.4 Instrumentos**

Según, **Arias** (2006: 53), Los métodos para recopilar datos son diversas maneras de adquirir información. "Estos son ejemplos de métodos, observación directa, revisión de literatura, contenido, etc."

Este método de recolección de datos implica la captura organizada, exacta y fiable de conductas y situaciones observables mediante un grupo de categorías.

Se utilizó la observación directa como técnica para analizar los comportamientos y presentar conclusiones de las pruebas realizadas tanto en el pavimento permeable como en toda la estructura del diseño del pavimento rígido. Se realizaron pruebas estandarizadas:

- Norma técnica I.S. 020
- Método AASHTO-93
- Norma ACI 522R-10
- ASTM D – 1557, 1883, 1688,
- NTP 400.037

## 4.5 Procedimientos

### Validez y confiabilidad

La confiabilidad de los instrumentos se determina por distintos métodos. Esta se relaciona con qué tan bien el instrumento mide la variable que busca evaluar. La validez, por su parte, indica si realmente está midiendo lo que pretende medir.

### Coefficiente Alfa de Cronbach

El coeficiente alfa de Cronbach se utiliza a menudo para evaluar la fiabilidad u homogeneidad de una pregunta cuando se trata de diferentes respuestas, como las escalas de Ruiz Bolívar (2002), Pallella y Martin (2003), que explica el tamaño del instrumento en la tabla. Coeficiente de confiabilidad y se define de la siguiente manera:

Validez y confiabilidad de las herramientas de investigación de recopilación de datos.

#### Tabla 10:

*Validez y confiabilidad de los instrumentos.*

Rangos	Magnitud
0,81 a 1,00	Muy Alta
0,61 a 0,80	Alta
0,41 a 0,60	Moderada
0,21 a 0,40	Baja
0,01 a 0,20	Muy Baja

**Nota:** La tabla nos indica el coeficiente de confiabilidad es una medida que refleja la relación de una prueba consigo misma. Su valor puede variar entre 0 y 1. (Corral, 2009)

**Tabla 11:***Ficha de evaluación*

<b>Validez</b>	<b>María Ysabel García Álvarez</b>	<b>Jaime Hernen Espinoza Sandoval</b>	<b>Jorge Escalante Contreras</b>	<b>promedio</b>
<b>V1:</b> Contenido de vacíos	0.85	0.8	1	<b>0.883</b>
<b>V2:</b> Diseño de mezclas del concreto permeable con aditivo Sikacem	0.9	0.85	0.9	<b>0.883</b>
<b>Índice de validez</b>				<b>0.883</b>

**Nota:** La tabla 11 nos indica el índice de validez obtenido, considerando las evaluaciones de los tres jurados en las variables de contenido de vacíos y diseño de mezclas con aditivo Sikacem, fue de 0.883.

La ficha fue evaluada por 3 expertos (ingenieros civiles) quienes dieron un puntaje a la ficha de validación de instrumentos con un promedio de 0.88, lo cual respecto a la tabla 10 indica que tiene magnitud muy alta.

#### **4.6 Análisis de datos**

Como se indicó antes, las suposiciones del proceso cuantitativo son verificadas o analizadas empíricamente para determinar si son apoyadas o rechazadas a partir de las observaciones del investigador. En realidad, se diseñaron para este fin dentro de la tradición deductiva. En realidad, no podemos demostrar si una hipótesis es verdadera o falsa, sino que podemos verificar su validez o no según ciertos datos recogidos en un estudio específico. Desde un enfoque técnico, no se acepta una hipótesis mediante la investigación, sino que se ofrecen pruebas a favor o en contra. Cuanta mayor cantidad de investigación respalde una hipótesis, más probable es y, evidentemente, es válida en el contexto Sampieri, (2014).

Los métodos estadísticos son procedimientos usados para analizar datos cualitativos y cuantitativos. Su objetivo es comprobar, al menos en parte, los resultados obtenidos a partir de los supuestos del estudio.

### **Hipótesis estadística**

**Hipótesis nula**, La hipótesis nula se puede determinar como la afirmación que es contraria a lo que se tomara en cuenta como hipótesis, por lo cual en su redacción tiene una negación.

**Hipótesis alternativa**, Una hipótesis alternativa apoya una conclusión que el investigador quiere confirmar o probar con base en su investigación y su hipótesis principal. La teoría se identifica con el término " $H_1$ ".

### **Prueba de hipótesis**

Se lleva a cabo la prueba de hipótesis para poder optar entre 2 posibles opciones o soluciones que impacten todavía cierto parámetro de la población. La resolución implica optar por uno de dos enunciados que son competitivos y se excluyen mutuamente, en relación a uno o varios parámetros de la población.

$H_0$ : hipótesis nula

$H_1$ : hipótesis alternativa

### **Análisis de la varianza ANOVA**

El análisis de varianza (ANOVA) es una técnica estadística versátil que permite comparar las medias de más de dos grupos. Su utilidad se extiende a diseños experimentales complejos, como el análisis de mediciones repetidas, el control de variables intervinientes o la evaluación de múltiples tratamientos simultáneamente.

La presentación de los resultados de un ANOVA es crucial. Aunque idealmente se resumen en una tabla, es indispensable reportar los grados de libertad, el valor F y el valor p. El valor F se calcula comparando la variabilidad entre grupos (efecto del tratamiento) con la variabilidad dentro de los grupos (varianza del error).

La media cuadrática dentro de los grupos, conocida también como residual o error, mide la variabilidad aleatoria restante una vez que se ha considerado el efecto de los grupos. Conceptualmente, es análoga a los residuales en la regresión lineal. En esencia, un ANOVA evalúa si las diferencias entre las medias de los grupos son significativamente mayores que la variabilidad aleatoria inherente a los datos.

**Figura 4:**

Factor ANOVA

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
Entre las muestras	$SC_{Trat} = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_i - \bar{x}_{..})^2$	$k - 1$	$CM_{Trat} = \frac{SC_{Trat}}{k - 1}$	$F = \frac{CM_{Trat}}{CM_{Error}}$
Dentro de las muestras	$SC_{Error} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$	$N - k$	$CM_{Error} = \frac{SC_{Error}}{N - k}$	
Total	$SC_{Total} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2$	$N - 1$		

**Nota:** La tabla muestra cómo el ANOVA de un factor descompone la variabilidad total de los datos en variación entre las muestras y dentro de las muestras, calculando sus sumas de cuadrados, grados de libertad y cuadrados medios para obtener el estadístico F, que permite determinar si existen diferencias significativas entre las medias de los grupos.

#### 4.7 Consideraciones éticas

Tendrá un enfoque local, asegurando nuestro compromiso ético con la Universidad Tecnológica de los Andes (UTEA), así como con la profesión de Ingeniería Civil, ya que los

investigadores proporcionarán credibilidad en los datos obtenidos de la investigación cuantitativa.

## V Resultados y discusión

En este capítulo trataremos netamente los resultados de la investigación y cada prueba realizada, tanto como estado fresco o endurecido y los datos fueron procesados en el software Excel, asimismo también se hará un breve análisis de cada prueba realizada.

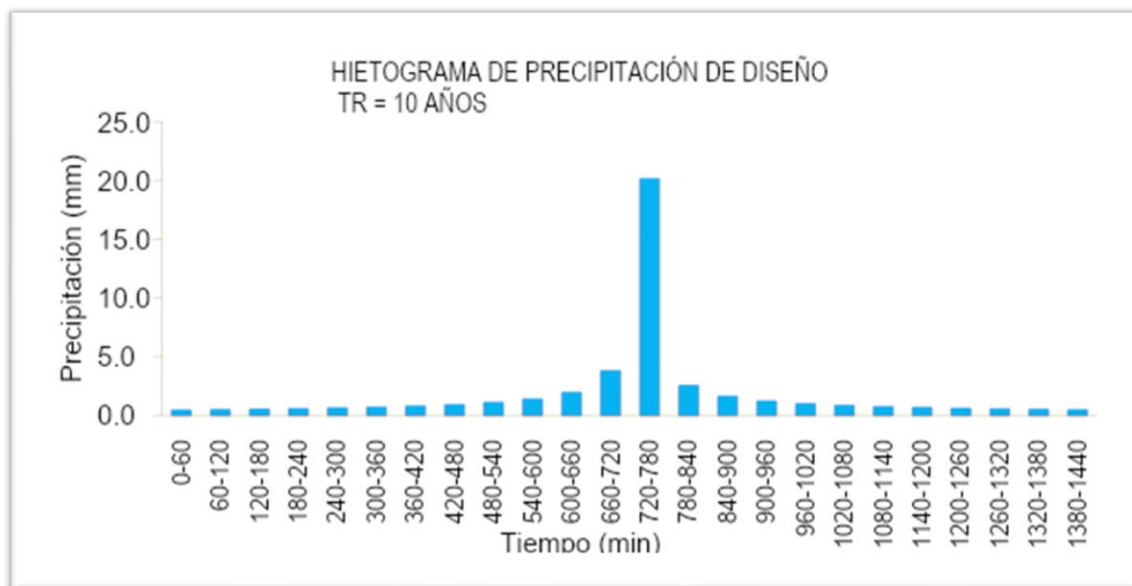
### 5.1 Determinación del estudio hidrológico

#### 5.1.1 Determinación de los datos de intensidades y precipitación

El método de Dyck y Peschke se usa para desarrollar curvas IDF en el análisis hidrológico urbano. Considera la variabilidad de la precipitación y las características de la cuenca urbana para predecir la probabilidad de eventos de lluvia de distintas intensidades y duraciones. Estas curvas son esenciales para diseñar sistemas de drenaje eficientes y reducir el riesgo de inundaciones urbanas. Dyck, S., & Peschke, G. (1995).

#### Figura 5:

*Curva de intensidad duración y frecuencia*



**Nota:** El hietograma de diseño para un período de retorno de 10 años muestra una precipitación máxima de 22.5 mm entre los 660 y 720 minutos, representando el intervalo más crítico para el análisis hidrológico.

Tabla 12:

*Intensidad y precipitación*

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	ACUMULADA	INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	20.16	20.16	20.16	0-60	0.47
120	11.99	23.98	3.82	60-120	0.5
180	8.85	26.54	2.56	120-180	0.54
240	7.13	28.52	1.98	180-240	0.59
300	6.03	30.15	1.64	240-300	0.65
360	5.26	31.56	1.41	300-360	0.72
420	4.69	32.8	1.24	360-420	0.81
480	4.24	33.91	1.11	420-480	0.93
540	3.88	34.92	1.01	480-540	1.11
600	3.59	35.86	0.93	540-600	1.41
660	3.34	36.72	0.86	600-660	1.98
720	3.13	37.53	0.81	660-720	3.82
780	2.95	38.29	0.76	720-780	20.16
840	2.79	39	0.72	780-840	2.56
900	2.65	39.68	0.68	840-900	1.64
960	2.52	40.33	0.65	900-960	1.24
1020	2.41	40.94	0.62	960-1020	1.01
1080	2.31	41.53	0.59	1020-1080	0.86
1140	2.22	42.1	0.57	1080-1140	0.76
1200	2.13	42.64	0.54	1140-1200	0.68
1260	2.06	43.16	0.52	1200-1260	0.62
1320	1.98	43.67	0.5	1260-1320	0.57
1380	1.92	44.16	0.49	1320-1380	0.52
1440	1.86	44.63	0.47	1380-1440	0.49

**Nota:** La tabla nos muestra la intensidad y precipitación máxima de la ciudad de Abancay

### 5.1.2 Determinación de los caudales de las áreas urbanas

El método racional calcula el caudal máximo en zonas urbanas usando la lluvia, el tamaño del área y un coeficiente de escorrentía. Maidment & Mays (1988).

**Tabla 13:**

*Datos de caudales de  $pr=10$  años, método racional.*

CALLES DE AFECTACIÓN	AREA (km <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /seg)
Jr. lima - Plaza de armas	0.003	0.008
Jr. Cusco	0.021	0.053
Jr. Junín	0.017	0.044
Jr. Huancavelica	0.016	0.041
Av. Núñez	0.051	0.129
Pje. Valdivia	0.006	0.016

**Nota:** Indica los caudales máximos de las microcuencas urbanas, en donde la Av. Núñez es el más alto.

**Figura 6:**

Modelación de precipitación pluvial  $pr:10$  años



El nivel de agua en este sector de la Av. Enrique Pelach alcanza hasta los 0.5 m. según la modelación hidráulica

**Nota:** La imagen corresponde a una modelación pluvial con un período de retorno de 10 años, representando la distribución espacial del escurrimiento y zonas de influencia en un entorno urbano.

De la modelación hidráulica realizada al Jr. puno y la Av. Pelach, se escogió la zona más crítica para realizar el modelo a escala de la estructura de pavimento permeable.

### 5.1.3 Determinación de la velocidad de infiltración del suelo en el área de estudio in situ.

Para calcular la velocidad de infiltración y el tiempo de infiltración del agua en el suelo, se tiene algunos datos

- Se excavó un cubo de 1 m x 1 m x 1 m en el terreno natural.
- Se vertieron 170 litros de agua, que equivale a 0.17 m<sup>3</sup> de agua.
- Se tomaron lecturas cada 5 minutos del espejo del agua.

#### Figura 7:

*Lecturas del espejo del agua.*



**Nota:** La figura 07 nos muestra la determinación in situ de la velocidad de infiltración del suelo en el área de estudio mediante medición directa del ingreso de agua.

**Figura 8:**

*Datos de la velocidad de infiltración en el suelo.*

tiempo	altura	Tiempo (s)	Delta altura (cm)	Volumen infiltrado (m <sup>3</sup> )	Velocidad Infiltración (L/s)
0	20	0			
5	19	300	-1	-0.01	-0.03
10	16.5	600	-2.5	-0.03	-0.08
15	15	900	-1.5	-0.02	-0.05
20	15	1200	0	0.00	0.00
25	14	1500	-1	-0.01	-0.03
30	13	1800	-1	-0.01	-0.03
35	13	2100	0	0.00	0.00
40	12	2400	-1	-0.01	-0.03
45	11.5	2700	-0.5	-0.01	-0.02
50	11.5	3000	0	0.00	0.00
55	11	3300	-0.5	-0.01	-0.02
60	10.6	3600	-0.4	0.00	-0.01
65	10	3900	-0.6	-0.01	-0.02
70	9.5	4200	-0.5	-0.01	-0.02
75	9	4500	-0.5	-0.01	-0.02
80	8.7	4800	-0.3	0.00	-0.01
85	8.5	5100	-0.2	0.00	-0.01
90	8.3	5400	-0.2	0.00	-0.01
95	8	5700	-0.3	0.00	-0.01
100	7.6	6000	-0.4	0.00	-0.01
105	7	6300	-0.6	-0.01	-0.02
110	6.5	6600	-0.5	-0.01	-0.02
115	6	6900	-0.5	-0.01	-0.02
120	5	7200	-1	-0.01	-0.03

**Nota:** La tabla nos muestra la velocidad de infiltración promedio durante los primeros 60 minutos muestra variaciones significativas debido a las fluctuaciones en la altura del agua. El tiempo de infiltración total es 60 minutos, ya que después de ese tiempo el nivel del agua en la excavación muestra una estabilización.

## 5.2 Desarrollo del estudio de mecánica de suelos C-1

### 5.2.1 Ensayo granulométrico

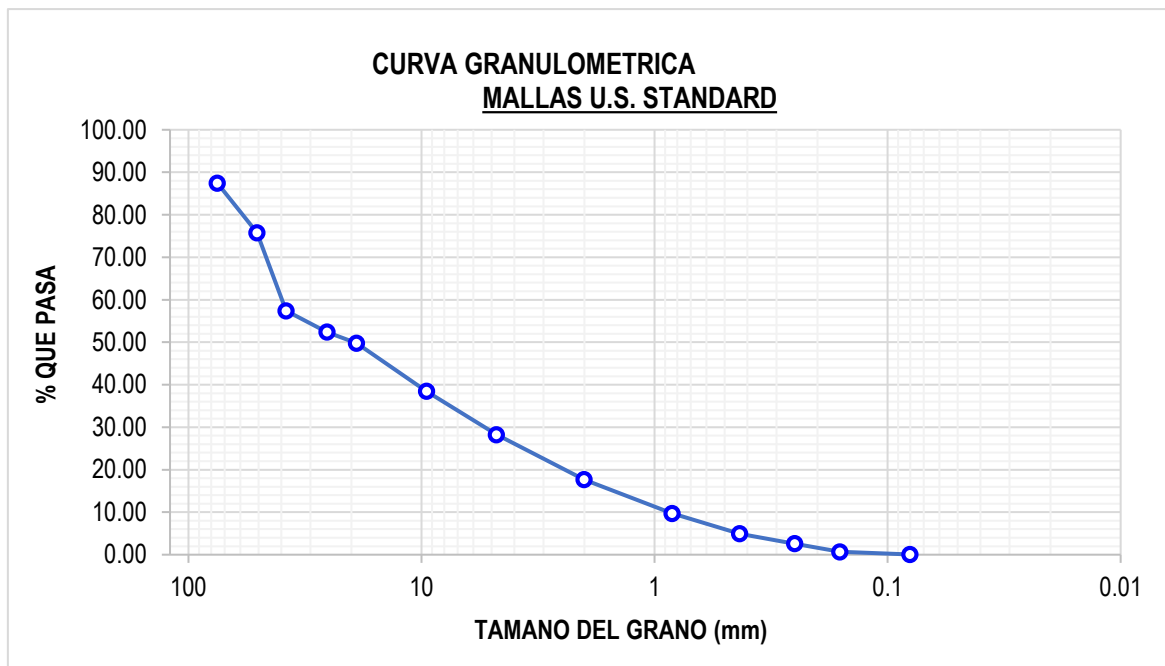
El análisis granulométrico es un método esencial en la mecánica de suelos que facilita la identificación de la distribución de los tamaños de las partículas que integran un suelo. Este estudio se lleva a cabo a través del análisis de tamizado y sedimentación para separar y clasificar las partículas de acuerdo a su tamaño. Los resultados sirven para categorizar el suelo y establecer sus características mecánicas fundamentales para el diseño y edificación de estructuras ASTM International (2017).

