UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS:

Concreto permeable para la evacuación de agua pluvial en las bermas de la ciudad de Abancay 2023

Asesor:

Ph.D. Vásquez Ramírez, Abbon Álex

Autor:

Chauca Montesinos, Karen Yarinia

Para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac – Perú

2024

Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

ACTA DE EXAMEN DE TITULACIÓN N°011-2024-EPIC-FI- UTEA- SA

Reunidos el Jurado Evaluador constituido por los señores Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería de la Universidad Tecnológica de los Andes:

- **Dra. ORTEGA MENZALA, Eliana** — *PRESIDENTE*
- ***Mg. Marco Antonio GÁLVEZ QUINTANA*** — *DICTAMINANTE*
- **Dr. SOTO PALOMINO, Wilfredo** — *REPLICANTE*

y el (la) postulante al **TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO (a) CIVIL,** Bachiller: **CHAUCA MONTESINOS, Karen Yarinia con código de matrícula N° 201210482-F.**

Ha cumplido con las exigencias del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos de la Universidad Tecnológica de los Andes, aprobado mediante resolución de consejo UniversitarioN°1870-2023-UTEA-CU, de fecha 03 de julio del 2023, respecto a la sustentación de tesis, para optar al título profesional de Ingeniero Civil.

SUSTENTACIÓN DE TESIS titulado: **"Concreto permeable para la evacuación de agua pluvial en las bermas de la ciudad de Abancay 2023"**, habiendo aprobado con la nota de quince (15).

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 268.

Abancay, 15 de abril 2024.

Dra. ORTEGA MENZALA, Eliana
PRESIDENTE

Mg. Marco Antonio GÁLVEZ QUINTANA
DICTAMINANTE

Dr. SOTO PALOMINO, Wilfredo
REPLICANTE

Concreto permeable para la evacuación de agua pluvial en las bermas de la ciudad de Abancay 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%	19%	3%	9%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	2%
4	repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
6	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%

METADATOS COMPLEMENTARIOS

Datos del Autor		
Apellidos y nombres	:	Karen Yarinia Chauca Montesinos
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	76375937
URL ORCID	:	No aplica
Datos del Asesor		
Apellidos y nombres	:	Abbon Álex Vásquez Ramírez
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	06532658
URL ORCID	:	https://orcid.org/0000-0001-7299-5367
Datos de la investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería civil
Línea de Investigación	:	Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	:	Febrero 2023 - noviembre 2023
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciada
Porcentaje de similitud	:	19%
URL de OCDE	:	Ingeniería civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford# 2.01.01

DEDICATORIA

Dedico esta indagación al todo poderoso, por encaminarme profesionalmente y profesional, a mi madre por ser un ejemplo de lucha, perseverancia, fortaleza y creer siempre en mí, a familia por brindarme consejos y valores y a mis seres queridos por brindarme su cariño y constante ayuda en contextos alternos de mi vivencia.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por guiar mis pasos y por otorgarme una familia luchadora.

A mi madre por ser guía, a mi familia por brindarme el poder de acceder a una educación universitaria, por motivarme a obrar y finalizar satisfactoriamente la actual indagación y por forjar en mí el espíritu de superación y triunfo mediante su ejemplo y valores.

RESUMEN

El actual escrutinio se ocasiono del requerimiento de resolver la problemática de evacuación pluvial por lo tanto se evaluó la influencia de agua pluvial en Abancay para ello se elaboró un concreto patrón y tres concretos permeables con porcentajes de vacíos, 15%, 18% y 20% y una dosis de 500 ml de aditivo superplastificante con el fin de tener un diseño adecuado para un concreto permeable. Se vaciaron un total de 24 testigos cilíndricos y 24 muestras prismáticas para ser sometidas a los ensayos de permeabilidad, resistencia a la compresión (f´c) y resistencia a la flexión a 07, 14 y 28 días. Siguiendo los procedimientos centrados en lineamientos del ACI 522R-10 para la permeabilidad, NTP 339.034 ASTM C39M para la resistencia a la compresión NTP 339.078, ASTM C78 para soporte a la flexión. Obteniendo resultados de permeabilidad en los diseños de 15%, 18% y 20% de vacíos dentro del rango de 0.20 a 0.54 cm/s; también se ha observado hallazgos 28 días siendo 175.38 kg/cm^2 la menor resistencia para el 20% de vacíos, para el resistencia flexivo a los 28 días 32.81 kg/cm^2 al 20% de vacíos, recalcar que es esencial precisar que si se incrementa la vinculación entonces decrementa la compresión y flexión, dando así los diseños óptimos para el evacuación de agua pluvial en bermas los porcentajes de 15 y 18 % de vacíos.

Palabras clave: *Concreto permeable, permeabilidad, aguas pluviales.*

ABSTRACT

The current scrutiny was occasioned by the requirement to resolve the problem of rainwater drainage, therefore the influence of rainwater in Abancay was evaluated, and for this purpose, a standard concrete and three permeable concretes with void percentages, 15%, 18% and 20%, were prepared. and a dose of 500 ml of superplasticizing additive in order to have an adequate design for permeable concrete. A total of 24 cylindrical cores and 24 prismatic samples were cast to be subjected to permeability, compressive strength (f'c) and deflective strength tests at 07, 14 and 28 days. Following procedures focused on ACI 522R-10 guidelines for permeability, NTP 339.034 ASTM C39M for compressive strength NTP 339.078, ASTM C78 for flexural support. Obtaining permeability results in the designs of 15%, 18% and 20% voids within the range of 0.20 to 0.54 cm/s; Findings have also been observed at 28 days, with 175.38 kg/cm2 being the lowest resistance for 20% voids, for flexural endurance at 28 days 32.81 kg/cm2 at 20% voids, it should be emphasized that it is essential to specify that if the linkage then decreases compression and flexure, thus giving the optimal designs for the evacuation of rainwater in berms the percentages of 15 and 18% voids.

Keywords: *permeable concrete, permeability, stormwater.*

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA..... i

ACTA DE SUSTENTACIÒN..... ii

REPORTE DE SIMILITUD iii

METADATOS iv

DEDICATORIA v

AGRADECIMIENTO..... vi

RESUMEN.....vii

ABSTRACT.....viii

ÍNDICE DE CONTENIDO..... ix

INDICE DE TABLAS.....xii

INDICE DE FIGURAS xv

INTRODUCCIÓN.....xvii

CAPÍTULO I: PLAN DE INVESTIGACIÓN 1

1.1. Realidad problemática 1

1.2. Planteamiento del problema 3

1.2.1. Formulación de problemas 3

1.2.2. Problema general 3

1.2.3. Problemas específicos 3

1.3. Justificación de la investigación 3

1.4. Objetivos de la investigación 4

1.4.1. Objetivo general.....4

1.4.2. Objetivos específicos.....4

1.5. Delimitación de la investigación 4
1.5.1. Espacial 4
1.5.2. Temporal 4
1.5.3. Social 5
1.5.4. Conceptual 5
1.6. Viabilidad de la investigación 5
1.7. Limitaciones 6
CAPÍTULO II: MARCO TEORICO 7
2.1. Antecedentes de investigación 7
2.1.1. A nivel internacional 7
2.1.2. A nivel nacional 10
2.1.3. A nivel regional o local 12
2.2. Bases teóricas 13
2.3. Marco conceptual 20
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN 31
3.1. Hipótesis 31
3.1.1. Hipótesis general 31
3.1.2. Hipótesis específica 31
3.2. Método 31
3.3. Tipo de investigación 32
3.4. Nivel o alcance de investigación 32
3.5. Diseño de la investigación 32
3.6. Operacionalización de variables 33

3.7. Población, muestra y muestreo 34
3.7.1. Población 34
3.7.2. Muestra 34
3.7.3. Muestreo 34
3.8. Técnicas e instrumentos 34
3.8.1. Técnica 34
3.8.2. Instrumentos 35
3.9. Consideraciones éticas 35
3.10. Procedimiento estadístico 35
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN 36
4.1. Resultados 36
4.1.1. Resultados del objetivo específico 1 36
4.1.3. Resultados del objetivo específico 2 40
4.1.4. Resultados del objetivo específico 3 43
4.2 Discusión de resultados 45
4.3 Prueba de hipótesis 48
4.3.1. Prueba estadística para la hipótesis específica 1 48
4.3.2. Prueba estadística para la hipótesis específica 2 55
4.3.3. Prueba estadística para la hipótesis específica 3 64
CONCLUSIONES 73
RECOMENDACIONES 73
BIBLIOGRAFIA 73
ANEXOS 85

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Operacionalización de variables*..... 33

Tabla 2 *Resumen de densidad en concreto patrón y concreto permeable con porcentajes de 15%, 18% y 20% de vacíos*..... 36

Tabla 3 *Resumen de contenido de vacíos en concreto patrón y concreto permeable con porcentajes de 15%, 18% y 20% de vacíos*..... 37

Tabla 4 *Resumen de permeabilidad en concreto patrón y concreto permeable con porcentajes de 15%, 18% y 20% de vacíos*..... 39

Tabla 5 *Resumen de resultados de f 'c a los 7,14 y 28 días en concreto patrón y contenidos de vacíos al 15%, 18% y 20%*..... 41

Tabla 6 *Resumen de resultados del ensayo de resistencia a la flexión a los 7,14 y 28 días en concreto patrón y contenidos de vacíos al 15%, 18% y 20%*..... 43

Tabla 7 *Datos del ensayo de densidad (g/cm³) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)*..... 49

Tabla 8 *Análisis de varianza de los promedios de densidad (g/cm³) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)*..... 50

Tabla 9 *Comparación múltiple de Tukey de los promedios de densidad (g/cm³) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)* 51