**Tabla 14:**

*Análisis granulométrico de calicata.*

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	75	579.05	12.61	12.61	87.39
2"	50.8	533.02	11.61	24.22	75.78
1 1/2"	38.1	843.35	18.37	42.60	57.40
1"	25.4	230.95	5.03	47.63	52.37
3/4"	19	119.55	2.60	50.23	49.77
3/8"	9.5	520.69	11.34	61.57	38.43
No4	4.76	467.75	10.19	71.76	28.24
No10	2	486.25	10.59	82.36	17.64
No20	0.84	364.35	7.94	90.29	9.71
No40	0.43	219.05	4.77	95.06	4.94
No60	0.25	108.45	2.36	97.43	2.57
No140	0.16	87.45	1.90	99.33	0.67
No200	0.08	28.55	0.62	99.95	0.05
BASE		2.15	0.05	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>4590.60</b>			

*Nota:* La tabla 14 nos muestra los resultados obtenidos de la granulometría del suelo.

**Figura 9:***Curva granulométrica*

**Nota:** La figura 09 muestra una curva granulométrica elaborada con base en las mallas U.S. Standard, donde se representa el porcentaje que pasa de material en función del tamaño del grano (mm), permitiendo caracterizar la distribución de partículas en un suelo o agregado.

Coefficiente de Uniformidad ( $CU = 2.58$ ): Indica una distribución moderadamente uniforme de tamaños de partículas en el suelo.

Coefficiente de Curvatura ( $CC = 0.64$ ): Indica una curva granulométrica moderadamente curva, lo que sugiere una variabilidad en los tamaños de partículas, pero no extremadamente marcada.

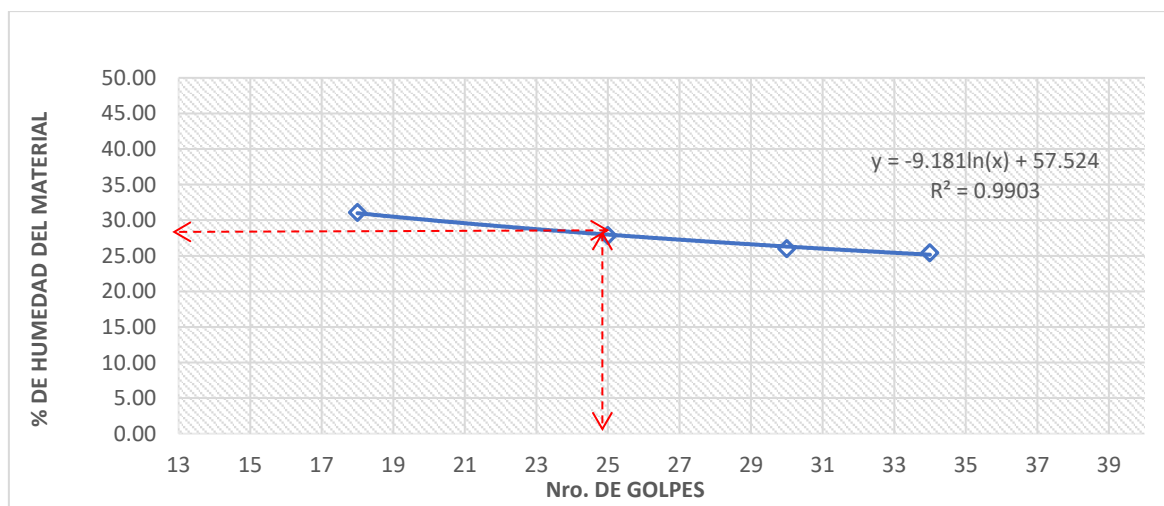
### 5.2.2 Ensayo límite líquido y plástico

El ensayo de límites de Atterberg determina el contenido de agua en el que un suelo cambia de estado plástico a líquido. Estos resultados son esenciales para el diseño y construcción de estructuras seguras ASTM International (2017).

**Tabla 15:***Limite líquido y limite plástico*

	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	4	1	2	3
TARA							
Nro. DE GOLPES	18	25	30	34	S 07	S 08	S 09
PESO TARA	13.76	13.76	13.62	13.58	6.95	7.13	6.98
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr)	42.72	42.49	41.57	42.23	15.28	15.43	15.78
PESO TARA + MUESTRA SECA (gr)	35.85	36.23	35.8	36.42	14.2	14.36	14.64
PESO DEL AGUA	6.87	6.26	5.77	5.81	1.08	1.07	1.14
PESO SUELO SECO	22.09	22.47	22.18	22.84	7.25	7.23	7.66
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	31.1	27.86	26.01	25.44	14.9	14.8	14.88

**Nota:** La tabla nos muestra el ensayo de límites de Atterberg donde se determinó un contenido de humedad entre 25.44% y 31.1% para el límite líquido y alrededor de 14.8% para el límite plástico, caracterizando la plasticidad del suelo.

**Figura 10:***Gráfico de limite liquido*

**Nota:** La gráfica representa la relación entre el número de golpes y el porcentaje de humedad del material, mostrando una tendencia logarítmica decreciente con alta correlación ( $R^2 = 0.9903$ ), lo que permite identificar el punto de intersección para determinar el límite líquido del suelo.

### 5.2.3 Ensayo de contenido de humedad

El límite líquido y plástico miden cuánta agua necesita un suelo para cambiar de estado. Esto ayuda a clasificar el suelo para usarlo correctamente en la construcción ASTM International (2017).

**Tabla 16:**

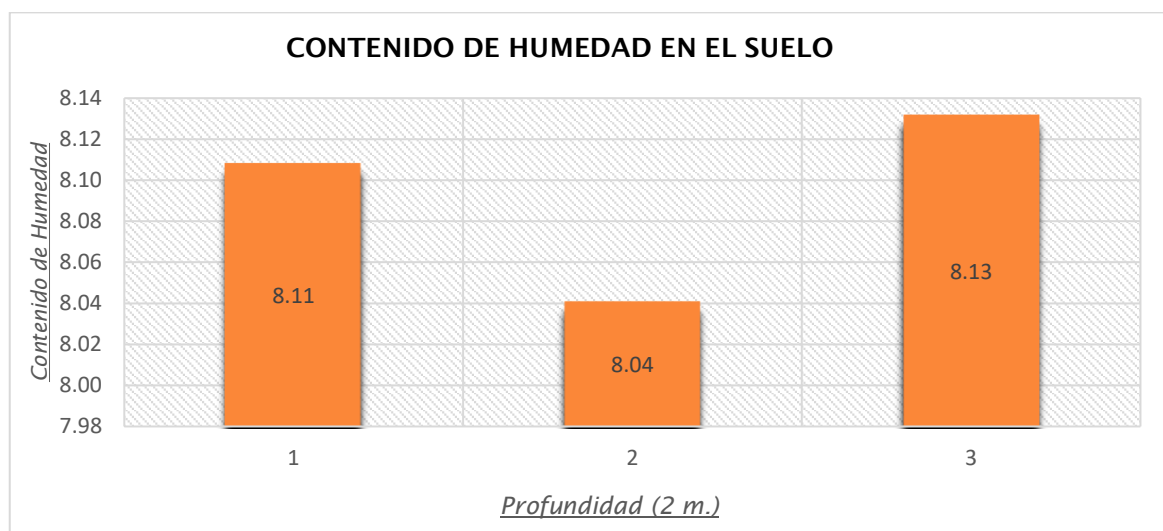
*Contenido de humedad.*

<b>Contenido de humedad (%)</b>			
<b>Profundidad</b>	1.5	1.5	1.5
<b>Peso de tara (gr)</b>	103.8	45.9	47.42
<b>peso tara+ suelo natural</b>	203.8	145.9	147.42
<b>peso tara + suelo seco</b>	196.3	138.46	139.9
<b>peso del agua</b>	7.5	7.44	7.52
<b>peso del suelo seco</b>	92.5	92.56	92.48
<b>contenido de humedad (%)</b>	8.11	8.04	8.13
<b>contenido de humedad final (%)</b>	8.09		

**Nota:** En la tabla se muestra los resultados del contenido de humedad del suelo a 1.5 m de profundidad, obteniéndose valores individuales de 8.11%, 8.04% y 8.13%, con un promedio final de 8.09%, lo que permite caracterizar el estado hídrico del perfil en el área de estudio.

**Figura 11:**

*Contenido de humedad.*



**Nota:** La figura 11 muestra el contenido de humedad del suelo a 2 metros de profundidad en tres puntos de muestreo, con valores de 8.11%, 8.04% y 8.13%, reflejando una distribución homogénea en el perfil analizado

#### 5.2.4 Ensayo de Proctor modificado

El ensayo de Proctor modificado determina la humedad óptima y densidad máxima de un suelo para garantizar la estabilidad estructural. (ASTM International, 2012).

**Tabla 17:**

*Ensayo de Compactación*

COMPACTACIÓN	muestra 01	muestra 02	muestra 03	muestra 04
<b>Peso del suelo húmedo compacta (gr) + molde (gr)</b>	10310	10735	10856	10761
<b>Peso del molde (gr)</b>	6339	6339	6339	6339
<b>Peso del suelo húmedo compacta (gr)</b>	3971	4396	4517	4422
<b>Peso volumétrico (gr/cm)</b>	1.88	2.09	2.14	2.1

**Nota:** La tabla muestra la compactación en cuatro muestras, obteniéndose pesos volumétricos entre 1.88 y 2.14 gr/cm<sup>3</sup>, lo que permite evaluar la densidad del suelo húmedo compactado en función de su comportamiento mecánico.

**Tabla 18:**

*Ensayo de Proctor*

TARA N°	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Peso del suelo húmedo + tara (gr)	98.11	107.64	109.16	107.13	132.52	116.94	115.06	126.2
Peso del suelo seco + tara (gr)	93.9	102.73	102.59	100.48	122.69	108.11	104.99	115.69
Peso de la tara (gr)	23.64	19.57	24.04	20.38	28.97	23.04	25.58	31.42
Peso del agua (gr)	4.21	4.91	6.57	6.65	9.83	8.83	10.07	10.51
Peso del suelo seco	70.26	83.16	78.55	80.1	93.72	85.07	79.41	84.27
<b>CONTENIDO DE AGUA (%)</b>	5.99	5.9	8.36	8.3	10.49	10.38	12.68	12.47
<b>PROMEDIO DE HUMEDAD %</b>		5.95		8.33		10.43		12.58

**PESO VOLUMETRICO SECO (gr/cm<sup>3</sup>)**

1.774

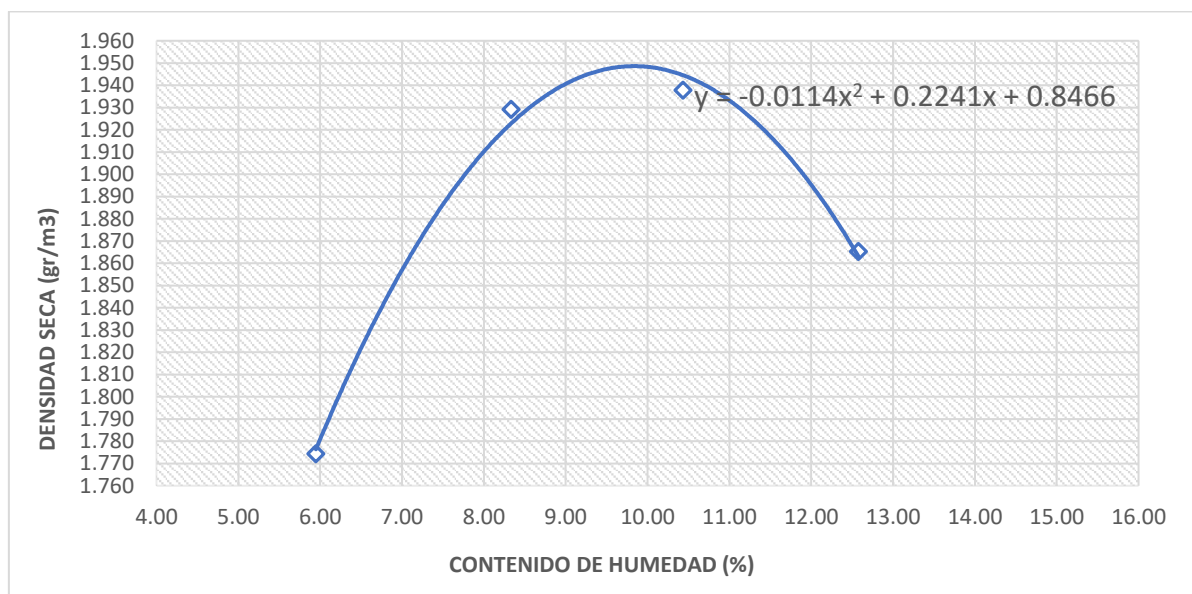
1.929

1.938

1.865

**Nota:** La tabla 18 muestra el ensayo de humedad y compactación permitió determinar los siguientes resultados: los contenidos de agua oscilaron entre 5.9% y 12.68%, con promedios de 5.95%, 8.33%, 10.43% y 12.58% según las series de muestras. El peso volumétrico seco obtenido varió entre 1.774 y 1.938 gr/cm<sup>3</sup>, valores que reflejan la densidad alcanzada por el suelo en condiciones de compactación controlada. Estos datos permiten caracterizar el comportamiento hídrico y mecánico del material en el área de estudio.

<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>: 1.948 gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>	<b>: 9.70 %</b>

**Figura 12:***Relación Humedad Densidad*

**Nota:** La gráfica muestra la relación entre el contenido de humedad y la densidad seca del suelo, evidenciando una curva parabólica típica de los ensayos de compactación. El modelo cuadrático obtenido permite identificar el punto óptimo de humedad para alcanzar la máxima densidad seca, fundamental para evaluar la eficiencia del proceso de compactación en campo.

### 5.2.5 Ensayo California Bearing Ratio (CBR)

El ensayo CBR es fundamental en la mecánica de suelos para evaluar la resistencia al corte y la capacidad de soporte del suelo, proporcionando datos esenciales para el diseño de pavimentos y otros proyectos de infraestructura (ASTM D1883, 2016).