Tabla 10 *Datos del ensayo de contenido de vacío (%) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)*..... 52

Tabla 11 *Análisis de varianza de los promedios de Contenido de vacío (%) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)* 53

Tabla 12 *Comparación múltiple de Tukey de los promedios de Contenido de vacío (%) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)* 53

Tabla 13 *Datos del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)* 55

Tabla 14 *Análisis de varianza de los promedios de resistencia a la compresión a los 7 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)*..... 56

Tabla 15 *Comparación múltiple de Tukey de los promedios de resistencia a la compresión a los 7 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)*..... 57

Tabla 16 *Datos del ensayo de resistencia a la compresión a los 14 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)* 57

Tabla 17 *Análisis de varianza de los promedios de resistencia a la compresión a los 14 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)*..... 59

Tabla 18 *Comparación múltiple de Tukey de los promedios de resistencia a la compresión a los 14 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)*..... 59

Tabla 19 *Datos del ensayo de Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)* 61

Tabla 20 *Análisis de varianza de los promedios de resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)*..... 62

Tabla 21 *Comparación múltiple de Tukey de los promedios de resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)*..... 63

Tabla 22 *Datos del ensayo de resistencia a la flexión a los 7 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacíos (15%, 18% y 20%)* 64

Tabla 23 *Análisis de varianza de los promedios de resistencia a la flexión a los 7 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacíos (15%, 18% y 20%)*..... 65

Tabla 24 *Comparación múltiple de Tukey de los promedios de Resistencia a la flexión a los 7 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)* 66

Tabla 25 *Datos del ensayo de resistencia a la flexión a los 14 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)* 67

Tabla 26 *Análisis de varianza de los promedios de Resistencia a la flexión a los 14 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)* 68

Tabla 27 *Comparación múltiple de Tukey de los promedios de resistencia a la flexión a los 14 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)* 69

Tabla 28 *Datos del ensayo de Resistencia a la flexión a los 28 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)* 70

Tabla 29 *Análisis de varianza de los promedios de Resistencia a la flexión a los 28 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)* 71

Tabla 30 *Comparación múltiple de Tukey de los promedios de Resistencia a la flexión a los 28 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)* 72

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Contenido de vacíos y f´c a los 28 días para el agregado de tamaños No. 67 y No. 8.* *16*

Figura 2 *Resistencia mínima en pavimentos* *16*

Figura 3 *Módulo de rotura mínima según la Norma CE.010 igual o superior a 34 kg/cm^2 para pavimentos.* *18*

Figura 4 *Relación de resistencia a la flexión del concreto y contenido de aire* *19*

Figura 5 *Relación entre la resistencia a flexión y la resistencia a compresión para el concreto permeable.* *19*

Figura 6 *Gráfica Granulométrica* *21*

Figura 7 *Porcentaje que pasa por los tamices normalizados* *21*

Figura 8 *Relación entre permeabilidad y el contenido de vacíos* *26*

Figura 9 *Permeámetro de carga variable* *27*

Figura 10 *Barras de densidad en concreto patrón y concreto permeable con porcentajes de 15%, 18% y 20% de vacíos.* *36*

Figura 11 *Barras de los resultados de contenido de vacíos en concreto patrón y concreto permeable con porcentajes de 15%, 18% y 20% de vacíos.* *38*

Figura 12 *Gráfico de barras de los resultados de permeabilidad en concreto patrón y concreto permeable con porcentajes de 15%, 18% y 20% de vacíos.* *40*

Figura 13 *Dimensiones de los testigos cilíndricos* *41*

Figura 14 *Barras de resumen de resultados de f 'c a los 7,14 y 28 días en concreto patrón y contenidos de vacíos al 15%, 18% y 20%.* *42*

Figura 15 *Barra de resumen de resultados del ensayo de resistencia a la flexión a los 7,14 y 28 días en concreto patrón y contenidos de vacíos al 15%, 18% y 20%.* *44*

Figura 16 *promedios de densidad (g/cm³) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)* *50*

Figura 17 *Promedios de Contenido de vacío (%) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)* *52*

Figura 18 *Promedios de resistencia a la compresión a los 7 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%) 55*

Figura 19 *Promedios de resistencia a la compresión a los 14 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%) 58*

Figura 20 *Promedios de Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%) 61*

Figura 21 *Promedios de resistencia a la flexión a los 7 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)..... 65*

Figura 22 *Promedios de resistencia a la flexión a los 14 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)..... 68*

Figura 23 *Promedios de resistencia a la flexión a los 28 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)..... 70*

INTRODUCCIÓN

El propósito del escrutinio “Concreto permeable para la evacuación de agua pluvial en las bermas de la ciudad de Abancay 2023”, emana de la inquietud para remediar la problemática de la escorrentía hídrica en las áreas citadinas de Abancay debido a los inconvenientes medioambientales, esto ha desencadenado modificaciones en el patrón convencional de los fenómenos atmosféricos en zonas campestres donde solían acontecer precipitaciones, pero ahora no son tan habituales afectando la recarga natural de los mantos freáticos propiciando aridez y de igual manera en sitios donde no lloviznaban constantemente ahora presentan un mayor índice de precipitación induciendo escurrimientos superficiales, que al incrementarse y por la carencia de un SUDS (sistema de drenaje sostenible) ocasionan una desregulación en los sistemas de drenaje y recurrentemente desorden.

El objetivo de la presenta de la tesis es diseñar un pavimento permeable según la Norma ACI 522R-10 que influya sobre las bermas permitiendo evacuar la escorrentía pluvial que se encuentra en la parte superficial. Según las características del suelo, el agua puede ser absorbida por el subsuelo o dirigida hacia áreas donde se requiera para algún fin específico.

El hormigón permeable es crucial y se contempla como una opción sustentable, dado que su alta permeabilidad posibilita resolver el dilema de la escorrentía superficial con el propósito de reducir al mínimo la perturbación hidrológica en la medida de lo factible.

Por tal causa, este trabajo de investigación se organiza en cuatro secciones. El inicial apartado discurre sobre la configuración del enigma, sus antecedentes y los propósitos elaborados en esta indagación. El segundo apartado detalla los precedentes y los conceptos teóricos pertinentes del asunto. En el tercer apartado se narran los aspectos metodológicos, que contemplan el género, nivel y diseño de la exploración, así como los factores, indicadores, comunidad y muestras empleadas. El cuarto apartado escudriña el progreso del estudio mediante los ensayos de gabinete, expone los resultados adquiridos, los cuales son

analizados y después se verifica la satisfacción de la suposición esbozada. Por último, se exponen las conclusiones, sugerencias, fuentes bibliográficas empleadas y apéndices.

CAPÍTULO I

PLAN DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad problemática

El crecimiento de las urbanizaciones y el aumento de la población tienen un impacto significativo en el entorno natural y en las comunidades locales. Uno de los principales inconvenientes ligados a este incremento es la ampliación de las zonas impenetrables, como producto de la pavimentación de vías, la exigencia de inmuebles y el progreso de infraestructuras. Estas áreas impenetrables obstaculizan el proceso natural de filtración del agua pluvial en el terreno, lo que podría provocar una serie de repercusiones ambientales y sociales adversas. (Gaedicke et al., 2015).

En en Singapur ilustra los desafíos significativos que enfrentan las ciudades urbanas frente a las precipitaciones intensas, los cambios climáticos y otros problemas relacionados con el agua, el uso de pavimentos de hormigón permeable podría ser esencial en la gestión sostenible del agua en entornos urbanos como Singapur, ayudando a mitigar los impactos negativos de las lluvias intensas, mejorar la resiliencia frente al cambio climático y promover un entorno urbano más saludable y sostenible. (Lim et al., 2013)

Según Bautista (2018), a la actualidad se están realizando estudios para la inclusión del concreto permeable en la infraestructura vial, principalmente en países como Colombia, Chile y México, no obstante, en el Perú, esta práctica no es habitual ni constante para solucionar problemas relacionados con la evacuación de agua pluvial, dado que no existe

una norma nacional que describe los procedimientos para diseñar, construir y mantener el concreto permeable que puede usarse en el diseño e instalación del pavimento no flexible.

En la urbe del Cusco, la acumulación de agua pluvial en espacios como estacionamientos, veredas, plazas y áreas deportivas de baldosas tiene un impacto desfavorable en su operatividad. Este escenario también ocasiona dificultades en las construcciones viales, dado que el agua no sigue su trayectoria natural y puede ocasionar defectos en la infraestructura. Si los mecanismos de evacuación de agua no pueden desalojar el líquido de las superficies, se generan estancamientos que incrementan los gastos de conservación y pueden transformarse en focos de enfermedades como el dengue. Además, la acumulación de agua en los pavimentos debido a las precipitaciones y al colapso del sistema de drenaje afecta la circulación vehicular y peatonal en distintas zonas de la localidad. (Leiva y Palomino, 2016)

Las largas precipitaciones relacionadas con el Fenómeno de El Niño ejercen un impacto considerable en toda la comarca de Lambayeque. Estas lluvias persistentes provocan inundaciones debido a la enorme cantidad de agua y al escurrimiento superficial. Las áreas citadinas de José Leonardo Ortiz y La Victoria son especialmente perjudicadas por este fenómeno, lo que resulta en daños severos e incluso colapsos en algunas edificaciones y estructuras. Además, las características del suelo en Chiclayo, que incluyen la presencia de arcillas expansivas, hacen que su comportamiento mecánico cambie cuando se satura de agua, lo que contribuye al deterioro de los pavimentos y las edificaciones. (Vega, 2013).