**Tabla 19:**

*Ensayo CBR*

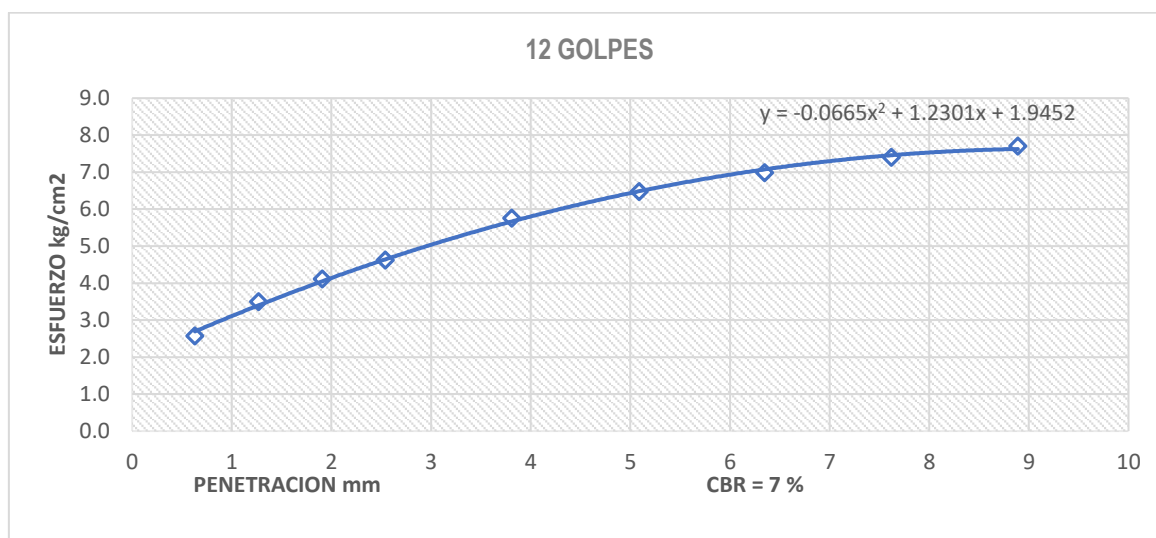
Molde N°	A		B		C	
Capas N°	5		5		5	
Numero de golpes	56		25		12	
<b>CONTRACCION DE LA MUESTRA</b>	SIN SATURAR		SIN SATURAR		SIN SATURAR	
Peso del molde + suelo húmedo	11362.00		12687.00		13624.00	
Peso del molde	6997.00		7755.00		8640.00	
Peso del suelo húmedo	4365.00		4932.00		4984.00	
Volumen del molde	2351.26		2518.16		2344.50	
Densidad húmeda	1.86		1.96		2.13	
% de humedad	9.50		9.50		9.50	
Densidad seca	1.70		1.79		1.94	
Tara N°						
Tara + suelo húmedo	128.42	115.56	144.04	130.70	126.11	125.28
Tara + suelo seco	119.81	107.26	134.50	121.54	117.71	116.73
Peso del agua	8.61	8.30	9.54	9.16	8.40	8.55
Peso de la tara	29.57	19.83	34.25	24.50	30.07	26.41
Peso del suelo seco	90.24	87.43	100.25	97.04	87.64	90.32
% de humedad	9.54	9.49	9.52	9.44	9.58	9.47
Promedio de humedad	9.52		9.48		9.53	
Densidad del suelo seco	1.70		1.79		1.94	

**Nota:** La tabla 19 muestra ensayos de compactación en tres moldes con cinco capas cada uno y diferentes números de golpes (56, 25 y 12), manteniendo las muestras sin saturar. Los resultados mostraron densidades secas de 1.70, 1.79 y 1.94 gr/cm<sup>3</sup>, respectivamente, con contenidos de humedad promedio de 9.52%, 9.48% y 9.53%. Estos valores permiten evaluar la eficiencia del proceso de compactación y el comportamiento mecánico del suelo bajo distintas energías de impacto.

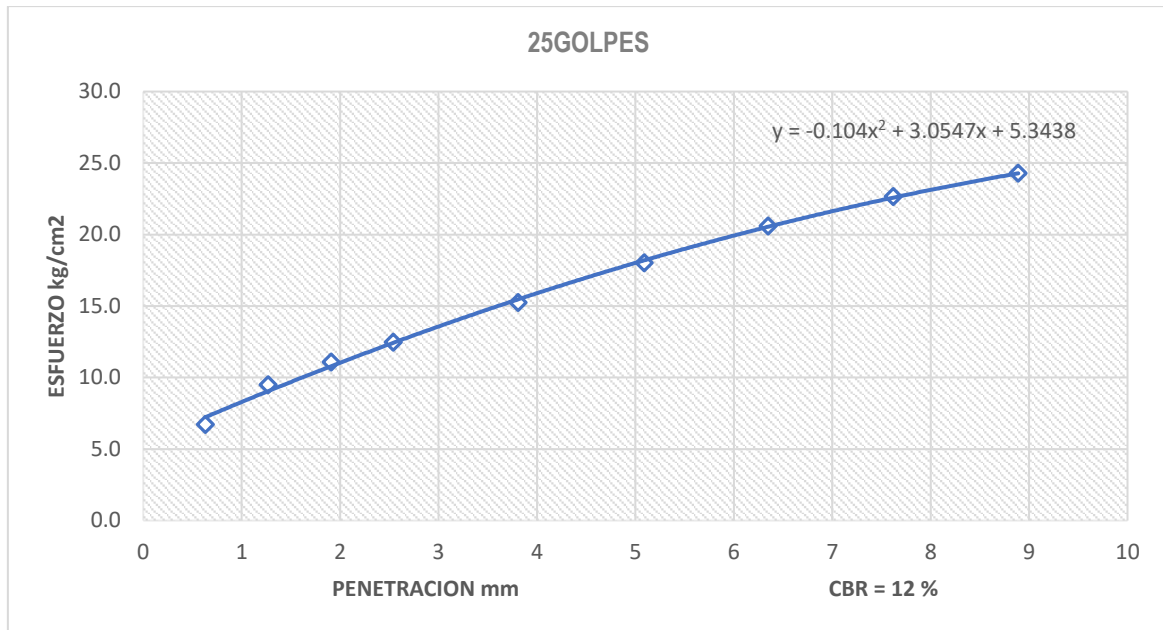
**Tabla 20:***Penetración.*

Penetración mm	pulg	Tiempo	carga	modelo 12 golpes			modelo 25 golpes			modelo 56 golpes		
				kn	kg	kg/cm2	kn	kg	kg/cm2	kn	kg	kg/cm2
0.63	0.02	0.02		0.50	50.99	2.57	1.31	133.58	6.73	2.96	301.83	15.20
1.27	0.05	0.05		0.68	69.34	3.49	1.85	188.64	9.50	4.99	508.83	25.62
1.91	0.08	0.06		0.80	81.58	4.11	2.16	220.26	11.09	5.69	580.21	29.22
2.54	0.10	0.08	70.31	0.90	91.77	4.62	2.43	247.79	12.48	6.32	644.45	32.45
3.81	0.15	0.13		1.12	114.21	5.75	2.97	302.85	15.25	7.56	770.89	38.82
5.09	0.20	0.17	105.00	1.26	128.48	6.47	3.51	357.91	18.02	8.66	883.06	44.47
6.35	0.25	0.21		1.36	138.68	6.98	4.01	408.90	20.59	9.59	977.89	49.25
7.62	0.30	0.25		1.44	146.84	7.39	4.41	449.69	22.65	10.37	1057.43	53.25
8.89	0.35	0.29		1.50	152.96	7.70	4.73	482.32	24.29	10.99	1120.65	56.44
10.16	0.40	0.33										

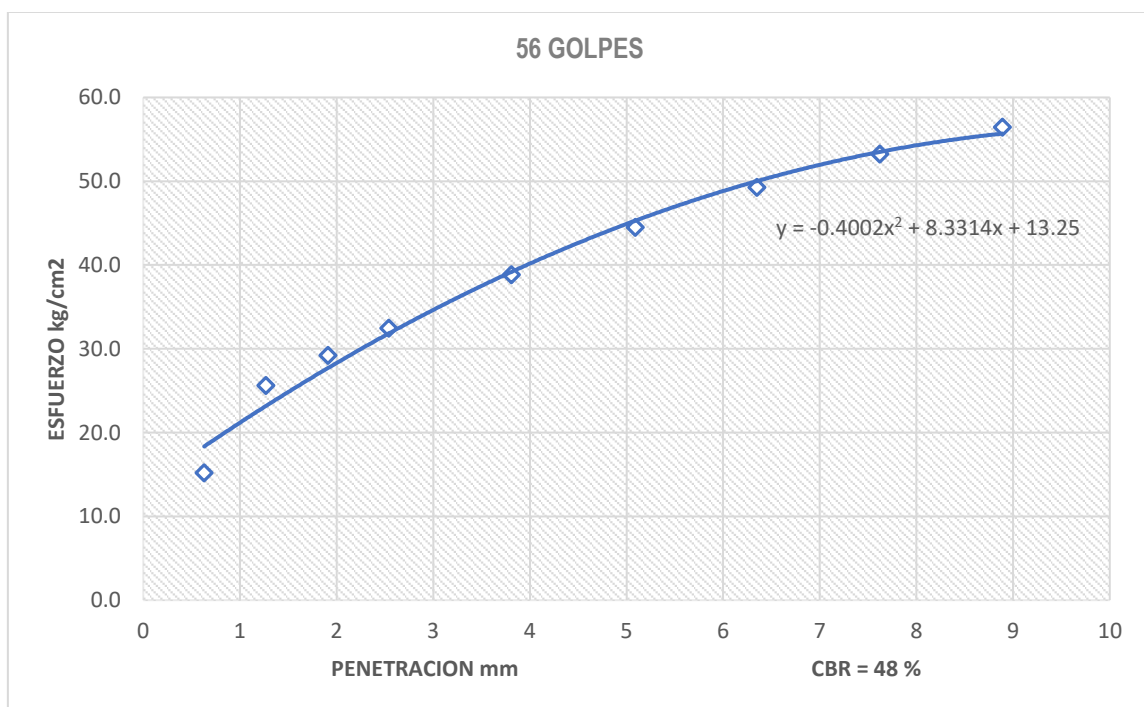
**Nota:** La tabla 20 permite observar cómo la energía de compactación influye directamente en la resistencia a la penetración, siendo el modelo de 56 golpes el que alcanza los mayores valores de carga por unidad de área.

**Figura 13:***Curva de tendencia % CBR*

**Nota:** La figura muestra el ensayo CBR con 12 golpes muestra un esfuerzo máximo de aproximadamente 7 kg/cm<sup>2</sup>, correspondiente a una capacidad de soporte del 7%.



**Nota:** La figura muestra el ensayo CBR con 25 golpes muestra un esfuerzo máximo cercano a 25 kg/cm<sup>2</sup>, correspondiente a una capacidad de soporte del 12%.

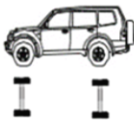
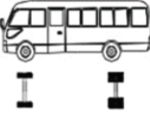



**Nota:** La figura muestra el ensayo CBR con 56 golpes muestra un esfuerzo máximo cercano a 56 kg/cm<sup>2</sup>, correspondiente a una capacidad de soporte del 48%.

### 5.3 Determinación del espesor del pavimento

cálculo del IMDEA

**Figura 14:***Conteo Vehicular*

<b>CONTEO VEHICULAR</b>													
<b>VEHÍCULO</b>		<b>CONTEO</b>								<b>TOTAL</b>	<b>IMDs</b>	<b>%</b>	
<b>COD</b>	<b>GRÁFICO</b>	<b>DIR</b>	<b>D</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>V</b>	<b>S</b>				
VHL1_		IDA									13097	1871	100.00%
		VUE.	1871	1804	1871	1803	1871	2006	1871		0		0.00%
VHL2_		IDA									994	142	100.00%
		VUE.	142	148	142	134	142	144	142		0		0.00%
_C2		IDA									78	12	100.00%
		VUE.	11	10	11	14	11	10	11		0		0.00%

**Nota:** La figura muestra el conteo vehicular semanal registró un flujo total de 13,097 vehículos tipo SUV, 994 buses y 78 camiones en sentido de ida, con un índice medio diario (IMDs) de 1871, 142 y 12 respectivamente, reflejando una alta concentración de tránsito liviano en el área evaluada.

**Espesor de la sub-base****Tabla 21:***Espesor de la sub-base (H)*

<b>H</b>	<b>KC (Nominal)</b>	<b>KC (Calculado)</b>
30 cm	6.4	6.43

**Nota:** La tabla 21 muestra el KC calculado de 6.43 para la sub-base de 30 cm coincide con el valor nominal de 6.4, confirmando su adecuada capacidad portante.

## Espesor del pavimento

**Tabla 22:**

*Espesor del pavimento.*

ESPESOR	Gt	N18 NOMINAL	N18 CALCULADO
12 cm	-0.1549	5.876	5.89

**Nota:** La tabla 22 muestra el espesor de pavimento de 12 cm se obtuvo un valor de N18 calculado de 5.89, prácticamente coincidente con el N18 nominal de 5.876, lo que confirma la adecuada capacidad estructural del diseño.

Para mejorar la resistencia estructural y el diseño del pavimento, se especificará un espesor de 20 cm utilizando concreto permeable en la estructura del pavimento.

### 5.4 Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados del concreto

#### 5.4.1 Análisis granulométrico y tamizado del agregado fino

Los análisis bajo las normas NTP 400.012 y ASTM C136 permiten clasificar el agregado fino según los requisitos establecidos.

Tabla 23:

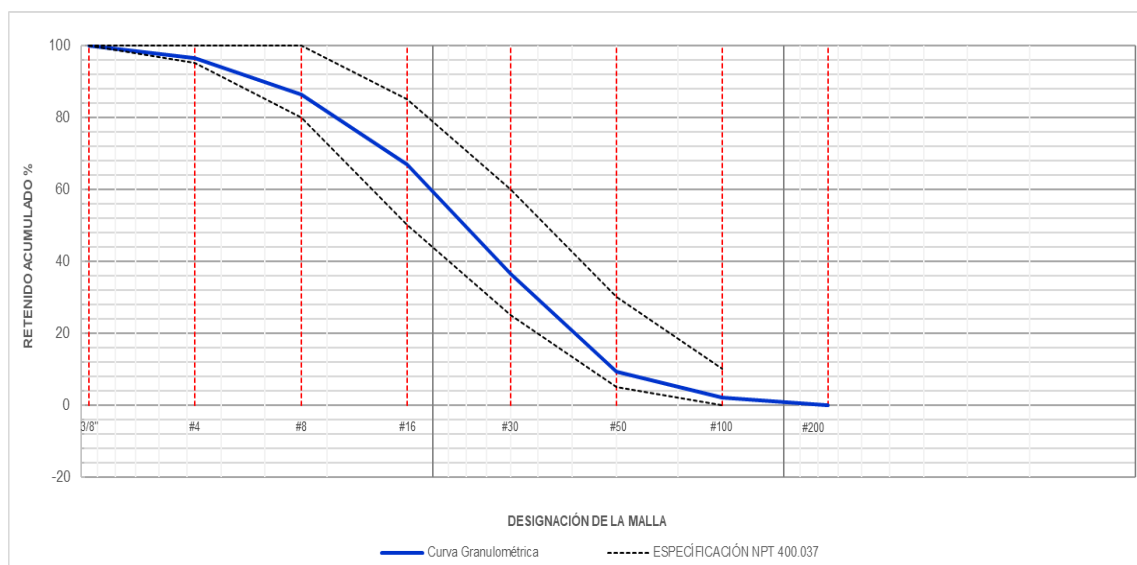
Análisis granulométrico del agregado fino.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO Y TAMIZADO							
Masa total húmeda antes del lavado (g):	796	Masa total seca calculada (g):	778	Masa seca lavada sobre el tamiz No. 200 (g):	778	ESPECIFICACIÓN NPT 400.037	
Tamiz U.S Standard	mm	Retenido Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límite Inferior (%)	Límite Superior (%)
3/8"	9.5	0	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
#4	4.74	27	3.47%	3.47%	96.53%	95.00%	100.00%
#8	2.36	79	10.15%	13.62%	86.38%	80.00%	100.00%
#16	1.18	151	19.41%	33.03%	66.97%	50.00%	85.00%
#30	0.6	238	30.59%	63.62%	36.38%	25.00%	60.00%
#50	0.3	211	27.12%	90.75%	9.25%	5.00%	30.00%
#100	0.15	55	7.07%	97.81%	2.19%	0.00%	10.00%
#200	0.08	17	2.19%	100.00%	0.00%		
Pasa # 200		0	0.00%				
				<b>CUMPLE ESPECIFICACIÓN</b>		<b>CUMPLE ESPECIFICACIÓN</b>	
<b>TOTAL</b>		<b>778</b>	<b>100%</b>				

**Nota:** La tabla 23 muestra el análisis granulométrico del agregado fino arrojó una masa seca de 778 g, con 0% pasa el tamiz #200, cumpliendo la especificación NPT 400.037. El módulo de fineza es **3.02**.

**Figura 15:**

*Curva granulométrico del agregado fino.*



**Nota:** La figura 15 muestra la curva granulométrica del agregado fino se ajusta a la especificación NPT 400.037, mostrando una distribución continua y bien graduada entre los tamices #4 y #200.

**Evaluación de resultado:** El agregado fino cumple con la norma NTP 400.037, según su curva granulométrica.

El módulo de fineza obtenido (3,02) cumple con la norma, que exige valores entre 2,3 y 3,1.

#### 5.4.2 Análisis granulométrico y tamizado del agregado grueso.

Tabla 24:

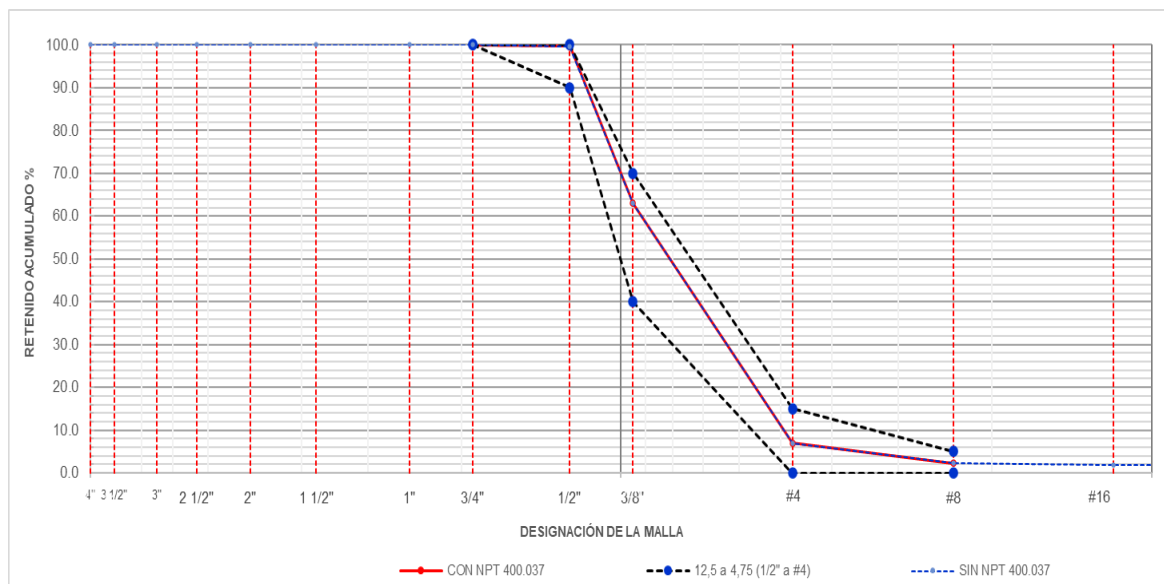
Análisis granulométrico del agregado grueso.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO Y TAMIZADO							
Masa total húmeda antes del lavado (g):	4044.3	Masa total seca calculada (g):	4120	Masa seca lavada sobre el tamiz No. 200 (g):	4044.3	ESPECIFICACIÓN NPT 400.037	
Tamiz U.S Standard	mm	Retenido Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Límite Inferior (%)	Límite Superior (%)
4"	100	0	0.00%	0.00%	100.00%		
3 1/2"	90	0	0.00%	0.00%	100.00%		
3"	75	0	0.00%	0.00%	100.00%		
2 1/2"	63	0	0.00%	0.00%	100.00%		
2"	50	0	0.00%	0.00%	100.00%		
1 1/2"	37.5	0	0.00%	0.00%	100.00%		
1"	25	0	0.00%	0.00%	100.00%		
3/4"	19	0	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
1/2"	12.5	13.6	0.33%	0.33%	99.67%	90.00%	100.00%
3/8"	9.5	1513	36.72%	37.05%	62.95%	40.00%	70.00%
#4	4.75	2306.1	55.97%	93.03%	6.97%	0.00%	15.00%
#8	2.36	194.7	4.73%	97.75%	2.25%	0.00%	5.00%
#16	1.18	13.6	0.33%	98.08%	1.92%		
#50	0.3	3.3	0.08%	98.16%	1.84%		
#200	0.08	15.7	0.38%	98.54%	1.46%		
		0	16.00%	16.00%	100.00%		
		75.7	1.84%				
<b>CUMPLE ESPECIFICACIÓN</b>							
<b>TOTAL</b>		<b>4044.3</b>	<b>100%</b>				

**Nota:** La tabla muestra el análisis granulométrico del agregado grueso arrojó una masa seca de 4120g, un módulo de fineza de 5.39 y una distribución que cumple con la especificación NPT 400.037.

**Figura 16:**

*Curva granulométrica del agregado grueso.*



**Nota:** La figura muestra la curva granulométrica del agregado grueso se ajusta a la especificación NPT 400.037, mostrando una distribución continua entre los tamices 1/2" y #4, con predominio de partículas retenidas en #4 y #8.

**Análisis de resultados:** La curva granulométrica confirma que el agregado grueso cumple con el Huso 67, al obtenerse un módulo de finura de 5.39 según lo establecido en la Norma NTP 400.037.

### 5.4.3 El peso unitario compactado y suelto del agregado fino

El propósito de esta prueba es determinar el peso por unidad del agregado fino en función de su volumen o su densidad, conforme a lo indicado en la norma NTP 400.017 y ASTM C – 29; esto se presenta en la figura siguiente:

**Tabla 25:**

*Análisis del peso unitario suelto del agregado fino.*

<b>PESO UNITARIO SUELTO Y VACÍOS DEL AGREGADO FINO</b>		
<b>DATOS DEL ENSAYO</b>	<b>MUESTRA 01</b>	<b>MUESTRA 02</b>
Peso del Molde (gr)	2008	2008
Peso del Molde + Muestra Suelta (gr)	6421	6516
Peso de la Muestra Suelta (gr)	4413	4508
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	2831.7	2831.7
Peso Unitario Suelto (gr/cm <sup>3</sup> )	1.6	1.6
Peso Específico (kg/m <sup>3</sup> )	2667.6	2667.6
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1558.4	1592
Porcentaje de Vacíos	42%	40%
<b>Peso Unitario Suelto (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1575.2</b>	
<b>Porcentaje de Vacíos</b>	<b>40.95%</b>	

**Nota:** La tabla muestra que el agregado fino presentó un peso unitario suelto promedio de 1575.2 kg/m<sup>3</sup> y un porcentaje de vacíos de 40.95%, valores compatibles con su densidad específica de 2667.6 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 26:**

*Análisis del peso unitario compactado del agregado fino.*

<b>PESO UNITARIO VARILLADO Y VACÍOS DEL AGREGADO FINO</b>		
<b>DATOS DEL ENSAYO</b>	<b>MUESTRA 01</b>	<b>MUESTRA 02</b>
Número de Capas	3	3
Número de Golpes	25	25
Peso del Molde (gr)	2008	2008
Peso del Molde + Muestra Varillada (gr)	7210	7191
Peso de la Muestra Varillada (gr)	5202	5183
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	2831.7	2831.7
Peso Unitario Varillado (gr/cm <sup>3</sup> )	1.8	1.8
Peso Específico (kg/m <sup>3</sup> )	2667.6	2667.6
Peso Unitario Varillado (kg/m <sup>3</sup> )	1837.1	1830.3
Porcentaje de Vacíos	31.13%	31.39%
<b>Peso Unitario Varillado (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1833.7</b>	
<b>Porcentaje de Vacíos</b>	<b>31.26%</b>	

**Nota:** La tabla muestra que el agregado fino presentó un peso unitario compactado promedio de 1833.7 kg/m<sup>3</sup> y un porcentaje de vacíos de 31.26%, valores que reflejan una adecuada densificación respecto a su peso específico de 2667.6 kg/m<sup>3</sup>

#### 5.4.4 El peso compactado y suelto del agregado grueso.

La finalidad de esta prueba es establecer el peso unitario del agregado grueso por su volumen o su densidad, de acuerdo con lo que indica la norma NTP 400.017.

**Tabla 27:**

*Análisis del peso unitario suelto del agregado grueso.*

<b>PESO UNITARIO SUELTO Y VACÍOS DEL AGREGADO GRUESO</b>		
<b>DATOS DEL ENSAYO</b>	<b>MUESTRA 01</b>	<b>MUESTRA 02</b>
Peso del Molde (gr)	4814	4814
Peso del Molde + Muestra Suelta (gr)	18757	19082
Peso de la Muestra Suelta (gr)	13943	14268
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	9438.95	9438.95
Peso Unitario Suelto (gr/cm <sup>3</sup> )	1.48	1.51
Peso Específico (kg/m <sup>3</sup> )	2701.94	2701.94
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1477.18	1511.61
Porcentaje de Vacíos	45.33%	44.05%
<b>Peso Unitario Suelto (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1494.39</b>	
<b>Porcentaje de Vacíos</b>	<b>44.69%</b>	

**Nota:** La tabla muestra el agregado grueso que presenta un peso unitario suelto promedio de 1494.39 kg/m<sup>3</sup> y un porcentaje de vacíos de 44.69%, valores que reflejan su condición suelta respecto al peso específico de 2701.94 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 28:**

*Análisis del peso unitario compactado del agregado grueso.*

<b>PESO UNITARIO VARILLADO Y VACÍOS DEL AGREGADO GRUESO</b>		
<b>DATOS DEL ENSAYO</b>	<b>MUESTRA 01</b>	<b>MUESTRA 02</b>
Número de Capas	3	3
Número de Golpes	25	25
Peso del Molde (gr)	4814	4814
Peso del Molde + Muestra Varillada (gr)	20361	20234

Peso de la Muestra Varillada (gr)	15547	15420
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	9438.95	9438.95
Peso Unitario Varillado (gr/cm <sup>3</sup> )	1.65	1.63
Peso Específico (kg/m <sup>3</sup> )	2701.94	2701.94
Peso Unitario Varillado (kg/m <sup>3</sup> )	1647.11	1633.66
Porcentaje de Vacíos	39.04%	39.54%
<b>Peso Unitario Varillado (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1640.38</b>	
<b>Porcentaje de Vacíos</b>	<b>39.29%</b>	

**Nota:** La tabla muestra que el agregado grueso presentó un peso unitario compactado promedio de 1640.38 kg/m<sup>3</sup> y un porcentaje de vacíos de 39.29%, valores que evidencian una adecuada densificación respecto a su peso específico de 2701.94 kg/m<sup>3</sup>.

#### 5.4.5 La Gravedad específica y absorción del agregado fino.

Mediante la norma NTP 400.022 y utilizando un picnómetro, se determinaron las propiedades de los agregados finos: densidad en sus diferentes estados (superficial seca saturada y aparente) y su porcentaje de absorción tras 24 horas.

**Tabla 29:**

*Ensayo de gravedad específica y absorción del agregado fino.*

<b>GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO</b>	
<b>DATOS DEL ENSAYO</b>	<b>MUESTRA 01</b>
Volumen del Picnómetro (ml)	500.0
Peso del Picnómetro (gr)	148.9
Peso de la Muestra Seca (gr)	490.3
Peso del Picnómetro + Agua + Muestra (gr)	953.0
Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca (gr)	500.0
Peso del Picnómetro + Agua (gr)	646.5
Peso de la Muestra Sumergida (gr)	306.5
Peso del Agua Desplazada (gr)	183.8
Peso del Agua Absorbida (gr)	9.7
Peso Especifico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.7
Capacidad de Absorción	1.98%

**Nota:** La tabla muestra que el ensayo de gravedad específica y absorción del agregado fino arrojó un peso específico de 2.7 g/cm<sup>3</sup> y una capacidad de absorción de 1.98%, valores que reflejan una adecuada densidad y comportamiento higroscópico del material.

#### 5.4.6 Peso específico y absorción del agregado grueso.

De acuerdo con la norma NTP 400.021, el ensayo de masa específica se realiza de la siguiente manera: Se sumergen 2,5 kg de agregado durante 24 ± 4 horas a temperatura ambiente. Luego, la muestra húmeda superficialmente seca se introduce en una probeta de 1000 ml para determinar su masa inmersa. Posteriormente, el material se coloca en un recipiente metálico y se seca en horno a 110 ± 5 °C durante 24 horas.

#### Tabla 30:

*Ensayo del peso específico y absorción del agregado grueso.*

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO	
DATOS DEL ENSAYO	MUESTRA 01
Peso de la canastilla sumergida (gr)	728
Peso de la Muestra Seca (gr)	2091.3
Peso de la canastilla + muestra sumergida (gr)	2061
Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca (gr)	2107
Peso del Agua Absorbida (gr)	15.7
Peso Específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.7
Capacidad de Absorción (%)	0.75%

**Nota:** La tabla muestra el ensayo de gravedad específica y absorción del agregado grueso arrojó un peso específico de 2.7 g/cm<sup>3</sup> y una capacidad de absorción de 0.75%, valores que reflejan una adecuada densidad y baja absorción del material.

#### 5.4.7 Porcentaje de humedad en el agregado fino y agregado grueso.

Según la NTP 339.185, la humedad de los agregados se calcula secando la muestra a 110 °C por 24 horas y comparando el peso húmedo con el peso seco.

**Tabla 31:**

*Prueba del contenido de humedad en el agregado fino.*

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO</b>			
ENSAYO	1	2	3
Cápsula N°	1	2	3
Peso agregado húmedo + recipiente (g)	1596.0	1588.0	1622.0
Peso agregado seco + recipiente (g)	1565.0	1554.0	1596.0
Peso del agua (g)	31.0	34.0	26.0
Peso del recipiente (g)	0.0	0.0	0.0
Peso neto del suelo seco (g)	1565.0	1554.0	1596.0
% de Humedad	1.98	2.19	1.63
<b>w (%) Promedio =</b>			<b>1.93</b>

**Nota:** La tabla muestra el contenido de humedad en el agregado fino arrojó valores de 1.98%, 2.19% y 1.63%, con un promedio de 1.93%, indicando un nivel bajo de humedad en la muestra.

**Tabla 32:**

*Prueba del contenido de humedad en el agregado grueso.*

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO</b>			
ENSAYO	1.00	2.00	3.00
Cápsula N°	1.00	2.00	3.00
Peso agregado húmedo + recipiente (g)	2636.00	2632.00	2644.00
Peso agregado seco + recipiente (g)	2622.00	2616.00	2628.00
Peso del agua (g)	14.00	16.00	16.00
Peso del recipiente (g)	0.00	0.00	0.00
Peso neto del suelo seco (g)	2622.00	2616.00	2628.00
% de Humedad	0.53	0.61	0.61
<b>w (%) Promedio =</b>			<b>0.58</b>

**Nota:** La tabla muestra el ensayo de contenido de humedad en el agregado grueso arrojó valores de 0.53%, 0.61% y 0.61%, con un promedio de 0.58%, indicando un nivel muy bajo de humedad en la muestra.

## 5.5 Diseño de mezcla de concreto permeable (ACI 522R-10)

Este método que utilizamos nos permite diseñar nuestro diseño de mezcla de acuerdo a nuestra investigación donde se usó material de la cantera de Murillo, de acuerdo a este método se usa cemento Portland Tipo I y se compró de la marca Yura, que es la encontramos en las ferreterías de la ciudad, y se usó como superplastificante Sika y el slump de 0".

### 5.5.1 Diseño de mezcla con 16% de vacíos (ACI-522R-10)

**Tabla 33:**

*Características de diseño*

<b>Características de diseño</b>	
Resistencia deseada	<210 kg/cm <sup>2</sup>
% de vacíos	16%
Relación a/c	0.29
Aditivo	500 ml
P.E. del cemento	3.15 gr/cm <sup>3</sup>
PUC agregado grueso	1640.38 kg/m <sup>3</sup>
P.E. agregado grueso	2.70 gr/cm <sup>3</sup>
Absorción agregado grueso	0.75%
PUC agregado fino	1833.70 kg/m <sup>3</sup>
P.E. agregado fino	2.67 gr/cm <sup>3</sup>
Absorción agregado fino	1.98%

**Nota:** La tabla muestra el planteamiento de características básicas de diseño de la mezcla, indicando la resistencia deseada, porcentaje de vacíos, relación agua/cemento, aditivo y propiedades físicas de los materiales (cemento, agregado fino y grueso).

**Tabla 34:**

*Dosificación de materiales con 16% de vacíos*

<b>Materiales</b>	<b>Proporción por tanda de una bolsa</b>	
	<b>Baldes</b>	<b>Pesos</b>
Agregado Grueso	3.27 baldes/bolsa	158.1 kg/bolsa
Agregado Fino	0.33 balde/bolsa	15.8 kg/bolsa
Cemento	42.5 kg/bolsa	42.5 kg/bolsa
Agua	12.33 Lt/bolsa	12.33 Lt/bolsa
Aditivo	500 ml/bolsa	500 ml/bolsa

**Nota:** La tabla muestra la dosificación de materiales con 16% de vacíos, por tanda de una bolsa, se definió en la siguiente proporción: agregado grueso 3.27 baldes (158.1 kg), agregado fino 0.33 balde (15.8 kg), cemento 42.5 kg, agua 12.33 L y aditivo 500 ml.