En la urbe de Abancay, hay una significativa insuficiencia en el sistema de administración de las precipitaciones pluviales, lo cual deriva en problemas constantes de desagüe. Esto se debe a la acentuada inclinación de su topografía, que alcanza un 13%. A lo largo de los meses de diciembre a marzo, especialmente, las copiosas lluvias ocasionan anegamientos y la saturación extrema de los sumideros de desagüe. Estos acontecimientos no solo perturban el flujo vehicular y peatonal, sino que también originan focos de polución en las áreas más bajas, donde se acumulan los desechos citadinos. Es imperativo instaurar un

sistema de desagüe pluvial adecuado y sostenible, que tenga la aptitud de filtrar y desalojar la escorrentía superficial engendrada por las lluvias. Sin embargo, hasta el momento, la instauración de estrategias, metodologías y herramientas para abordar estas insuficiencias en el manejo de las aguas pluviales sigue siendo una gran brecha en el desarrollo del distrito, que debe asegurar una superior calidad de vida para sus residentes. (Arcos, 2022).

Según lo expuesto, la presente tesis propone el diseño de un concreto permeable para mitigar los problemas de evacuación de aguas pluviales de la ciudad de Abancay.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. *Formulación de problemas*

1.2.2. *Problema general*

¿En qué medida el concreto permeable puede optimizar la evacuación de agua pluvial en las bermas de la ciudad de Abancay 2023?

1.2.3. *Problemas específicos*

¿De qué manera la densidad y el contenido de vacíos del concreto permeable puede optimizar la evacuación de agua pluvial en las bermas de la ciudad de Abancay 2023?

¿De qué manera la resistencia a la compresión del concreto permeable puede optimizar la evacuación de agua pluvial en las bermas de la ciudad de Abancay 2023?

¿De qué manera la resistencia a la flexión del concreto permeable puede optimizar la evacuación de agua pluvial en las bermas de la ciudad de Abancay 2023?

1.3. Justificación de la investigación

La indagación tuvo como objetivo sugerir un diseño de hormigón permeable para una óptima eliminación de las precipitaciones pluviales en la urbe de Abancay. La proposición de hormigón permeable representará una ventaja para la comunidad de Abancay, dado que facilitará la mejora de la eliminación de aguas pluviales en áreas de escasa permeabilidad como aceras, carriles para bicicletas y áreas de estacionamiento, bermas, además de atenuar los focos infecciosos que podrían surgir debido a la saturación de sumideros.

De igual manera, la presente tesis ayuda a la infiltración de la escorrentía pluvial, permitiendo recargar los acuíferos cumpliendo el ciclo del agua.

Asimismo, la presente tesis ofrece conocimientos sobre el concreto permeable en los distintos diseños propuestos, los cuales pueden ser empleados en las tomas decisiones. De igual manera, puede abrir paso a futuras investigaciones relacionadas con el tema.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. *Objetivo general*

Analizar cómo la incorporación del concreto permeable influye en la evacuación de agua pluvial en las bermas de la ciudad de Abancay 2023.

1.4.2. *Objetivos específicos*

Determinar la densidad y contenidos de vacíos del concreto permeable para optimizar la evacuación de agua pluvial en las bermas de la ciudad de Abancay 2023.

Determinar la resistencia a la compresión del concreto permeable para optimizar la evacuación de agua pluvial en las bermas de la ciudad de Abancay 2023.

Determinar la resistencia a la flexión del concreto permeable para optimizar la evacuación de agua pluvial en las bermas de la ciudad de Abancay 2023.

1.5. Delimitación de la investigación

1.5.1. *Espacial*

La investigación se ejecutó en la ciudad de Abancay, provincia de la región de Apurímac, realizándose los ensayos requeridos para la evaluación continua.

1.5.2. *Temporal*

El desarrollo tuvo como inicio el mes de febrero y su fin el mes de octubre del 2023.

1.5.3. *Social*

La presente propuesta de concreto permeable constituirá un beneficio para la población de Abancay, ya que ayudará a mejorar la transitabilidad vial y peatonal al mitigar los problemas de acumulación de escorrentía pluvial y saturación de buzones, que a su vez componen focos de contaminación y pueden ocasionar accidentes.

1.5.4. *Conceptual*

La evolución del actual análisis se contempló datos absolutamente centrados en la ejecución del cemento poroso en el enlosado, toda vez que se persiguió reducir el golpe de las precipitaciones pluviales en la carretera local. El género de material para la franja está configurado de la misma manera de un pavimento firme de cemento con una solidez de 210 kg/cm2 cumpliendo con lo estipulado en la Normativa Científica de Construcción CE.010 Superficies Urbanas donde señala la firmeza a la flexión mayor o igual a 34 kg/cm2 y f´c mayor o igual a 175 kg/cm2.

1.6. Viabilidad de la investigación

La presente indagación se consideró viable desde el punto de vista económico, social y técnico.

En el aspecto económico, fue viable ya que se contó con el recurso monetario para asumir principalmente los costos de los ensayos realizados en laboratorio.

Asimismo, en el aspecto social, fue posible realizar la presente tesis ya que se contó con la mentoría de un asesor.

En el aspecto técnico, el desarrollo de la tesis fue factible debido a la existencia de normas técnicas para realizar los distintos ensayos, como por ejemplo la NTP y el ACI 522 R-10, y debido a que se contó con la disponibilidad del laboratorio Saywite S.A.C. el cual estuvo completamente equipado.

1.7. Limitaciones

Las limitaciones que la investigadora tuvo fueron:

- Contar con poca información en el ámbito local.
- El laboratorio de la UTEA, brinda servicios limitados.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de investigación

2.1.1. A nivel internacional

Zambrano (2019) en su escudriñamiento esbozó generar una amalgama de cemento poroso que facilitara la rápida infiltración del líquido. La meta era concebir una solución para estacionamientos en áreas metropolitanas, con el propósito de menguar el estancamiento de las precipitaciones en la superficie y evitar que sobrecarguen los sistemas de drenaje. La indagación se llevó a cabo mediante un enfoque experimental, empleando diversas combinaciones de líquido y material cementante en mezclas que fluctuaron entre 0.29 y 0.41, con diferentes proporciones de espacios vacíos. Se llevaron a cabo nueve ensayos utilizando dimensiones de material agregado de 3/8” y 3/4”, así como una relación líquida/material cementante de 0.35 - 0.38 y 0.41, con porcentajes de espacios vacíos de 15, 17 y 19%. Se fabricaron siete cilindros para cada combinación los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a la presión mostraron que, en el caso del material fragmentado de 3/8", las resistencias oscilaron entre 9.51 y 10.92 MPa, con una capacidad de infiltración de 1.31 a 1.98 cm/s y una porosidad de 26.66 a 33.68%. Respecto al material fragmentado de 3/4", las resistencias variaron de 7.64 a 9.34 MPa, con una capacidad de infiltración de 3.27 a 4.51 cm/s y una porosidad de 30.01 a 35.65%. Por último, para el material de guijarros de 3/4", las resistencias oscilaron entre 9.11 y 12.45 MPa, con una capacidad de infiltración de 2.60 a 4.05 cm/s y una porosidad de 28.70 a 35.82%.

Se determinó que una dosificación específica para el pavimento de cemento permeable, utilizando material fragmentado de 3/8", un contenido de espacios vacíos del 15% y una relación líquida/material cementante de 0.35, logró una resistencia a la presión de 10.92 MPa y una capacidad de infiltración de 645.46 L/m2/min.

Laguna y Piedrahita (2017) evaluaron diversas combinaciones de hormigón poroso utilizando materiales localmente en Cartagena de Indias. El propósito era establecer qué combinaciones podrían emplearse como capa de tránsito en pavimentos duros porosos en zonas de aparcamiento. Los resultados obtenidos en su investigación demostraron que las resistencias a la presión variaron entre 0.02 y 6.11 MPa, los módulos de fractura entre 0.13 y 2.73 MPa, y las permeabilidades entre 0.478 y 1.913 cm/s, todos dentro de los rangos aceptables según la documentación revisada. Tras analizar todas las características, identificaron siete combinaciones apropiadas para su empleo en jardines residenciales, que cumplían con todos los requisitos. Estas incluían combinaciones con materiales de guijarros (GG1, GG2, GG4, GG5, GG7, GG8) y triturado de piedra caliza (TP4), siendo la combinación TP4 la más factible. En términos de resistencia a la presión y a la flexión, la combinación GG7 fue la más adecuada, mientras que, en términos de permeabilidad, la combinación GG8 presentó las mejores condiciones. En general, el canto rodado demostró ser el material con el mejor rendimiento para los diseños de mezclas estudiados, como se evidenció en el mayor número de mezclas que cumplían con los requisitos de las normas aplicables.

Nazareno (2014) Se sugirió elaborar una combinación de pavimento penetrante ajustando la proporción de espacios vacíos para alcanzar características estructurales e hidráulicas óptimas para su utilización en pavimentos. Este diseño implicaba la creación de mezclas con un contenido de vacíos del 20 al 25%, lo que permitiría el drenaje del agua a través del pavimento. La condición principal era garantizar la resistencia a la disgregación, maximizando al mismo tiempo el porcentaje de vacíos. Tras efectuar ensayos, se estableció que el porcentaje idóneo de betún para el esquema era del 4%, junto con una proporción de huecos del 22%. Se determinó que estos compuestos, evaluados a través del método del

cántabro para examinar la pérdida y descomposición de los agregados y el ligante, satisfacían los estándares definidos. También se planteó que para alcanzar una alta porosidad con una solidez óptima y prevenir la desintegración en amalgamas asfálticas permeables, sería factible utilizar betunes alterados.