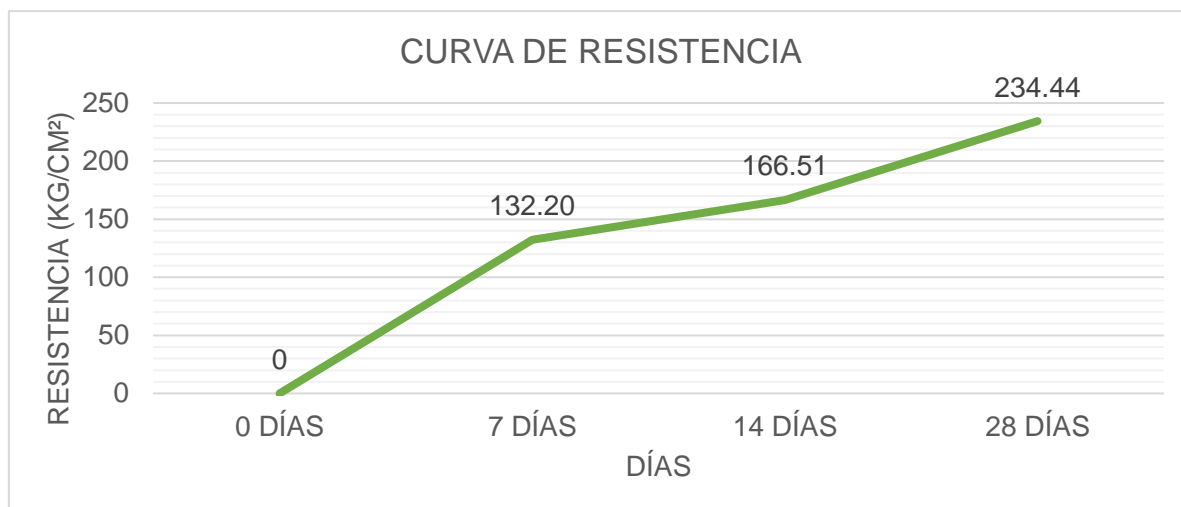
Para la realización de este tipo de concreto se recomienda con concreteras especializadas en la garantizaran la resistencia deseada, realizarlo en la obra misma dificultaría la preparación ya es una mezcla muy seca y ni con herramientas mecánicas se podría tener un concreto adecuado.

**Tabla 35:**

*Resultados de resistencia*

Nº	% DE VACÍOS	FECHA		EDAD (días)	DIAL (kgf)	Resistencias (kg/cm <sup>2</sup> )		% DE f'c		OBSERVACIÓN
		MOLDEO	ROTURA			TIENE	DEBE TENER	TIENE	DEBE TENER	
B-1	16%	19/02/2025	26/02/2025	7	23985	135.73	136.5	65%	65%	CUMPLE
B-2	16%	19/02/2025	26/02/2025	7	23123	130.85	136.5	62%	65%	NO CUMPLE
B-3	16%	19/02/2025	26/02/2025	7	22975	130.01	136.5	62%	65%	NO CUMPLE
B-4	16%	19/02/2025	05/03/2025	14	28754	162.71	168	77%	80%	NO CUMPLE
B-5	16%	19/02/2025	05/03/2025	14	30562	172.95	168	82%	80%	CUMPLE
B-6	16%	19/02/2025	05/03/2025	14	28956	163.86	168	78%	80%	NO CUMPLE
B-7	16%	19/02/2025	19/03/2025	28	42563	240.86	210	115%	100%	CUMPLE
B-8	16%	19/02/2025	19/03/2025	28	41578	235.28	210	112%	100%	CUMPLE
B-9	16%	19/02/2025	19/03/2025	28	40147	227.19	210	108%	100%	CUMPLE

**Nota:** La tabla presenta los resultados de resistencia a compresión del diseño de mezcla con 16% de vacíos, evaluados a 7, 14 y 28 días. La mezcla empleó una relación a/c de 0.30, agregado de ½" y cemento Tipo I, cuyo procedimiento detallado se incluye en el anexo 05.

**Figura 17:***Curva de resistencia*

**Nota:** La figura muestra la curva de resistencia muestra un incremento progresivo en la capacidad estructural del material, alcanzando 132.20 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días, 166.51 kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días y 234.44 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, confirmando el desarrollo esperado de la mezcla en función del tiempo de curado.

### 5.5.2 Diseño de mezcla con 20% de vacíos (ACI-522R-10)

**Tabla 36:***Características de diseño*

Características de diseño	
Resistencia deseada	<210 kg/cm <sup>2</sup>
% de vacíos	20%
Relación a/c	0.29
Aditivo	500 ml
P.E. del cemento	3.15 gr/cm <sup>3</sup>
PUC agregado grueso	1640.38 kg/m <sup>3</sup>
P.E. agregado grueso	2.70 gr/cm <sup>3</sup>
Absorción agregado grueso	0.75%
PUC agregado fino	1833.70 kg/m <sup>3</sup>
P.E. agregado fino	2.67 gr/cm <sup>3</sup>
Absorción agregado fino	1.98%

**Nota:** La tabla muestra el planteamiento de características básicas de diseño de la mezcla, indicando la resistencia deseada, porcentaje de vacíos, relación agua/cemento, aditivo y propiedades físicas de los materiales (cemento, agregado fino y grueso).

**Tabla 37:**

*Dosificación de materiales con 20% de vacíos.*

Materiales	Proporción por tanda de una bolsa	
	Baldes	Pesos
Agregado Grueso	3.72 baldes/bolsa	179.6 kg/bolsa
Agregado Fino	0.38 baldes/bolsa	18.0 kg/bolsa
Cemento	42.5 kg/bolsa	42.5 kg/bolsa
Agua	12.3 Lt/bolsa	12.3 Lt/bolsa
Aditivo	500 ml/bolsa	500 ml/bolsa

**Nota:** La dosificación con 20% de vacíos, por tanda de una bolsa, se definió en la siguiente proporción: agregado grueso 3.72 baldes (179.6 kg), agregado fino 0.38 baldes (18.0 kg), cemento 42.5 kg, agua 12.3 L y aditivo 500 ml.

**Tabla 38:**

*Resultados de resistencia*

Nº	% DE VACÍOS	FECHA		EDAD (días)	DIAL (kgf)	Resistencias (kg/cm <sup>2</sup> )		% DE f'c		OBSERVACIÓN
		MOLDEO	ROTURA			TIENE	DEBE TENER	TIENE	DEBE TENER	
B-10	20%	19/02/2025	26/02/2025	7	23566	133.36	136.5	64%	65%	NO CUMPLE
B-11	20%	19/02/2025	26/02/2025	7	24583	139.11	136.5	66%	65%	CUMPLE
B-12	20%	19/02/2025	26/02/2025	7	23648	133.82	136.5	64%	65%	NO CUMPLE
B-13	20%	19/02/2025	05/03/2025	14	30125	170.47	168	81%	80%	CUMPLE
B-14	20%	19/02/2025	05/03/2025	14	28745	162.66	168	77%	80%	NO CUMPLE
B-15	20%	19/02/2025	05/03/2025	14	28453	161.01	168	77%	80%	NO CUMPLE
B-16	20%	19/02/2025	19/03/2025	28	37452	211.93	210	101%	100%	CUMPLE
B-17	20%	19/02/2025	19/03/2025	28	38452	217.59	210	104%	100%	CUMPLE
B-18	20%	19/02/2025	19/03/2025	28	36785	208.16	210	99%	100%	NO CUMPLE

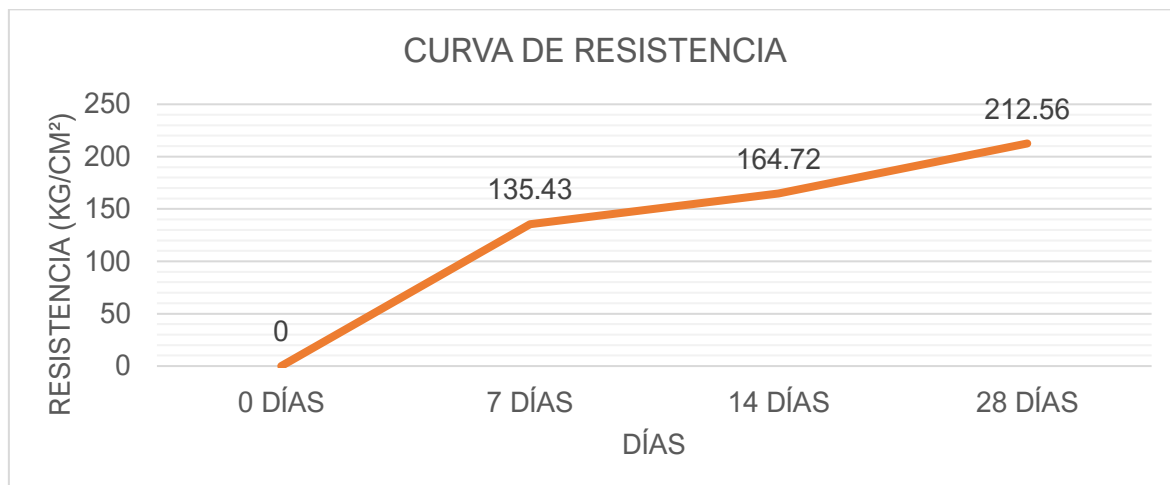
**Nota:** En conjunto, los resultados reflejan un comportamiento aceptable de la mezcla, con algunas variaciones iniciales, pero alcanzando la resistencia esperada en la mayoría de las probetas al final del período de curado.

La tabla 38 presenta los resultados de resistencia a compresión del diseño de mezcla con 20% de vacíos, evaluados a 7, 14 y 28 días. Este diseño empleó una relación

a/c de 0.30, agregado de ½" y cemento Tipo I, según el procedimiento detallado en el anexo 05.

**Figura 18:**

*Curva de resistencia*



**Nota:** La figura muestra la curva de resistencia con 20% de vacíos muestra un desarrollo progresivo de la mezcla, alcanzando 135.43 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días, 164.72 kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días y 212.56 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, confirmando que la resistencia final supera el valor de diseño establecido.

### 5.5.3 Diseño de mezcla con 30% de vacíos (ACI-522R-10)

**Tabla 39:**

*Características de diseño.*

<b>Características de diseño</b>	
Resistencia deseada	<210 kg/cm <sup>2</sup>
% de vacíos	30%
Relación a/c	0.29
Aditivo	500 ml
P.E. del cemento	3.15 gr/cm <sup>3</sup>
PUC agregado grueso	1640.38 kg/m <sup>3</sup>
P.E. agregado grueso	2.70 gr/cm <sup>3</sup>
Absorción agregado grueso	0.75%
PUC agregado fino	1833.70 kg/m <sup>3</sup>
P.E. agregado fino	2.67 gr/cm <sup>3</sup>
Absorción agregado fino	1.98%

**Nota:** La tabla muestra el planteamiento de características básicas de diseño de la mezcla, indicando la resistencia deseada, porcentaje de vacíos, relación agua/cemento, aditivo y propiedades físicas de los materiales (cemento, agregado fino y grueso).

**Tabla 40:**

*Dosificación de materiales con 30% de vacíos.*

Materiales	Proporción por tanda de una bolsa	
	balde	peso
Agregado Grueso	4.54 baldes/bolsa	219.6 kg/bolsa
Agregado Fino	0.46 baldes/bolsa	22.0 kg/bolsa
Cemento	42.5 kg/bolsa	42.5 kg/bolsa
Agua	12.3 Lt/bolsa	12.3 Lt/bolsa
Aditivo	500 ml/bolsa	500 ml/bolsa

**Nota:** La tabla muestra la dosificación con 30% de vacíos, por tanda de una bolsa, se estableció en la siguiente proporción: agregado grueso 4.54 baldes (219.6 kg), agregado fino 0.46 baldes (22.0 kg), cemento 42.5 kg, agua 12.3 L y aditivo 500 ml.

**Tabla 41:**

*Resultados de resistencia*

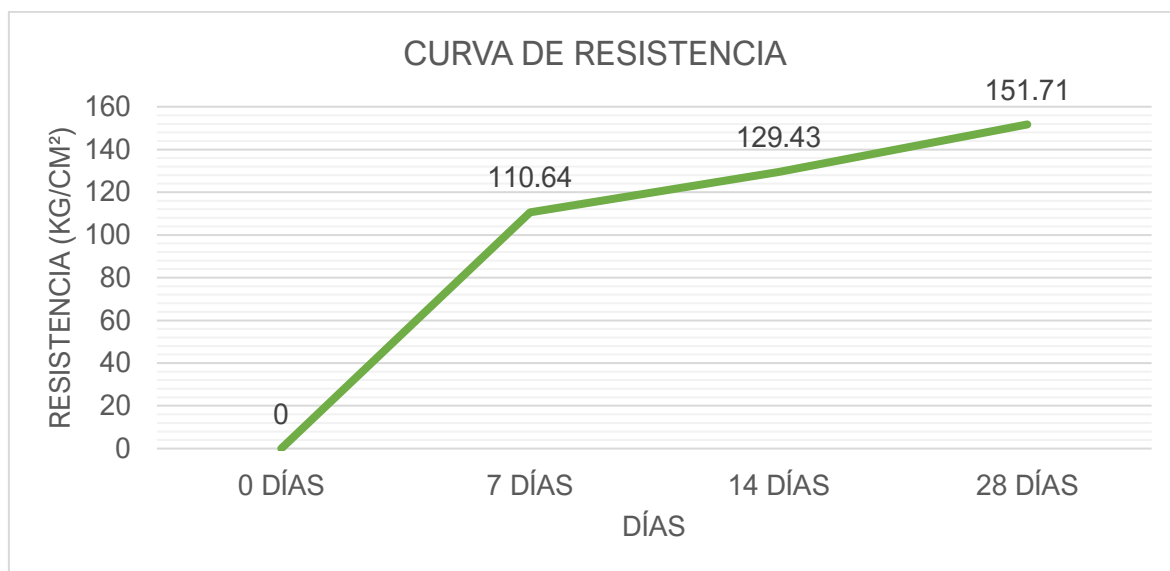
Nº	% DE VACÍOS	FECHA		EDAD (días)	DIAL (kgf)	Resistencias (kg/cm <sup>2</sup> )		% DE f'c		OBSERVACIÓN
		MOLDEO	ROTURA			TIENE	DEBE TENER	TIENE	DEBE TENER	
B-19	30%	19/02/2025	26/02/2025	7	20563	116.36	136.5	55%	65%	NO CUMPLE
B-20	30%	19/02/2025	26/02/2025	7	18472	104.53	136.5	50%	65%	NO CUMPLE
B-21	30%	19/02/2025	26/02/2025	7	19621	111.03	136.5	53%	65%	NO CUMPLE
B-22	30%	19/02/2025	05/03/2025	14	23457	132.74	168	63%	80%	NO CUMPLE
B-23	30%	19/02/2025	05/03/2025	14	22568	127.71	168	61%	80%	NO CUMPLE
B-24	30%	19/02/2025	05/03/2025	14	22589	127.83	168	61%	80%	NO CUMPLE
B-25	30%	19/02/2025	19/03/2025	28	26785	151.57	210	72%	100%	NO CUMPLE
B-26	30%	19/02/2025	19/03/2025	28	26893	152.18	210	72%	100%	NO CUMPLE
B-27	30%	19/02/2025	19/03/2025	28	26750	151.37	210	72%	100%	NO CUMPLE

**Nota:** La tabla muestra el diseño de mezcla con 30% de vacíos **no cumple** con la resistencia de diseño en ninguna de las edades, evidenciando que un nivel tan alto de vacíos afecta significativamente la capacidad estructural del concreto.

En la tabla 39 muestra los resultados del diseño de mezcla con 30% vacíos, en donde al obtener resultados de resistencia no cumplió con el diseño en donde no llegó a la resistencia deseada, el diseño de mezcla se encuentra en el anexo 05.