Fernández y Navas (2012) llevaron a cabo un estudio en Costa Rica con el propósito de establecer el diseño adecuado de una amalgama de cemento permeable para un sistema que combina un pavimento y una depresión de retención, con el fin de suprimir la escorrentía superficial. En el análisis, examinaron la resistencia a la compresión uniaxial y la porosidad del cemento, utilizando distintas muestras con variadas proporciones de agua, cemento, conglomerado y aditivos. Dado el valor de elaborar las amalgamas in situ, solo tuvieron en cuenta los resultados de tres muestras (M7, M8 y M14) en el examen de compresión uniaxial. Respecto a la evaluación de porosidad, se consignaron los valores extremo y mínimo, y se computó un promedio de todos los resultados para confrontarlo con los datos de precipitaciones fuertes en la región de construcción. Fundamentándose en los resultados obtenidos, los investigadores proponen magnitudes para la confección de la amalgama. Concluyeron que la utilización de agregado sutil mejoró las características del cemento permeable tanto en su estado inicial como endurecido, a pesar de que su empleo está limitado debido a su potencial influencia adversa en la porosidad.

Bandyopadhyay et al. (2015) emprendieron una investigación con el propósito de indagar si la dimensión del agregado grueso en la amalgama ejercía un influjo en la porosidad y la tenacidad a la opresión del conglomerado. Con tal propósito, elaboraron dos configuraciones de amalgama empleando cemento Portland, agregado grueso y líquido. En la primera disposición, usaron basalto como agregado grueso con una dimensión nominal de 12 a 10 micrones, acompañado de guijarros de río de 10 a 6.5 micrones, mientras que en la segunda disposición emplearon basalto como agregado grueso con una dimensión nominal de 20 a 12 micrones. Los resultados del examen de opresión sugirieron que la primera disposición era más robusta que la segunda debido a la menor cantidad de huecos. Por otro

lado, en el examen de porosidad se evidenció que la segunda disposición facilitaba un flujo de líquido más competente a través de su configuración, posiblemente a causa de una mayor cantidad de vacíos presente en ella.

2.1.2. A nivel nacional

En su indagación, Bautista (2018) se encomendó confeccionar una calzada inflexible porosa y valorar si la lámina de rodadura del pavimento de cemento poroso cumplía con los requerimientos de resistencia para ser categorizado como vialidad local y pavimentación particular conforme a los preceptos de la RNE y la Norma CE. 010 Vías Urbanas. Con miras a alcanzar este propósito, creó diversos patrones de cemento con distintos porcentajes de huecos (10%, 15% y 20%) y conglomerado sutil (0%, 10% y 20%). Se produjeron un total de 30 muestras cilíndricas y 24 travesaños para exponerlos a pruebas de tenacidad a la compresión y a la flexión. Luego de 28 jornadas, se lograron resultados de tenacidad a la compresión en un margen de 51.30 kg/cm2 a 177.98 kg/cm2, tenacidad a la flexión de 22.35 kg/cm2 a 45.07 kg/cm2 y porosidad en de 0.91 cm/s a 0.20 cm/s. Como veredicto, se dictaminó que el diseño 5 (con un 10% de huecos y un 10% de conglomerado sutil) fue el ejemplar representativo idóneo, con una f'c de 177.98 kg/cm2 y una porosidad de 0.20 cm/s, ya que satisfacía los cánones establecidos por la Norma CE. 010 Vías Urbanas.

Lima y Quispe (2018), quienes llevaron a cabo su indagación con la meta de diseñar un esquema de evacuación que permita la captura efectiva de aguas pluviales, en tal medida, desde un enfoque metodológico, el estudio abarcó el tipo de investigación aplicada con estructura experimental, los resultados obtenidos revelaron que los modelos con desagües filtrantes y sumideros no son idóneos para la gestión de aguas pluviales, mientras que el esquema de desagües filtrantes muestra una superior eficacia, puesto que logra disminuir hasta el 78% del flujo circulante en las vías, así pues, el volumen de agua es inferior incluso en 1,47m3 en contraposición con el esquema tradicional de alcantarillas.

León (2018) realizó su estudio con el fin principal de sugerir una resolución para disminuir el escurrimiento superficial de las precipitaciones en las calles del distrito de El

Tambo-Huancayo. En su procedimiento, examinó la habilidad de sorción del hormigón sorbible frente a diversas intensidades de precipitación, empleando diferentes proporciones de agua-cemento (0.27, 0.28 y 0.34). Los desenlaces evidenciaron que las aptitudes de sorción fluctuaban entre 18.78 l/s y 27.48 l/s por metro cuadrado. Como corolario, se inferió que la utilización del hormigón sorbible podría ser una opción efectiva para mitigar el escurrimiento superficial en superficies urbanas.

Esquerre y Silva (2019) realizaron un análisis con la intención de crear una idea de cemento poroso como una opción para la administración de aguas pluviales en carreteras urbanas de circulación moderada en el septentrión del Perú. Para ello, elaboraron once combinaciones de cemento poroso empleando grava gruesa con un grosor de ¾", con porcentajes de huecos que oscilaban entre 13% y 20%. Dentro de estas combinaciones, se descubrió que las muestras M9, M10 y M11 satisfacían los criterios de f'c, excediendo los 210 kg/cm2. Posteriormente, se optó por la combinación M11, que tenía un 13% de huecos, logrando una resistencia a la compresión de 295 kg/cm2 y un módulo de ruptura de 42 kg/cm2. Asimismo, esta combinación incorporaba un añadido de superfluidificante-reductor de agua al 0.21% y retardador de fraguado al 0.20%. Este tipo de cemento novedoso evidenció una capacidad de drenaje de hasta 60 litros/m2/min. En resumen, se concluyó que el cemento poroso podría operar eficientemente como pavimento rígido en una vía urbana con tráfico moderado en el norte del Perú.

Amoros y Bendezu (2019) Realizaron una exploración con el fin de establecer un plan de mezcla para hormigón poroso dirigido a pavimentos, con la meta de alcanzar una resistencia de 210 kg/cm2 mediante la aplicación del procedimiento ACI 522.R. Para este propósito, ejecutaron distintos esquemas de mezcla variando la relación agua/cemento de 0.4 a 0.38, el porcentaje de huecos de 13% a 17%, 1.5% de aditivo Superplastificante y 7% de sílice. Las pruebas de resistencia a la compresión produjeron resultados que fluctuaron entre 91.77 kg/cm2 y 283.06 kg/cm2, mientras que la permeabilidad fue de 0.0161 m/s. Como desenlace, se dedujo que la proporción óptima para lograr una resistencia a la compresión de 283.06 kg/cm2 engloba una relación agua/cemento de 0.38, un porcentaje de huecos del

13%, 1.5% de aditivo Superplastificante (Z RR PLAST-971), 161.1 kg de sílice y 1449.93 kg de grava por cada metro cúbico de mezcla. Estos hallazgos insinúan que este tipo de hormigón podría ser empleado como una opción viable para la superficie de rodaje de pavimento.

Chaiña y Villanueva (2017) llevaron a cabo una investigación con el propósito de determinar un diseño de concreto permeable aplicable en la construcción de pavimentos. Su metodología consistió en preparar 18 muestras con diversas dosificaciones y combinaciones, las cuales fueron sometidas a pruebas de resistencia, desgaste y permeabilidad. Como resultado, encontraron que la dosificación que incluía un contenido de vacíos del 10% y la incorporación de agregado fino mostró una mayor durabilidad y resistencia (f'c = 290 Kg/cm^2). En contraste, las dosificaciones sin la presencia de agregado fino y con un contenido de vacíos del 10% y 15% registraron valores inferiores de f'c.

2.1.3. A nivel regional o local

Arcos (2022) quien a partir de su estudio tuvo como objetivo analizar las propiedades físicas y mecánicas del hormigón permeable, para lo cual diseño 6 tratamientos de los cuales los tres primeros T1, T2, T3 corresponden a dosificaciones de 12%, 17% y 22% de vacíos con el huso 8 y los tres últimos T4, T5 y T6 corresponden a dosificaciones de 12%, 17% y 22% de vacíos con el huso 67. El tratamiento con mejor resultado fue T1 ya que presentó mejor resistencia a la compresión con un resultado de 272.58 Kg/ cm^2.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Concreto permeable

La ACI 522R-10 (2010) describe al hormigón permeable, como: una mezcolanza de agua, aditivos, agregado grueso y fino, cemento Portland destinado a producir un concreto que en el menor tiempo posible se pueda solidificar, el tamaño que comúnmente presenta varía entre los 2mm a los 8mm. El porcentaje de drenaje del concreto dependerá a la densidad y al tamaño del agregado obtenida en la mezcla. El rango de contenido de vacíos puede estar entre 15 a 35 por ciento, con posibles valores de f´c de 2,8 a 28 MPa.

El pavimento permeable gestiona eficientemente las aguas pluviales, que son ácidas y contienen sedimentos finos y metales pesados vertidos por los vehículos que circulan sobre este material, el cemento, el agua y los agregados clasificados son los principales componentes de la mezcla de cemento permeable y concreto (PCC), y su diseño generalmente se realiza mediante prueba y error. La estructura del concreto permeable permite que el agua se canalice a través de las superficies del pavimento hacia las capas más profundas del suelo durante períodos de fuertes lluvias, por lo que es utilizado generalmente zonas de bajo volumen de tráfico, considerando que el tamaño y la cantidad de agregados juegan un papel imperativo en la determinación de la propiedad de unión, la fuerza y permeabilidad del concreto (Silva et al., 2021).

Con el incremento de la población y la urbanización de las ciudades, las superficies de los pavimentos quedan en su mayoría cubiertas por material impermeable, por lo que el agua pluvial no se drena adecuadamente provocando rápidos desbordamientos, además que, con superficies impermeables, es difícil que el agua drene hacia el suelo donde la temperatura y la humedad de la superficie terrestre se pueda equilibrar, a diferencia del hormigón permeable que permite el paso del agua de lluvia, evitando así inundaciones y desbordamientos gracias a sus beneficios ambientales, como la filtración de aguas pluviales, evitando sobrecarga de agua subterránea (Torres et al., 2018).

2.2.2. Densidad y Contenido de Vacíos

Según el ACI 522R-10 (2010) “el porcentaje de vacíos se ve afectado por variables como la granulometría del agregado, la cantidad del insumo cementante, la cantidad de esfuerzo de compactación y la proporción de agua y cemento”.

Asimismo, la Norma NTP 339.238 (19) indica que primero se debe medir las muestras de concreto, para luego secar y registrar su masa, luego se procede a determinar su masa en el agua y así poder determinar el volumen que ocupa los sólidos. El porcentaje de vacíos se halla calculando la diferencia del volumen de sólidos que se desplaza cuando una muestra se sumerge en agua y el volumen total de la muestra (medido por sus dimensiones) (Arana y Cruz, 2021).

La norma ACI 522R-10 (2010) indica:

Para la densidad:

$$Densidad = \frac{Masa\ de\ sólidos}{Volumen\ de\ los\ sólidos}$$

Para el contenido de vacíos:

$$\%\ vacíos\ = \frac{volumen\ total\ de\ diseño - volumen\ de\ sólidos}{volumen\ total\ de\ diseño\ _}\ \frac{(m^3, ft^3)}{(m^3, ft^3)}$$

2.2.3. Resistencia a la Compresión

Llerena y Ticlla (2020), mencionaron que el estudio de la resistencia del hormigón se remonta al inicio de la invención de los materiales concretos que, por lo general, la resistencia del concreto se mide a partir de su comportamiento frente a la compresión y a la flexión. Para algunos elementos estructurales con requisitos especiales de fuerza y soporte, el concreto debe cumplir con requisitos determinados de resistencia, ya que entre las materias primas la conexión entre cemento y resistencia es más compleja e importante en comparación con

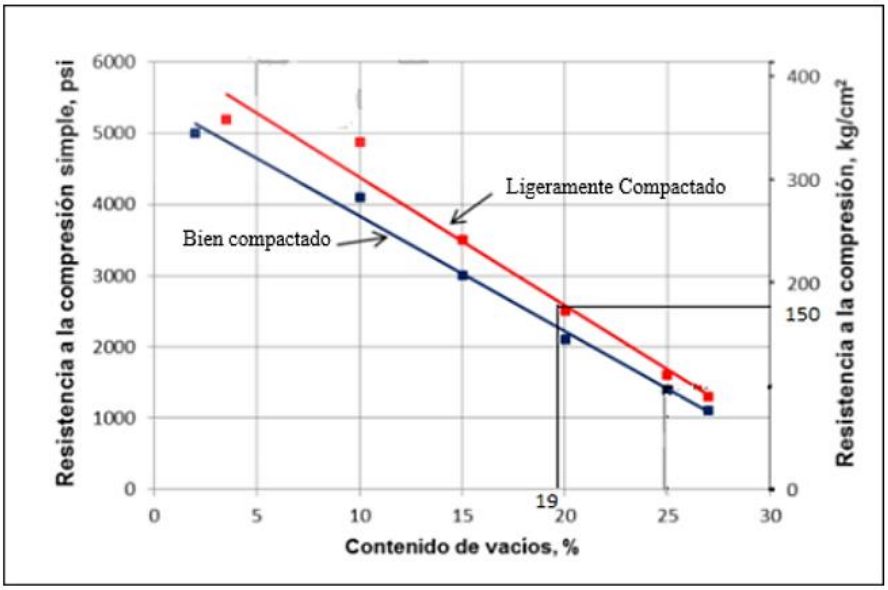
otras materias primas como los agregados toda vez que los productos de hidratación del cemento están directamente relacionados con la resistencia (Ashwini, 2023).

Para Carranza et al. (2021), esta característica es una de las medidas más comunes para medir el desempeño que presenta el concreto que determina el comportamiento de la infraestructura frente a factores mecánicos del ambiente. Mientras que de acuerdo a Yoctun y Jaramillo (2023), la definieron como aquella capacidad de soporte de carga por unidad de área, que es expresado en km/cm2 -MPa.

El ACI 522R-10 (2010) indica que el hormigón permeable puede soportar f´c parcialmente altas, solo si se reduce el contenido de vacíos, lo que también reduce la capacidad de infiltración. El uso de áridos de gran tamaño disminuye la resistencia, y la adición de polímeros y aditivos minerales ayuda a aumentarla. Esto significa que el tamaño del agregado también afecta la f´c. Para el crecimiento de la f´c y la estructura de vacíos, la proporción (a/c) del diseño del hormigón permeable es crucial. Cuando se usa una proporción alta de agua a cemento, la pasta puede fluir a través del agregado y llenar los vacíos; sin embargo, una relación agua-cemento baja puede resultar en una inadecuada compactación entre los materiales y problemas de colocación. La evolución de la f´c y la estructura de vacíos están influenciados por el contenido de material cementoso de la mezcla del concreto permeable. Cuando se agrega demasiada pasta a la mezcla, los huecos en el concreto pueden bloquearse, lo que reduce los vacíos del material. Una menor proporción de contenido de pasta logra debilitar la f´c y disminuir la cobertura de los agregados. Los diámetros del agregado tienen un impacto significativo en la cantidad ideal de pasta de material cementoso. Tanto la porosidad como la f´c de la mezcla de concreto permeable se ven afectadas por el uso de agregados finos. La Figura 1 ilustra cómo el uso de un agregado grueso con un tamaño más pequeño y un menor contenido de vacíos permitiría una mayor f´c.

Figura 1

Contenido de vacíos y f´c a los 28 días para el agregado de tamaño Nª.67 y Nª.8.



Nota. ACI 522R-10 – Reporte sobre Concreto Permeable – Instituto Americano del Concreto (ACI), 2010.

Figura 2

Resistencia mínima en pavimentos

Elemento / Tipo de Pavimento		Aceras o Veredas	Pasajes Peatonales	Ciclovías
Sub-rasante		95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar		
		Espesor compactado: ≥ 150 mm		
Base		CBR ≥ 30 %		CBR ≥ 60%
Espesor de la capa de rodadura	Asfaltico	≥ 30 mm		
	Concreto de cemento Portland	≥ 100 mm		
	Adoquines	≥ 40 mm (Se deberán apoyar sobre una cama de arena fina , de espesor comprendido entre 25 y 40 mm)		
Material	Asfaltico	Concreto asfáltico*		
	Concreto de cemento Portland	$f'_c \geq 17{,}5$ MPa (175 kg/cm^2)		
	Adoquines	$f'_c \geq 32$ MPa (320 kg/cm^2)		N.R. **

Nota. Recuperada de la Norma CE.010 – Pavimentos Urbanos, Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), 2010.

La norma CE.010 indica que los pavimentos deben tener una f´c al menos de 175 kg/cm^2 ya que, a la fecha no se cuenta con una estandarización en cuanto a la resistencia a compresión (Cruz y Arana, 2021). Para el cálculo se emplea la siguiente fórmula que expresa los resultados en kg/cm^2.

$$f'c = \frac{Carga\ máxima\ aplicada}{Área\ de\ la\ probeta}$$

2.2.4. Resistencia a la Flexión

De acuerdo a (Llerena y Ticlla, 2020), mide la resistencia que el concreto presenta frente a la atracción que se expresa como MR o módulo de rotura, mientras que Carrillo et al., (2020) corresponde a la capacidad de soporte que presenta el material concreto frente a la influencia de fuerzas perpendiculares al eje.

La tensión máxima que el hormigón puede soportar cuando se tira hacia abajo se conoce como módulo de ruptura. Se calcula aplicando cargas puntuales a una viga de medidas conocidas y registrando la cantidad de fuerza que la viga puede soportar antes de romperse. Según ACI 522R-10 (2010), para hallar cuál es la proporción entre la f´c y la resistencia a flexión se realizan pruebas de laboratorio (Llerena y Ticlla, 2020), en tanto en este caso, la prueba realizada fue ceñida a las NTP 330.078.

El estudio de las propiedades mecánicas del hormigón comprende un diseño estructural, ya que el conocimiento estas características es necesario para determinar la flexión de un miembro estructural, la relación tensión-deformación, las pérdidas de fuerza de pretensado, el ancho de fisura, así como las tensiones inducidas por deformaciones asociadas con efectos ambientales (Domagala y Sieja, 2023).

De acuerdo a la Norma NTP 339.078, si se identifica falla en el tercio central, el cálculo de módulo de rotura se debe hallar de la siguiente manera:

$$Módulo\ de\ Rotura\ (\frac{kg}{cm^2}) = \frac{Carga\ máxima\ de\ rotura\ (kg)\ \times Luz\ libre\ entre\ apoyos\ (cm)}{Ancho\ promedio\ de\ la\ viga\ en\ la\ sección\ de\ falla\ (cm) \times\ altura\ promedio\ de\ la\ viga\ en\ la\ sección\ de\ falla(cm)^2}$$

Según la Norma NTP 339.078 si la falla se da fuera del tercio medio, el módulo de rotura se halla de la siguiente manera:

$$Módulo\ de\ Rotura\ (\frac{kg}{cm^2}) = \frac{3\ Carga\ máxima\ de\ rotura\ (kg)\ \times Distancia\ entre\ la\ línea\ de\ fala\ y\ el\ apoyo\ más\ cercano(cm)}{Ancho\ promedio\ de\ la\ viga\ en\ la\ sección\ de\ falla\ (cm) \times\ altura\ promedio\ de\ la\ viga\ en\ la\ sección\ de\ falla(cm)^2}$$

Figura 3

Módulo de rotura mínima según la Norma CE.010 igual o superior a 34 kg/cm² para pavimentos.