**Figura 19:**

*Curva de resistencia*

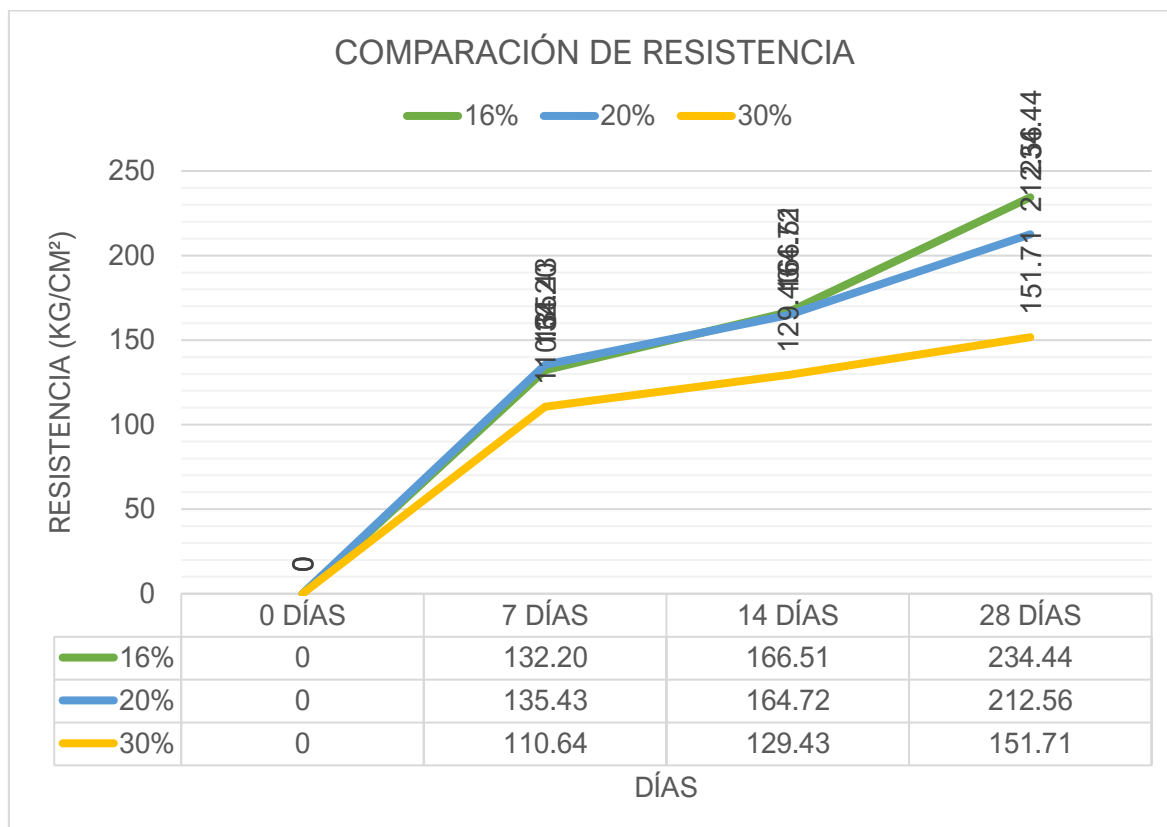


**Nota:** La figura muestra la curva de resistencia con 30% de vacíos muestra un desarrollo limitado de la mezcla, alcanzando 110.64 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días, 129.43 kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días y 151.71 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, valores que no logran cumplir con la resistencia de diseño esperada.

### 5.5.4 Comparación de los diseños de mezcla

Figura 20:

Comparación de los diseños de mezcla.



**Nota:** La tabla muestra la comparación evidencia que las mezclas con 16% y 20% de vacíos cumplen la resistencia de diseño, mientras que la de 30% queda muy por debajo en todas las edades.

#### 5.5.4.1 Prueba estadística

Tabla 42:

Análisis de varianza promedio de la resistencia promedio.

<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	10686.28	2	5343.14	4.20	0.03	3.40
Dentro de los grupos	30554.83	24	1273.12			

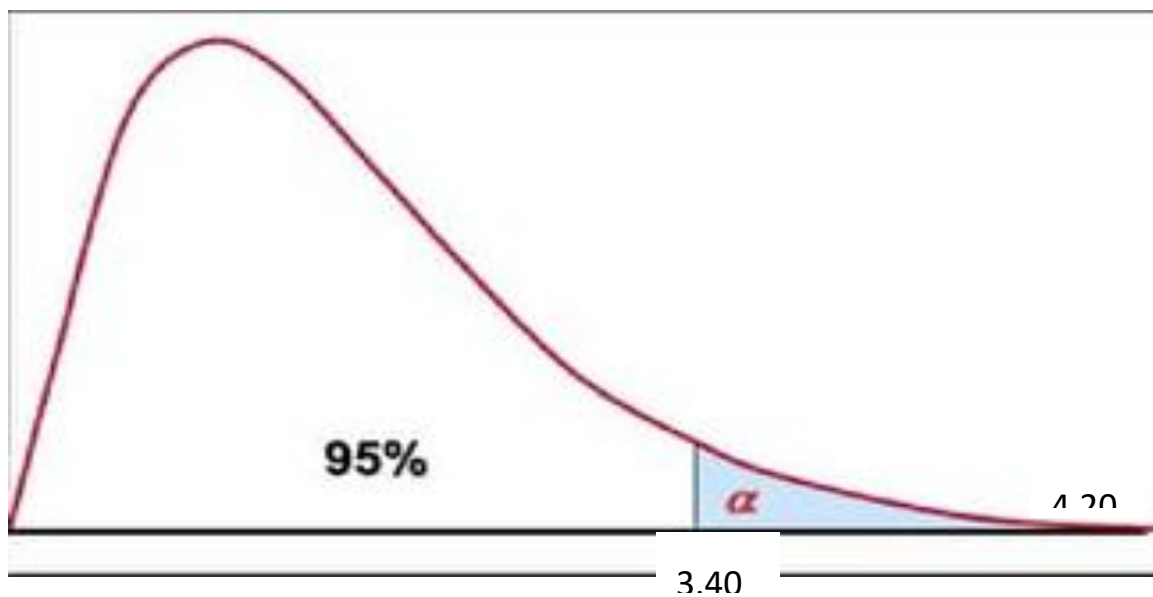
<b>Total</b>	41241.11	26
--------------	----------	----

---

**Nota:** En la tabla se muestra los resultados de la varianza del promedio de la resistencia promedio de los diferentes moldes obtenidos en donde se observa que la probabilidad es menor que 0.05 y se puede decir que existe una diferencia.

**Figura 21:**

*Gráfico de prueba estadística*



**Nota:** La figura muestra la prueba estadística confirma que el valor calculado de  $F = 4.20$  supera el valor crítico de 3.40, y la probabilidad asociada ( $p = 0.03$ ) es menor al nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ), lo que indica que existen diferencias significativas entre los diseños de mezcla evaluados.

### 5.5.5 Ensayo de permeabilidad ASTM C – 1688

**Tabla 43:**

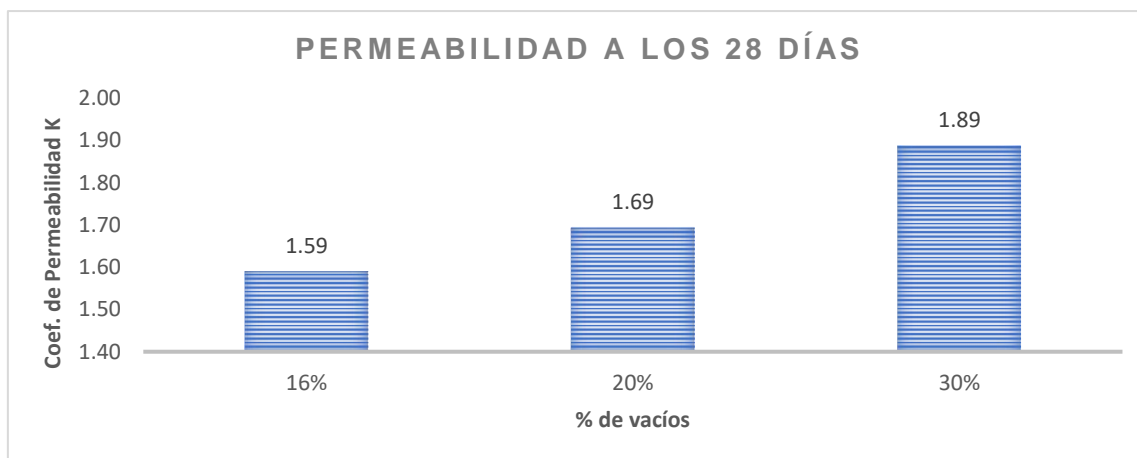
*Permeabilidad obtenida a los 28 días.*

ENSAYO DE PERMEABILIDAD						
Registro de Lectura						
% vacíos	T <sub>(seg)</sub>	h <sub>1</sub> cm	h <sub>2</sub> cm	L(cm)	$K = \frac{A_1 L}{A_2 t} \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$	promedio
16%	4.46	20	35	30	1.44	
16%	3.98	20	35	30	1.61	
16%	3.73	20	35	30	1.72	1.59
16%	4.06	20	35	30	1.58	
16%	3.98	20	35	30	1.61	
20%	3.55	20	35	30	1.81	
20%	3.47	20	35	30	1.85	
20%	3.69	20	35	30	1.74	
20%	3.61	20	35	30	1.78	1.69
20%	3.56	20	35	30	1.80	
20%	4.43	20	35	30	1.45	
20%	4.43	20	35	30	1.45	
30%	3.32	20	35	30	1.93	
30%	3.67	20	35	30	1.75	
30%	3.58	20	35	30	1.79	1.89
30%	3.48	20	35	30	1.84	
30%	3.01	20	35	30	2.13	

**Nota:** La tabla muestra la permeabilidad obtenida a los 28 días muestra que a mayor porcentaje de vacíos, mayor penetración del agua: 1.59 cm para 16%, 1.69 cm para 20% y 1.89 cm para 30%, evidenciando una reducción en la densidad y durabilidad del concreto.

**Figura 22:**

*Permeabilidad a los 28 días por cada porcentaje de vacíos.*



**Nota:** La figura muestra la permeabilidad a los 28 días aumenta con el porcentaje de vacíos:  $K = 1.59$  para 16%,  $1.69$  para 20% y  $1.89$  para 30%, evidenciando mayor porosidad y menor durabilidad en mezclas más abiertas.

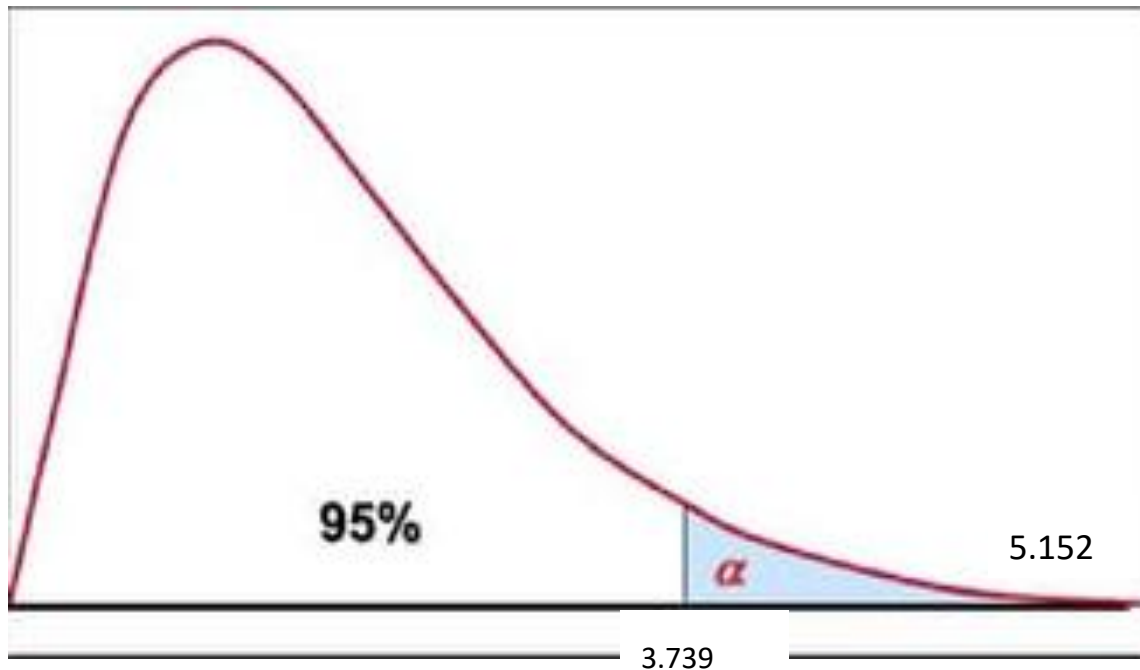
#### 5.5.5.1 Prueba estadística

**Tabla 44:**

*Prueba estadística de la permeabilidad.*

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.228	2	0.114	5.152	0.021	3.739
Dentro de los grupos	0.310	14	0.022			
Total	0.539	16				

**Nota:** La tabla muestra los resultados de la varianza del promedio de la permeabilidad en el cual al ser analizadas por la prueba estadística se puede llegar a la conclusión que la probabilidad es menor a 0.05 indicando que si existe una diferencia.

**Figura 23:***Gráfico de prueba estadística*

**Nota:** La figura muestra la permeabilidad a los 28 días aumenta con el porcentaje de vacíos:  $K = 1.59$  para 16%, 1.69 para 20% y 1.89 para 30%, confirmando que mezclas más porosas permiten mayor paso de agua y reducen la durabilidad del concreto.

### 5.6 Diseño de la columna de grava

- Para diseñar las columnas de grava se determina las propiedades y tipo de suelo natural, para nuestra investigación cumple siendo un suelo GW (mal gradada)
- El material granular para rellenar las columnas de grava serán agregado grueso de 3/4", que se encuentren limpios sin material orgánico ni materiales finos, para que tenga un funcionamiento optimo.
- Las columnas de grava serán revestidas de la parte superficial con geomembrana a una altura de 2.00 mt con el fin de evitar la capilaridad y que el agua se infiltre en el subsuelo sin afectar al suelo de superficial y las viviendas de alrededor.

- Se define ciertos criterios como es el diámetro, la separación y la profundidad de las columnas de grava.

**Tabla 45:**

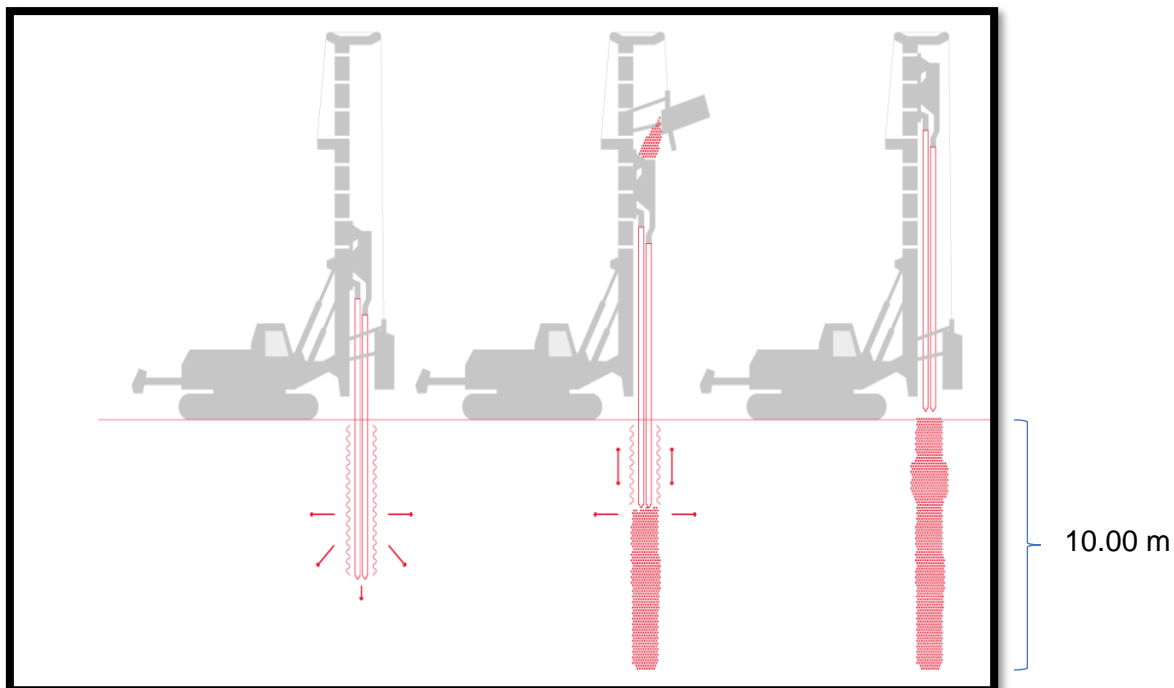
*Dimensionamiento de las columnas de grava.*

PARÁMETROS	FORMULA	VALOR	UNID
Diámetro de la Columna	$D = \leq 0.40 \ D \geq 0.60$	0.4	m
Separación de las Columnas	Dist. = 2.0	2	m
Volumen de la Columna	$v = A \times L$	1.26	m <sup>3</sup>
Caudal de Infiltración	$Q = K \times A \times (\Delta h / L)$	0.13	cm <sup>3</sup> /seg
Capacidad de Almacenamiento	$s = n \times v$	0.44	m <sup>3</sup>
Área de la Columna	$A = \pi \times (d / 2)^2$	0.13	m <sup>2</sup>
Longitud de la Columna	$L = v / A$	10	m

**Nota:** muestra todas las formulas y valores que se usaron para dimensionar las columnas de grava planteada en la investigación.

**Figura 24:**

Longitud de la columna de grava.