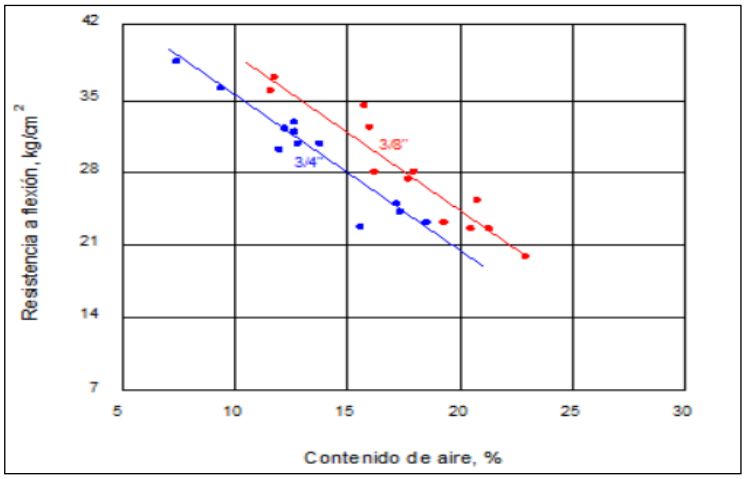
Elemento \ Tipo de Pavimento		Flexible	Rígido	Adoquines
Sub-rasante		95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar		
		Espesor compactado: ≥ 250 mm – Vías locales y colectoras ≥ 300 mm – Vías arteriales y expresas		
Sub-base		CBR ≥ 40 % 100% Compactación Proctor Modificado	CBR ≥ 30 % 100% compactación Proctor Modificado	
Base		CBR ≥ 80 % 100% Compactación Proctor Modificado	N.A.*	CBR ≥ 80% 100% compactación Proctor Modificado
Imprimación/capa de apoyo		Penetración de la Imprimación ≥ 5 mm	N.A.*	Cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40 mm.
Espesor de la capa de rodadura	Vías locales	≥ 50 mm	≥ 150 mm	≥ 60 mm
	Vías colectoras	≥ 60 mm		≥ 80 mm
	Vías arteriales	≥ 70 mm		NR**
	Vías expresas	≥ 80 mm	≥ 200 mm	NR**
Material	Vías locales Vías colectoras Vías arteriales Vías expresas	Concreto asfáltico ***	MR ≥ 3,4 MPa (34 kg/cm²)	f'_c ≥ 38 MPa (380 kg/cm²)

Nota. Recuperada de la “Norma CE.010 – Pavimentos Urbanos”, Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), 2010.

A partir de la figura 3 se logra evidenciar que, un menor contenido de vacíos adicionado al uso de menor tamaño del agregado grueso permite una mayor resistencia a la compresión y flexión.

Figura 4

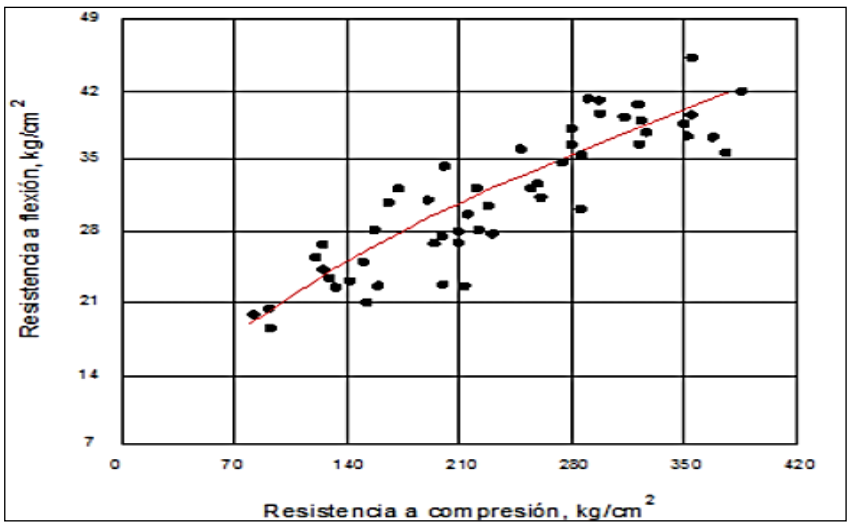
Relación de resistencia a la flexión del concreto y contenido de aire.



Nota. ACI 522R-10 – Reporte sobre Concreto Permeable – Instituto Americano del Concreto (ACI), 2010.

Figura 5

Relación entre la resistencia a flexión y la resistencia a compresión para el concreto permeable.



Nota. ACI 522R-10 – Reporte sobre Concreto Permeable – Instituto Americano del Concreto (ACI), 2010.

2.2.5. Aguas Pluviales

Son aguas de escorrentía que resultan de la lluvia, las cuales pueden llevar a su paso contaminantes, suciedad y sustancias químicas al fluir superficialmente sobre el suelo o

cualquier otra superficie, es un recurso hídrico que se obtiene a partir de la precipitación, muchas veces estas aguas son captadas para su tratamiento y ser posibilitado para el consumo humano, así como para el empleo en la agricultura, en las zonas urbanas, a diferencia de la zona rural, la absorción de estas aguas por la superficie es mucho más tardada (Torres et al., 2018).

2.2.6. Capacidad de infiltración

Es el nivel de agua pluvial que el concreto permeable puede dejar pasar por medio de sí mismo en las bermas, este así mismo dependerá de sus propiedades físicas y mecánicas (Torres et al., 2018).

2.3. Marco conceptual

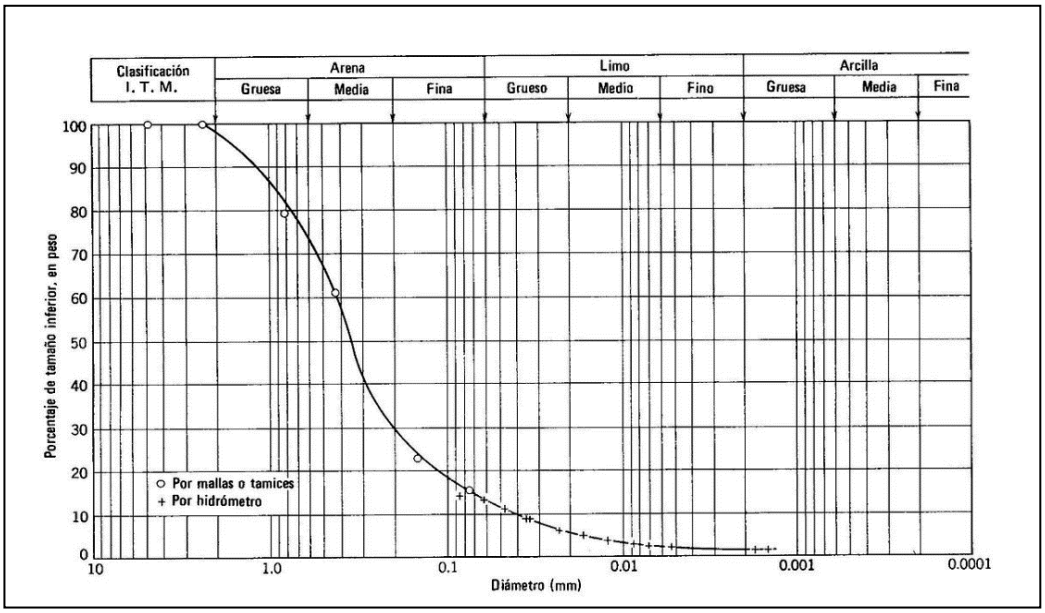
2.3.1. Granulometría

Para Toirac (2012), se entenderá todo análisis manual o mecánico mediante el cual los agregados pueden separarse por tamaños, de modo que se pueda determinar el peso de cada tamaño en relación con el peso total. En la separación por tamaños se utiliza rejillas con diferentes diámetros que dan el tamaño máximo de agregado en cada rejilla. En la realización del ensayo, el peso de cada diámetro de agregado fue expresados en porcentajes considerando a aquellas partículas que se quedaron en las mallas, porcentajes que fueron calculados de manera parcial.

Comprende una de las propiedades físicas que presentan los agregados que se utilizan en la industria de la construcción civil, que responde a la distribución porcentual del agregado, mostrando no solo el tamaño máximo, sino que también el módulo de finura, características que afectan en el diseño, eficiencia y capacidad de las mezclas (Toirac, 2012). La granulometría se define como la distribución en porcentaje de los diferentes diámetros del agregado, basada en las normas ASTM C 136 – 01 y ASTM C 117 – 95. La curva granulométrica es la representación gráfica que recrea el ensayo granulométrico a fin de identificar el diámetro de los agregados.