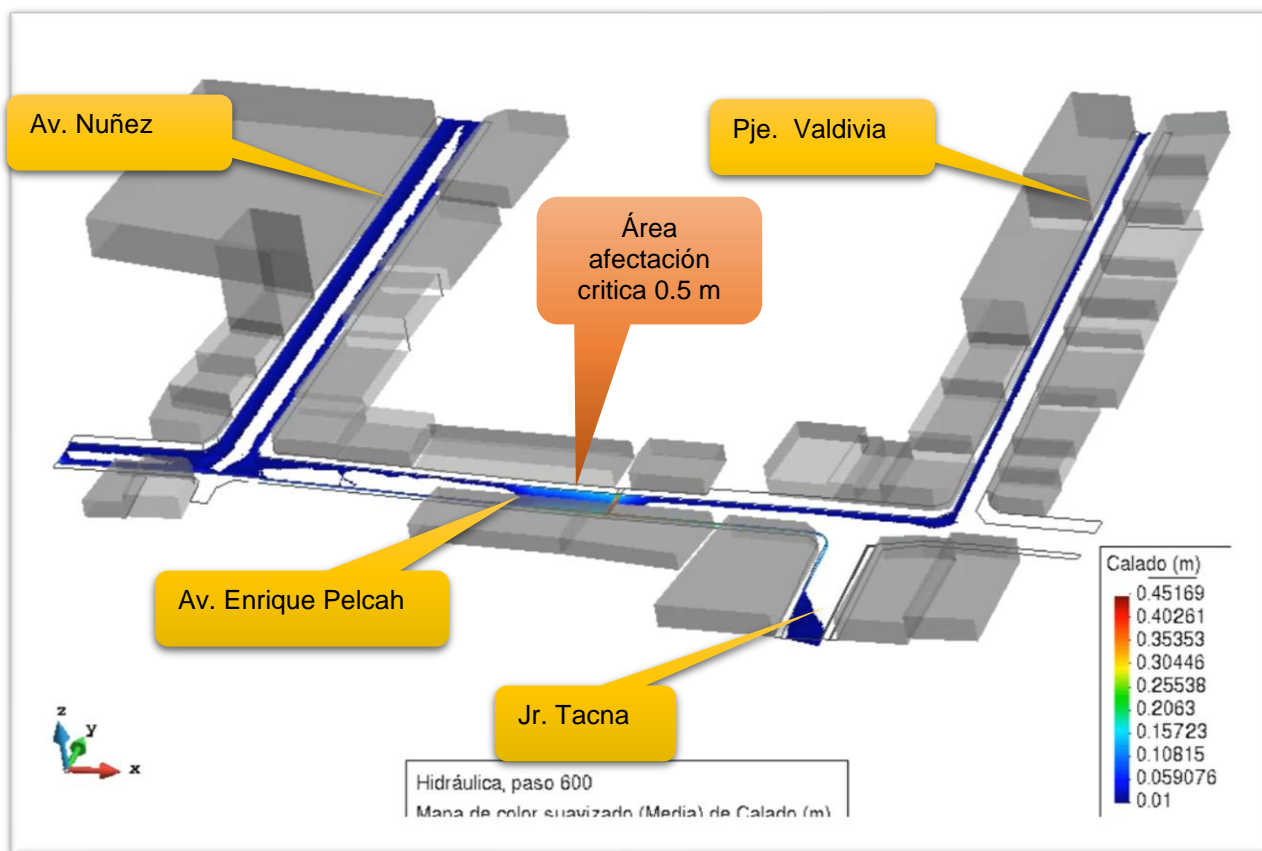
**Nota:** La figura ilustra el proceso constructivo de la columna de grava y destaca su longitud final, la cual alcanza los 10,00 m. Este esquema permite visualizar las etapas de perforación, relleno y compactación del material, asegurando la conformación adecuada de la columna dentro del terreno.

### 5.7 Diseño del modelo a escala de la estructura de concreto permeable

Después de obtener todos los parámetros de los ensayos necesarios para desarrollar la estructura del pavimento permeable, se creó un modelo a escala del área más afectada por inundaciones utilizando modelación hidráulica con IBER. Este modelo se aplicó específicamente en la Av. Enrique Pelach antes de llegar al jirón Tacna, donde también se realizó una nueva modelación para obtener los parámetros necesarios para el diseño del sistema de drenaje a implementar.

**Figura 25:**

*Modelación hidráulica de la zona más crítica.*



**Nota:** Durante el modelamiento hidráulico, se ve que la zona más crítica es en la Av. Enrique Pelach, es ahí donde se ejecutó la investigación

Se desarrolló el modelo a escala que incorpora una estructura de columnas de grava, diseñada para mitigar la escorrentía superficial en pavimentos de concreto permeable. Las columnas de grava se instalarán a profundidades adecuadas para maximizar su efectividad en la mitigación de la escorrentía. Estas columnas tendrán un diámetro de 40 cm, y el tamaño del agregado grueso será generalmente superior a 50 mm para asegurar una capacidad de filtración óptima. Las columnas se distribuirán con un espaciamiento de 2 metros entre ellas.

**Figura 26:**

*Planteamiento de las columnas de grava a escala.*



**Nota:** La figura muestra la construcción del prototipo a escala en donde se está rellenando las columnas de grava.

Estas columnas de grava estarán conectadas directamente a la estructura del pavimento permeable para asegurar una velocidad de infiltración adecuada. La sub-base será cubierta con una geomembrana, manteniendo el bombeo del 2% del diseño de la carretera, para dirigir el agua hacia los bordes donde se ubicarán las columnas de grava según el diseño establecido. Además, las columnas de grava serán recubiertas hasta una profundidad considerable para evitar la interacción del agua con la sub-base, previniendo fenómenos de capilaridad y posibles asentamientos o fallas estructurales del pavimento.

**Figura 27:**

*Colocación de la geomembrana y columna de grava.*



**Nota:** la figura muestra la construcción de las columnas de grava en su etapa final, junto a los demás sistemas de drenaje planteado.

El canal de drenaje de la carretera será diseñado con concreto permeable para optimizar la infiltración del agua. Este canal contará con una geomembrana en su base, la cual se unirá directamente al pavimento permeable. Esto garantizará que toda el agua de la superficie del pavimento se dirija al sistema de drenaje.

El sistema de drenaje contará con columnas de grava ubicadas estratégicamente a lo largo del canal. Estas columnas no solo ayudarán a mitigar el volumen del caudal pluvial, sino que también permitirán una mayor infiltración del agua en el subsuelo, reduciendo así el caudal que se entrega al sistema de drenaje convencional y evitando su saturación.

**Figura 28:**

*Construcción del drenaje poroso.*



**Nota:** En la siguiente figura se muestra la culminación de la construcción del modelo a escala de la estructura de pavimento implementada en el sector de la Av. Enrique Pelach.

**Figura 29:**

*Prototipo a escala culminado.*



**Nota:** la figura muestra el prototipo a escala, terminado al 100% , con el pavimento rígido permeable y las columnas de grava.

Una vez finalizada la construcción del modelo a escala de la estructura de pavimento permeable, se procedió a realizar los ensayos de infiltración en toda la estructura, evaluándola bajo condiciones de precipitaciones pluviales para diferentes períodos de retorno. Se probaron períodos de retorno de 10 años, según lo establecido por las normativas para sistemas de drenaje, y de 25 años, específicamente relevante para este sector. Durante las pruebas, se aplicaron 10 litros de agua utilizando una pistola de agua a un ritmo lento durante un período de 10 minutos, simulando una lluvia moderada. Además, se realizaron ensayos con una aplicación de 30 litros de agua con la misma pistola, pero a un ritmo más acelerado y controlado, también durante 10 minutos. Este enfoque permitió evaluar la capacidad de infiltración y el comportamiento hidráulico del sistema de pavimento permeable bajo diferentes intensidades de lluvia, como se ilustra en la imagen adjunta.

**Figura 30:**

*Saturación a 10 años de periodo de retorno.*

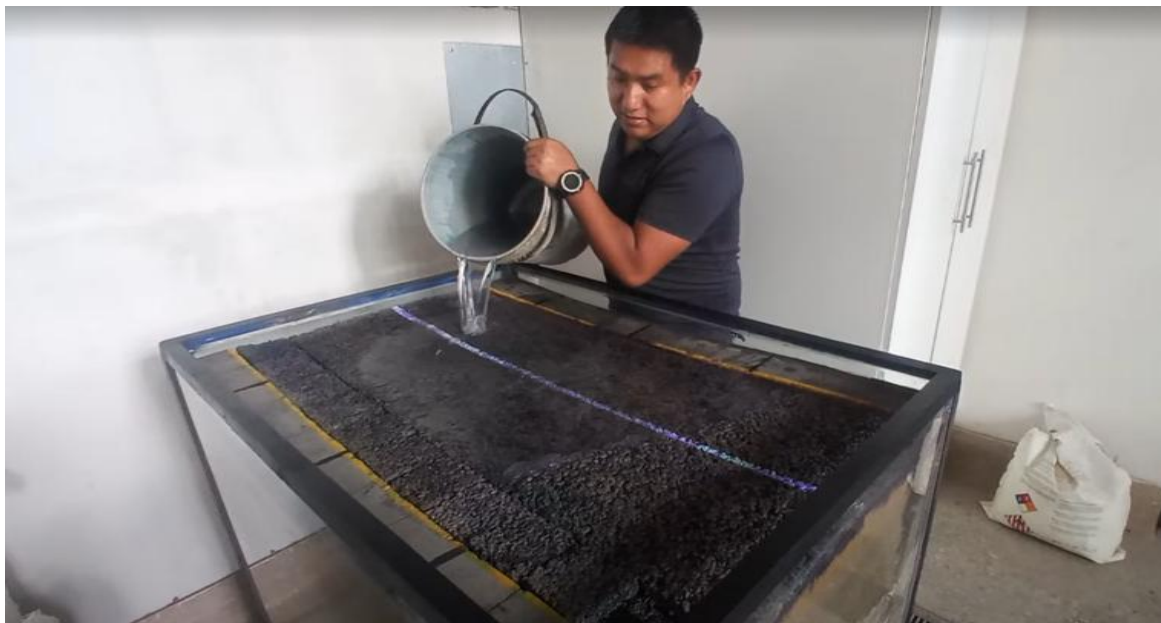


**Nota:** la figura muestra la simulación de una lluvia intensa, demostrando que existe una evacuación de aguas pluviales de manera inmediata.

Para evaluar la eficiencia de la estructura de pavimento permeable bajo condiciones de encharcamiento, se vertieron de manera abrupta 20 litros de agua sobre toda la maqueta. Esta prueba tenía como objetivo simular un evento de precipitación extrema y observar la capacidad de infiltración de la estructura. El comportamiento observado fue notable, ya que el agua comenzó a infiltrarse casi de inmediato y se eliminó por completo en aproximadamente 2 minutos. Este rápido tiempo de respuesta es indicativo de una alta eficiencia del sistema de pavimento permeable en la gestión de grandes volúmenes de agua en un corto período de tiempo. La rapidez con la que el agua fue absorbida sugiere que la estructura tiene una capacidad adecuada para mitigar la escorrentía superficial y prevenir la formación de charcos, lo cual es crucial para mantener la funcionalidad y seguridad de las superficies pavimentadas durante eventos de lluvias intensas.

**Figura 31:**

*Saturación a posible encharcamiento.*



**Nota:** La figura muestra la prueba que se está llevando al límite al nuevo sistema que estamos implementando en el cual estamos simulando un caudal extremo donde se visualizó que el agua rápidamente infiltra por los canales pluviales que se realizó esto con el fin de visualizar que sucedía con una lluvia intensa y de varias horas de duración lo cual en ningún momento se saturo las columnas de grava trabajaban adecuadamente.

## 5.8 Comparación de costos

- **Costo por el método convencional.** - De acuerdo al presupuesto que se requiere para la construcción de una calle con el canal pluvial y el pavimento típico utilizado en 20ml es de S/. 13,472.47, que consta de pistas de pavimento rígido, veredas, canal pluvial.
- **Costo por el método pavimento permeable con columnas de grava.** -Con el nuevo método que estamos implementado en la misma longitud de tramo de 20 ml se determinó un presupuesto estimado de S/. 24,387.57, el costo incrementa debido a que las columnas de grava requieren de un equipo perforador que no se encuentra en la ciudad de Abancay.

## Discusión de resultados

- Vera & García (2018) y Morote & Ulloa (2019), realizaron una estructura de pavimento permeable sin embargo solo enfocaron en el pavimento permeable, hicieron un prototipo en cual el agua superficial infiltraba en la estructura y se recepcionaba en una tubería perforada de 4" en el cual era el drenaje pluvial interno. En nuestro estudio se observó que la estructura de pavimento permeable con columnas de grava mejoró en la infiltración del agua superficial drenando al suelo interno una gran cantidad de agua superficial, teniendo un funcionamiento optimo toda la estructura de pavimento permeable. En la discrepancia podríamos indicar que una tubería de 4" no estaría diseñada para evacuar el agua pluvial antes lluvias torrenciales, sería insuficiente para la magnitud de agua pluvial que va pasar por ese lugar.
- Vera & García (2018) y Garcia & Silva (2019), indicaron que su porcentaje de vacíos más optimo fue de 13% de vacíos. Sin embargo, la teoría (American Concrete Institute, 2010), indica para que se considere un concreto permeable debería estar en un rango de 15% al 35% de vacíos. En nuestra investigación nuestro porcentaje de vacíos optimo es del 20% de vacíos del concreto permeable, en donde estaría en los rangos indicados por la norma ACI 522R-10.

### Capacidad de infiltración del suelo

- Las columnas de grava es una técnica para la mejora de suelos que reducen los asentamientos de suelos cohesivos y mejorando los procesos de consolidación del suelo, sin embargo para nuestra investigación se le ha dado un nuevo uso que es la infiltración del agua pluvial al subsuelo a 10 metros de profundidad, la ubicación de la columnas de grava serán en el canal pluvial que ira en el medio a cada 2 metros de distancia y en la parte superficial hacia abajo irán revestidas de geomembrana de 2 metros de altura con el fin de evitar la capilaridad del agua , se

realizó por el método Priebe 1995 en donde teniendo las condiciones el suelo para infiltrar la mayor cantidad de agua pluvial.

## VI Conclusiones

### Para la conclusión general

La estructura de pavimento rígido permeable si influyo en la red de drenaje de la Urbanización de los Chankas donde el pavimento infiltro gran parte del caudal pluvial todo esto se vio en el prototipo en escala que se realizó en el laboratorio de Ingeniería civil, donde se simulo una lluvia intensa de tal forma que el sistema de evacuación de aguas pluviales funciono correctamente infiltrando el agua, donde lo más complicado fue armar el sistema de las columnas de grava, tomo tiempo ya que conseguir materiales es escaso y realizar el secado de material del lugar de estudio.

### Para la conclusión del objetivo específico

Se determinó que el porcentaje óptimo de **contenido de vacíos** influye directamente en el desempeño estructural del pavimento rígido permeable con red de drenaje, aplicado en la Urbanización de los Chankas. Se elaboraron tres diseños con contenidos de vacíos de 16 %, 20 % y 30 %. Según los resultados de los ensayos de compresión realizados en briquetas, los diseños con 16 % y 20 % alcanzaron la resistencia requerida, por lo que se consideran viables. En cambio, el diseño con 30 % de vacíos no logró cumplir con la resistencia propuesta, alcanzando solo el 72 % del valor esperado.

Se determinó el diseño óptimo de **mezcla del concreto** que influyo en la estructura de pavimento rígido permeable con una red drenaje en la Urbanización de los Chankas, en donde se usó una relación **a/c de 0.30**, esto se llegó a determinar después de realizar varios diseños anteriores donde no había buenos resultados el concreto no llegaba a pegar y se tuvo

que bajar la relación a/c se empezó con una relación a/c alta de 0.45 referenciándonos de los antecedentes de nuestra investigación.

- △ Se visualizó la capacidad optima de infiltración de la estructura de pavimento que influye en la estructura de pavimento rígido permeable con una red drenaje en la Av. Enrique Pelach que es parte de la Urbanización los Chankas, se desarrolló un modelo a escala. El desarrollo y las pruebas del modelo a escala bajo condiciones de saturación con precipitaciones de períodos de **retorno de 10 y 25 años** dieron resultados positivos indicando que el diseño es capaz de gestionar adecuadamente las aguas pluviales, cumpliendo con los objetivos de reducir la escorrentía superficial y prevenir la acumulación de agua en la superficie.
- △ Se estableció columnas de grava para la investigación de **0.40 metros** de diámetro, por la cantidad de precipitación pluvial que van a recepcionar, esta columna de grava estará a una de **2 metros una de otra**, la profundidad de la columna de grava será de 10 metros de profundidad y en la parte superior de la columna de grava será revestida con **geomembrana** con el fin de evitar capilaridad y afecte a la estructura de pavimento rígido y será rellena con **pedra chancada de 3/4"** para que pueda infiltrar el agua sin dificultad.
- △ Se evaluó la intensidad máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 10 años como establece la norma CE 040. Esta intensidad máxima es de **20.16 mm/m<sup>2</sup>/litr**, asimismo al obtener este dato sirvió para determinar el caudal en este lugar específico mediante el método racional, y diseñar nuestro canal pluvial en la Av. Enrique Pelach de la urbanización los Chankas.