Figura 6

Gráfica Granulométrica



Nota. Toirac (2012)

Figura 7

Porcentaje que pasa por los tamices normalizados

HUSO	TAMAÑO MAXIMO MONIMAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100 mm (4 in.)	90 mm (3 ½ in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2 1/2 in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1 ½ in.)	25 mm (1 in.)	19 mm (3/4 in.)	12.5 mm (1/2 in.)	9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300 µm (N° 50)
1	90 mm a 37.5 mm (3 1/2 a 1 ½ in.)	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37.5 mm (2 1/2 a 1 1/2 in.)	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25 mm (2 a 1 in.)	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
357	50 mm a 4.75 mm (2 in. a N° 4)	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-	-
4	37.5 mm a 9 mm (1 1/2 a 3/4 in.)	-	-	-	-	100	95 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
467	37.5 mm a 4.75 mm (1 1/2 in. a N° 4)	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	-
5	25 mm a 12.5 mm (1 a 1/2 in.)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
56	25 mm a 9.5 mm (1 a 3/8 in.)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	-
57	25 mm a 4.75 mm (1 in. a N° 4)	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	-
6	19 mm a 9.5 mm (3/4 a 3/8 in.)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	-
67	19 mm a 4.75 mm (3/4 in. a N° 4)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
7	12.5 mm a 4.75 mm (1/2 in. a N° 4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-
8	9.5 mm a 2.56 mm (3/8 in. a N° 8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	-
89	9.5 mm a 1.18 mm (3/8 in. a N° 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 mm a 1.18 mm (N° 4 a N° 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Nota. Toirac (2012)

2.3.2. Módulo de finura

Según Toirac (2012), se define como la sumatoria total de los porcentajes de retención acumulados en una serie normalizada de mallas dividida por 100. Este valor aumenta a medida que el agregado contiene partículas más gruesas y disminuye a medida que disminuye su tamaño de partícula. El módulo de finura de la materia mineral fina no debe ser inferior a 2,3 ni superior a 3,1.

Según Toirac (2012) es la suma total de los porcentajes retenidos y dividido entre 100.

$$MF = \frac{\%\ retenido\ acumulado}{100}$$

2.3.3. Curado

Según ACI 522.1-13 para que el pavimento de hormigón permeable construido funcione y dure con el tiempo, se debe retener la humedad. La humedad puede evaporarse rápidamente de la mezcla debido a los espacios vacíos que se encuentran y al bajo porcentaje de agua en la mezcla, especialmente en condiciones de baja humedad o viento. Las mantas de polietileno deben usarse 20 minutos posteriores al vaciado del concreto durante el período de curado de 7 días (Muñoz et al., 2022).

En condiciones promedio, el concreto tarda de 24 a 48 horas en endurecerse lo suficiente como para caminar sobre él, una semana en soportar el peso de los vehículos y 28 días en curarse por completo. Esto supone que el concreto tiene una proporción agua-cemento de 0.5 y que es un agradable día de 70°F con 50% de humedad relativa. (Muñoz et al., 2022).

2.3.4. Agregado

Es el componente necesario para la fabricación del hormigón que se deriva de la trituración de rocas, sea por un proceso natural o artificial y se clasifica principalmente por el

tamaño, determinándose como agregado grueso y fino, por lo que es empleado en la construcción de asfalto y bases hidráulicas considerando que los agregados grandes o gruesos, crean una superficie de mayor permeabilidad (Muñoz et al., 2022).

Para crear un hormigón poroso, los agregados redondeados y triturados, tanto regulares como livianos, deben estar dentro de lo reglamentado en las normas ASTM D448 y C33, en el caso de hormigón poroso es recomendable que el uso de los agregados finos se evite, ya que por su tamaño tienden a reducir el sistema de vacíos. Los estacionamientos, los pavimentos de tráfico ligero y las aceras se han construido recientemente con concreto permeable. Los tamaños de agregados más pequeños se utilizan típicamente para estas aplicaciones por razones estéticas. Tamaño 89 de ASTM C33 (3/4" a No. En Florida, estacionamientos y pasarelas s han utilizado principalmente agregado grueso durante más de 20 años (Tennis et al., 2004).

2.3.5. Cemento

Material que es extraído u obtenido a partir de la pulverización, generalmente, de piedras que cumplen ciertas características que permite que el material cuente con capacidad compactante que al entrar en contacto con el agua y otros aditivos se crea una mezcla sólida y, por lo general, duradera. Las especificaciones sugeridas en la normativa ASTM C 150, C 595 o C 1157, son cumplidas en su totalidad por el cemento Portland, que a la vez es el de uso común en la industria de la construcción, según la norma ASTM C 1157 Tipo GU en sacos de 42,5 kg, más cemento producirá un resistente concreto, pero un exceso de cemento reducirá la cantidad de poros conectados en el concreto, reduciendo su porcentaje de infiltración (Tennis et al., 2004).

2.3.6. Aditivo superplastificante

Son componentes químicos que son empleados como parte de potenciar las capacidades que de por sí presenta el concreto, sin embargo, estos aditivos plastificados incrementan la manejabilidad de las mezclas del concreto, nos permiten cambiar la

composición del hormigón, optimizarlo y al mismo tiempo ajustar las propiedades del material a nuestras necesidades de fluidez, transporte, resistencia, etc. (Cecel et al., 2019).

2.3.7. Relación agua-cemento (a/c)

Las características de la combinación son notablemente influenciadas por la medida de agua empleada. Una masa suelta con escasa robustez será el resultado de la utilización de agua insuficiente, una abundancia de agua generará una mezcla que colma los intersticios de la masa y que arrastra el cemento, descubriendo el agregado y provocando una resistencia superficial al desgaste disminuida. Una masa de cemento excepcionalmente saturada de humedad y sumamente viscosa se gesta en hormigón permeable cuando la cantidad de agua es la adecuada. (Pérez y Flores, 2019).

2.3.8. Relación agregado-cemento

La vinculación típica agregado-concreto cambia de 4:1 a 4:5, pero el tipo de agregado es en gran parte responsable de las cualidades de durabilidad capacidad de carga y permeabilidad deben ser satisfechas tanto por la relación árido-cemento como por la relación agua-cemento (Pérez y Flores, 2019).

2.3.9. Evacuación de agua pluvial

Los entramados de evacuación pluvial representan un sistema de infraestructura ideado para evitar inundaciones al canalizar las aguas pluviales hacia áreas idóneas para su eliminación. (ITRAE Desarrollos Urbanísticos SL, 2023).

2.3.10. Bermas

Es la sección de la infraestructura vial concebida para proporcionar un soporte lateral apropiado a la carretera y evitar el desgaste de los bordes. Además, facilita el paso de peatones, permite detenciones temporales de animales y brinda espacio para estacionar carros en situaciones de emergencia. (MEF, 2023).

- ***Bermas de concreto***

Se componen de igual manera al pavimento rígido en su diseñado, manteniendo los mismos componentes estructurales (MTC, 2013).

Según la N.T. de Edificación CE.010 Pavimentos Urbanos el MR en pavimentos rígidos debe de ser >= a 34 kg/cm^2 y el f´c >= a 175 kg/cm^2.

2.3.11. Porosidad

La porosidad del concreto endurecido indica el nivel de vacíos o poros presentes dentro de su estructura interna. Los elementos que afectan esta porosidad incluyen la proporción de agua/cemento, la respuesta del cemento al agua, conocida como hidratación, la presencia de aire atrapado y la proporción de agregado fino y grueso. (Cruz y Arana, 2021).

2.3.12. Permeabilidad

De acuerdo a Ascon et al., (2023), el concreto cuenta con esta propiedad a fin de facilitar el flujo de agentes líquidos que se relaciona con la velocidad de deterioro y solidificación, la relación de agua y cemento es fundamental. Los suelos permeables representan una opción extendida para el manejo de aguas pluviales; las zonas porosas en los pavimentos facilitan la infiltración del agua hacia las capas subterráneas, mitigando el escurrimiento superficial. No obstante, es habitual que agentes obstruyan los vacíos, reduciendo así tanto la porosidad como la permeabilidad del sistema pavimentado.

De acuerdo con el estándar ACI 522R-10, la permeabilidad se puede determinar mediante el permeámetro de carga variable, empleando la siguiente fórmula:

Coeficiente de permeabilidad:

$$K = \frac{L \times a}{t \times A} \times ln\left(\frac{h1}{h2}\right)$$

Donde:

• K: Factor de permeabilidad (cm/s)

• t: Intervalo de tiempo de transición de h1 a h2 (s)

• L: Extensión de la probeta (cm)

• a: Superficie de la tubería de carga (cm2)

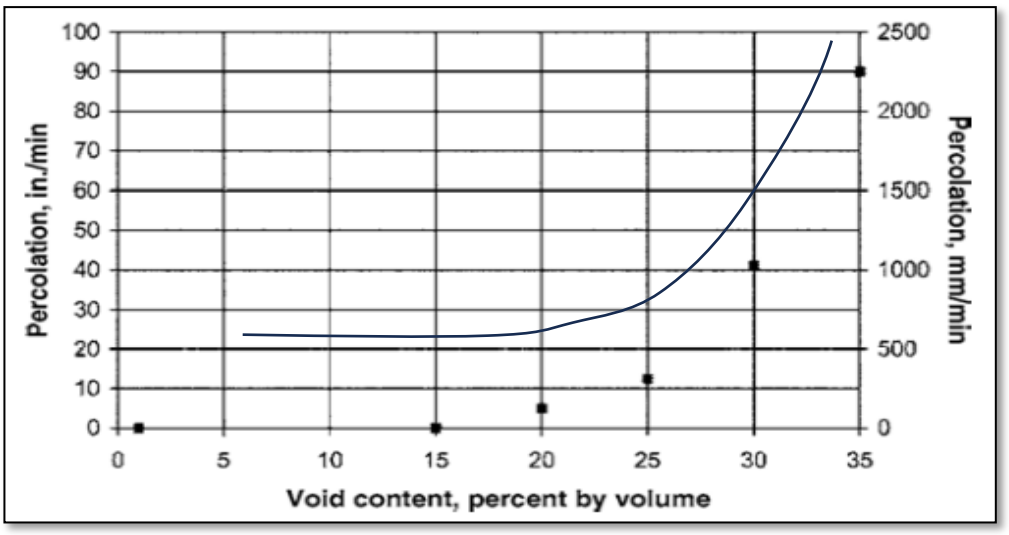
• A: Superficie de la muestra (cm2)