## VII Recomendaciones

- △ Se recomienda usar varillas corrugadas de polímero reforzado con fibra de vidrio en el pavimento rígido permeable, estas varillas no tienden a oxidarse y se pueden exponer al agua, esto con el fin de mejorar la capacidad de carga del pavimento.
- △ Para tener una investigación más profunda se recomienda hacer ensayos más profundos como tomografía eléctrica al suelo para visualizar los flujos internos, ensayos de tubo Shellby en el cual consiste en extraer el núcleo del suelo sin modificarlo, estos ensayos nos aportarían a determinar con mayor precisión los grados de permeabilidad de cada estrato.
- △ Es importante que reciba un mantenimiento riguroso para conservar sus características y evitar la colmatación, el mantenimiento debe incluir la limpieza superficial, para eliminar sedimentos o presencia de plantas ya que esto impide su permeabilidad, si es necesario realizar el ensayo de permeabilidad ASTM C 1701 para establecer la frecuencia de mantenimiento, con una hidro lavadora y un aspirador.

## VIII Referencias

AASHTO guide for desing of pavement structures. (1993). washington DC: American association of state highway and transportation officials.

Acosta, C. A. (2011). *Excel Aplicado a Ingenieros*. editorialmacro: <https://editorialmacro.com/catalogo/excel-aplicado-a-ingenieros/>

Alas, Z. A., & Quintero, C. A. (2020). *Concreto permeable como alternativa de recarga de acuíferos y drenaje urbano*, [Tesis de Pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia]. <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/32542>

Alvarez, D. M., & Cifuentes, C. A. (2018). *Análisis de contenidos de vacíos para el diseño de mezclas del concreto permeable con aditivo SikaCem en pavimentos Lima, 2018*, [Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. repositorio.ucv: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/34384>

American Concrete Institute. (Marzo de 2010). *ACI 522R-10*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/522R-10web.pdf>

Angelone, S., Garibay, M. T., & Casaux, M. C. (Septiembre de 2006). <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Permeabilidad%20en%20Suelos.pdf>

Bejar, M. V. (Febrero de 2002). *Hidrología*. directoriobiblioteca.cetemin: [https://directoriobiblioteca.cetemin.edu.pe/PROGRAMAS%20PRESENCIALES/P03%20-%20Medio%20ambiente/Mo%CC%81dulo%202\\_%20Control%20de%20Planta%20de%20Tratamiento%20de%20Agua/8.%20Hidrologi%CC%81a/2.%20Libro/Hidrologi%CC%81a%20-%20Ma%CC%81ximo%20Villo%CC%81n%20](https://directoriobiblioteca.cetemin.edu.pe/PROGRAMAS%20PRESENCIALES/P03%20-%20Medio%20ambiente/Mo%CC%81dulo%202_%20Control%20de%20Planta%20de%20Tratamiento%20de%20Agua/8.%20Hidrologi%CC%81a/2.%20Libro/Hidrologi%CC%81a%20-%20Ma%CC%81ximo%20Villo%CC%81n%20)

- Bradbury, R. D. (2000). *Método del Número de Curva del SCS*. aguaysig:  
<https://aguaysig.com/metodo-del-numero-de-curva-del-scs/>
- Cabello, S., Campuzano, L., Espinoza, J., Mendieta, & Sánchez, C. (Julio de 2015).  
 Concreto poroso: Constitución influyente y protocolos para su caracterización.  
*revistas.utmachala*, 64-69. <https://doi.org/10.48190/cumbres.v1n1a9>
- calcinor. (2015). <https://www.calcinor.com/es/actualidad/reviews-producto/cal-estabilizacion-de-suelos#:~:text=La%20estabilizaci%C3%B3n%20de%20suelos%20es,problemas%20en%20estructuras%20y%20pavimentos>.
- Camargo, S. M. (2021). *Evaluación de la viabilidad de implementación de las estructuras de pavimentos permeables, como alternativa de drenaje urbano para el control de escorrentías en la ciudad de Villavicencio, [Tesis de Pregrado, Univesridad Santo Tomas ]*. <http://hdl.handle.net/11634/42521>
- Casto, G. (2008). *Columnas de Grava II - Capacidad portante*. geo5peru:  
<https://geo5peru.pe/blog/columnas-de-grava-ii-capacidad-portante/>
- Cedeño, V. C. (2015). [http://www.edec.gob.ec/sites/default/files/memoria%20tecnica%20dise%C3%B1o%20de%20drenes%20y%20canal%20Perimetral.3\\_0.pdf](http://www.edec.gob.ec/sites/default/files/memoria%20tecnica%20dise%C3%B1o%20de%20drenes%20y%20canal%20Perimetral.3_0.pdf)
- Chayña, P. R. (Diciembre de 2019). *Calidad en el drenaje y diseño de un pavimento rígido permeable con agregados de la cantera Isla, en las vías de la Villa Chullunquiiani del sector nor-oeste de la ciudad de Juliaca, [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana Union]*. <http://hdl.handle.net/20.500.12840/3013>
- CIRIA C697. (2007). *The SUDS manual*. ciriabooks:  
[http://observatoriaigua.uib.es/repositori/suds\\_manual.pdf](http://observatoriaigua.uib.es/repositori/suds_manual.pdf)

- Corral, Y. (2009). *Validez y confiabilidad de los instrumentos de investigación para la recolección de datos*. Carabobo, Venezuela.
- Darcy, H. (1856). *ley de darcy*. flujometros-caudalímetros: <https://flujometros-caudalímetros.com/hidraulica/ley-de-darcy/>
- EIComercio. (04 de Diciembre de 2015). *Fuertes lluvias causan daños en la ciudad de Abancay*. elcomercio: <https://elcomercio.pe/peru/apurimac/fuertes-lluvias-causan-danos-ciudad-abancay-249751-noticia/?foto=1>
- Eusebio Cárdenas Gutiérrez, Á. A. (2017). *cienciaergosum.uaemex.mx*. <https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/7742/7780>
- Fao. (2015). [https://www.fao.org/fishery/static/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s09.htm](https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm)
- Fontaneda, L. Á. (Junio de 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, [Tesis Doctoral, Universidad de Cantabria]*. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/10902/5053>
- Garcia, M. A. (10 de Junio de 2016). [http://www.amivtac.org/spanelWeb/file-manager/Biblioteca\\_Amivtac/Cursos%20AMIVTAC/curso-geotecnia/Curso-Geotecnia-y-Pavimentos-Qro.pdf](http://www.amivtac.org/spanelWeb/file-manager/Biblioteca_Amivtac/Cursos%20AMIVTAC/curso-geotecnia/Curso-Geotecnia-y-Pavimentos-Qro.pdf)
- Garcia, M. M., & Silva, H. W. (10 de Marzo de 2019). *Propuesta de diseño de pavimento drenante para la captación de agua de lluvias en zonas urbanas del norte del Perú, [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]*. doi:10.19083/tesis/625617

*geotecniafacil.com*. (2005). <https://geotecniafacil.com/columnas-de-grava/>

Hernandez, F., & Baptista. (2013). *Metodología de la Investigación*.

Indeci. (2020). *Información estadística de emergencias y daños, periodo 2003 al 2019*.

Lima: Instituto Nacional de Defensa Civil .

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (Abril de 2013). *Construcción y tecnología*

*en concreto*. imcyc: <https://www.imcyc.com/revistacyt/jun11/arttecnologia.htm>

IS020, N. t. (s.f.).

[https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas\\_Legales/saneamiento/IS020.pdf](https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/IS020.pdf)

Ishihara, K., Seed, H., Martin, R., & Lysmer, J. (1976). *Sociedad internacional de mecánica*

*de suelos e ingeniería geotécnica*. issmge:

[https://www.issmge.org/uploads/publications/1/31/1997\\_03\\_0055.pdf](https://www.issmge.org/uploads/publications/1/31/1997_03_0055.pdf)

Julca, R. A. (2016). *Concreto permeable como propuesta sostenible para mejorar el*

*sistema de drenaje pluvial de la vía Blas De Atienza en Piura [Tesis de pregrado -*

*Universidad Cesar Vallejo]*. Repositorio.ucv:

<https://hdl.handle.net/20.500.12692/725>

Kottasová, I. (27 de Jul de 2021). *Clima y tiempo*. cnnespanol.cnn:

[https://cnnespanol.cnn.com/2021/07/27/inundaciones-londres-ciudades-no-](https://cnnespanol.cnn.com/2021/07/27/inundaciones-londres-ciudades-no-preparadas-cambio-climatico-trax/)

[preparadas-cambio-climatico-trax/](https://cnnespanol.cnn.com/2021/07/27/inundaciones-londres-ciudades-no-preparadas-cambio-climatico-trax/)

Lopez, A. T., & Lasprilla, D. P. (Dic de 2013). *pavimentos porosos utilizados como sistemas*

*alternativos al drenaje urbano [ Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad*

*Javeriana]*. Repository.javeriana:

<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/11174/TrujilloLopezAlejandra2013.pdf?sequence=1>

Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *https://ponce.sdsu.edu*. [https://ponce.sdsu.edu:chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://ponce.sdsu.edu/Applied\\_Hydrology\\_Chow\\_1988.pdf](https://ponce.sdsu.edu:chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://ponce.sdsu.edu/Applied_Hydrology_Chow_1988.pdf)

Mansilla, C. C. (01 de Mayo de 2022). *Concreto permeable para el control de aguas pluviales en vías urbanas en la ciudad de Abancay, 2019 [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Micaela Bastidas]*. repositorio.unamba: <http://Repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1080>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (07 de julio de 2021). *Norma técnica A.020 vivienda del reglamento nacional de edificaciones*. elperuano: [https://elperuano.pe/NormasElperuano/2021/07/07/1970041-1/1970041-1.htm?fbclid=IwY2xjawlM3oJleHRuA2FibQIxMAABHRFR2uLHFr7k0KoknZMOO9qez0hCw7PgXQ1tq04xJkwlXFa2mzw\\_OGXSQQ\\_aem\\_V9rMB2xq0LK55LwN4oRovw](https://elperuano.pe/NormasElperuano/2021/07/07/1970041-1/1970041-1.htm?fbclid=IwY2xjawlM3oJleHRuA2FibQIxMAABHRFR2uLHFr7k0KoknZMOO9qez0hCw7PgXQ1tq04xJkwlXFa2mzw_OGXSQQ_aem_V9rMB2xq0LK55LwN4oRovw)

Montesinos, K. Y. (2024). *Concreto permeable para la evacuación de agua pluvial en las bermas de la ciudad de Abancay 2023 [Tesis de Pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes]*. Repositorioutea: <https://hdl.handle.net/20.500.14512/753>

Morote, C. E., & Ulloa, J. C. (09 de Agosto de 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>, [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]*. repositorio.upca: <http://hdl.handle.net/10757/626313>

- Ortega, C. (2018). *Estudio retrospectivo. Qué es, ventajas y cómo realizarlo*. questionpro:  
<https://www.questionpro.com/blog/es/estudio-retrospectivo/>
- Paz, G. B. (2017). *metodologia de la investigacion*. Mexico.  
[http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales\\_de\\_consulta/Drogas\\_de\\_Abu\\_so/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf](http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abu_so/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf)
- Pensantes, H. J. (2019). *Evaluación del concreto permeable como una alternativa sostenible para el control de las aguas pluviales en la ciudad de Castilla, provincia Piura y departamento de Piura*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Piura].  
repositorio.unp: <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1904>
- Perú, M. d. (2008). Manual de Carreteras: Hidrología, Hidráulica y Drenaje. En M. d. Comunicaciones, *Manual de Carreteras: Hidrología, Hidráulica y Drenaje* (pág. 50). Lima: Editorial Macro.
- Peters, C. (03 de Jun de 2011). *solución permeable*. construccionlatinoamericana:  
<https://www.construccionlatinoamericana.com/news/solucion-permeable-/4064588.article>
- Piqueras, V. Y. (18 de Junio de 2019). *Columnas de gravas*. victoryepes.blogs:  
<https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/06/18/columnas-de-gravas/>
- Popper, K. (1994). <http://www.scielo.org.pe>. <http://www.scielo.org.pe>:  
[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-25162019000100008](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-25162019000100008)
- Pozo, C. A. (2018). *Aplicación de concreto permeable como alternativa para reducir la escorrentía superficial en las vías del distrito El Tambo-Huancayo, 2018*. [Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo].

[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/35342/Leon\\_PCAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/35342/Leon_PCAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Priebe, H. J. (Diciembre de 1995). [https://cdn.ca.emap.com.chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cdn.ca.emap.com/wp-content/uploads/sites/13/1995/12/1995-12\\_Pages\\_31-37.pdf](https://cdn.ca.emap.com.chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cdn.ca.emap.com/wp-content/uploads/sites/13/1995/12/1995-12_Pages_31-37.pdf)

RNE. (2006). <https://ww3.vivienda.gob.pe/ejes/vivienda-y-urbanismo/documentos/Reglamento%20Nacional%20de%20Edificaciones.pdf>

Roldan, P. L., & Fachelli, S. (2015). *Metodología de la Investigación Social Cuantitativa*. Barcelona. [https://ddd.uab.cat/pub/caplli/2016/163564/metinvsocua\\_a2016\\_cap1-2.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/caplli/2016/163564/metinvsocua_a2016_cap1-2.pdf)

Rosales, A. A. (Febrero de 2017). *Concreto permeable como sistema de drenaje de aguas pluviales en estacionamientos, caso Farmacias San Pablo, Sucursal Tláhuac-Culhuacán, [Tesis de Pregrado, Instituto Politécnico Nacional]*. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/21827/Concreto%20permeable%20como%20sistema%20de%20drenaje%20de%20aguas%20pluviales%20en%20estacionamientos%20C%20caso%20Farmacia%20San%20Pablo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Saboya, S. J., & Rios, R. B. (2021). *Propuesta de diseño de pavimento, utilizando concreto permeable para el control del drenaje pluvial en el distrito de la Banda de Shilcayo, provincia y departamento de San Martín, [Tesis de Pregrado, Universidad Científica del Perú]*. repositorio.ucp: <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1743>

Salazar, C., & Castillo, S. d. (2018). *Fundamentos Basicos de Estadística*. <http://up-rid2.up.ac.pa:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1371/Estad%3%adsticaFundamentos%20B%3%a1sicos%20de%20-Libro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. d. (2010). *Metodología de la Investigación*. Mexico. <https://www.icmujeres.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/Sampieri.Met.Inv.pdf>
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. d. (2014). *Metodología de la Investigación, Sexta edición* (Sexta Edición ed.). Mexico. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Senamhi. (2013). *Datos Meteorológicos*. Senamhi: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>
- Sistema de Arroyos*. (12 de febrero de 2019). [barranquilla.gov.co](https://www.barranquilla.gov.co): <https://www.barranquilla.gov.co/adi/arroyos/sistema-de-arroyos>
- Tafur, E. V., & Goñas, L. C. (2019). *Pavimentos permeables como sistema alternativo para el drenaje urbano en la localidad de Molinopampa, Amazonas, 2018*, [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza]. repositorio.untrm: <http://hdl.handle.net/20.500.14077/2071>
- Tamariz, F. A. (2019). *Evaluación del comportamiento del concreto permeable para su aplicación en pavimentos urbanos, fabricado con agregados de piedra chancada de la cantera de Tacllán, provincia de Huaraz*, [Titulo de Grado, Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo ]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3577>
- Torres, C. A. (2010). *Metodología de la Investigación*. Colombia. <https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf.pdf>
- Valdivielso, A. (s.f.). *iagua.es*. <https://www.iagua.es/respuestas/sistema-drenaje-pluvial>

Vera, E. J., & Garcia, J. K. (2018). *Mezcla de concreto permeable como parte de la estructura del pavimento rígido, Aplicado a vías de tráfico medio [Tesis de Pregrado, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas]*. repository.udistrital: <http://hdl.handle.net/11349/14127>

Vincent, J. M. (2019). <https://victoryepes.blogs.upv.es/files/2019/06/18.pdf>

Wikipedia. (19 de julio de 2024). *Sistema de drenaje*. es.wikipedia: [https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_drenaje](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_drenaje)

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