• h1: Nivel inicial de carga superior antes del drenaje (cm)

• h2: Nivel final de carga superior después del drenaje (cm)

Figura 8

Proporción entre permeabilidad y el contenido de vacíos



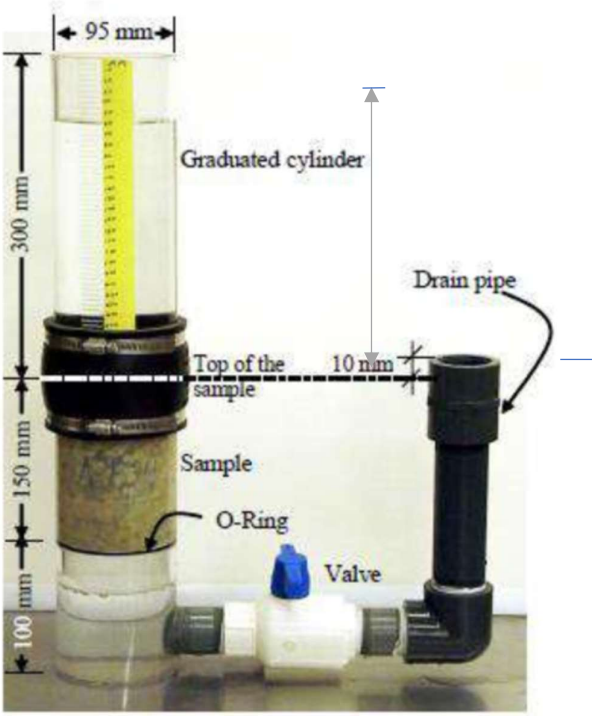
Nota. Recuperada de “ACI 522R-10 – Reporte sobre Concreto Permeable”, Instituto Americano del Concreto (ACI), 2010.

2.3.13. Permeámetro de carga variable

La operación de cuantificación de la porosidad en un hidrómetro de carga oscilante involucra la utilización de una presión hidráulica que cambia en el transcurso del tiempo, y esta presión se mantiene inmutable en un grado predeterminado durante el experimento. Al paso que la presión hidráulica fluctúa y se asienta en el grado deseado, se registra la corriente de agua a través de la muestra de terreno en función del tiempo. Los registros de corriente y tiempo se emplean para calcular la porosidad del terreno (Bárcena y Hurtado, 2011).

Figura 9

Permeámetro de carga variable



Nota. Elaboración propia

El permeámetro de carga variable es un dispositivo especializado en la medición de la permeabilidad del suelo bajo condiciones de carga variable. Este instrumento es especialmente útil en estudios geotécnicos y de ingeniería civil donde la permeabilidad del suelo puede cambiar en función de la carga aplicada (Bárcena y Hurtado, 2011).

El funcionamiento consiste en colocar una muestra de suelo en una cámara del permeámetro. La muestra puede ser una columna o un cilindro de suelo que representa las condiciones del terreno que se está estudiando. El permeámetro está diseñado para aplicar una carga controlada sobre la muestra de suelo, esta carga puede variar durante el ensayo para simular diferentes condiciones de estrés a las que el suelo podría estar sometido en el campo (Bárcena y Hurtado, 2011).

Para medir el flujo se introduce agua en la muestra a una tasa controlada. A medida que la carga aplicada cambia, se mide la tasa de flujo del agua a través del suelo.

Los datos obtenidos se utilizan para calcular la permeabilidad del suelo en función de la carga aplicada. Esto proporciona una visión más detallada de cómo el suelo podría comportarse bajo condiciones de carga reales.

Asimismo, se puede aplicar en el diseño de fundaciones ya que permite a los ingenieros determinar cómo el suelo debajo de una fundación se comportará bajo la carga de una estructura; en la evaluación de presas, ya que ayuda a entender cómo el suelo alrededor de una presa puede afectar el flujo de agua y la estabilidad de la estructura y la investigación de suelos, ya que proporciona datos cruciales para estudios de ingeniería geotécnica y de construcción (Bárcena y Hurtado, 2011).

Ofrece una simulación precisa de las condiciones de carga que el suelo podría experimentar en el campo, así como datos específicos y detallados sobre la permeabilidad del suelo bajo diferentes condiciones de carga, lo que es vital para un diseño seguro y eficiente. Sin embargo, puede ser más complejo y costoso en comparación con otros métodos de medición de permeabilidad y el equipo puede necesitar calibración y mantenimiento regular para asegurar resultados precisos (Bárcena y Hurtado, 2011).

Según Bárcena y Hurtado (2011), para medir la permeabilidad del suelo bajo diferentes condiciones de carga de manera económica, se puede construir un permeámetro de carga variable casero, teniendo en cuenta los siguiente:

Cámara para la Muestra de Suelo:

- Un cilindro de PVC o un tubo de acrílico transparente (aproximadamente 10-20 cm de diámetro y 30-40 cm de altura).
- Rejilla o malla fina para colocar en el fondo del cilindro y evitar que el suelo se escape.

Sistema de Aplicación de Carga:

- Pesas (pueden ser de metal o incluso sacos de arena) para aplicar la carga sobre el suelo.
- Un soporte para colocar las pesas de manera controlada (por ejemplo, una plataforma con un mecanismo de ajuste).

Sistema de Entrada y Salida de Agua:

- Tubos de plástico para introducir el agua en la muestra y para la salida del agua.
- Válvulas o grifos para controlar el flujo de agua y medir el caudal.

Medidores:

- Un medidor de presión (puede ser un manómetro básico) para medir la presión del agua en la muestra.
- Un recipiente graduado para medir el caudal de agua que pasa a través del suelo.

Materiales de Montaje:

- Sellador para asegurar que no haya fugas de agua.
- Abrazaderas y tornillos para montar los componentes.
- Pasos para Construir el Permeámetro

Preparación de la Cámara:

- Colocar la malla en el fondo del cilindro para evitar que el suelo se escape.

- Asegurar que el cilindro esté sellado adecuadamente con el sellador para evitar fugas.

Instalación del Sistema de Agua:

- Conectar un tubo a la parte superior del cilindro para introducir el agua. Asegurarse de que este tubo esté sellado.
- Colocar un tubo de salida en la parte inferior del cilindro. Este tubo permitirá que el agua fluya fuera de la muestra.

Montaje del Sistema de Carga:

- Colocar el cilindro sobre una plataforma que permita la colocación de pesas en la parte superior del cilindro.
- Ajustar el mecanismo para que las pesas se puedan aplicar de manera uniforme y controlada sobre la muestra de suelo.

Instalación del Medidor de Presión:

- Conectar un manómetro a un punto del tubo de entrada o salida para medir la presión del agua en la muestra.

Calibración y Pruebas Iniciales:

- Llenar el cilindro con una muestra de suelo y asegúrate de que esté bien compactada.
- Introducir agua en la muestra y ajusta el flujo utilizando las válvulas.
- Aplicar una carga conocida y medir el caudal del agua a través del suelo.
- Registrar las lecturas del manómetro para evaluar la presión en diferentes niveles de carga.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

El diseño de concreto permeable influye notablemente en la optimización de la evacuación de agua pluvial en las bermas de la ciudad de Abancay 2023.

3.1.2. Hipótesis específica

H1: La densidad y contenidos de vacíos favorecen en la optimización de la evacuación de agua pluvial en las bermas de la ciudad de Abancay 2023.

H2: La resistencia a la compresión favorece en la optimización de la evacuación de agua pluvial en las bermas de la ciudad de Abancay 2023.

H3: La resistencia a la flexión favorece en la optimización de la evacuación de agua pluvial en las bermas de la ciudad de Abancay 2023.

3.2. Método

Este estudio sigue un enfoque de deducción, según Pimienta y Orden (2017), quienes describen la deducción como un método que facilita la organización del razonamiento mediante el cual se extrae una conclusión a partir de una o varias premisas. En este caso, se detallan los procedimientos de diseño y elaboración del hormigón permeable en sus variadas proporciones de vacíos con el fin de mejorar la filtración del escurrimiento pluvial

El enfoque fue cuantitativo, ya que en la tesis se recogió información numérica objetiva.

Es importante contar con evidencia, ya sea de forma irregular o segregada, pero ilustrativa que sea de un objeto de revisión, y el examen cuantitativo incluye la recopilación de hipótesis previas a la luz de teorías que surgen de fenómenos similares (Tamayo, 2007).

3.3. Tipo de investigación

La indagacion es de tipo aplicada, según Pimienta y Orden (2017), en este tipo de investigación se empleó conocimientos sociales y científicos en beneficio común y social (p. 9)

3.4. Nivel o alcance de investigación

Entendió el grado explicativo debido a que tuvo como finalidad establecer una relación causal y proporcionar una exposición minuciosa de los motivos de la variable autónoma en relación con la variable condicionada (Pimienta y Orden (2017).

3.5. Diseño de la investigación

Se utilizó el esquema experimental, dado que se llevaron a cabo pruebas en las que se efectuó la manipulación premeditada del material agregado para identificar y valorar sus repercusiones en el desempeño del elemento condicionado. (Hernández, 2018).

3.6. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

"*Concreto permeable para la evacuación de agua pluvial en las bermas de la ciudad de Abancay 2023"*

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable independiente Concreto permeable	Según el ACI 522R-10 (2010) describe al concreto permeable, como: una mezcla de agua, aditivos, cemento Portland, agregado grueso, poco o nada de finos y cemento Portland destinado a producir concreto de asentamiento cero.	Espacio de un cuerpo solido donde queda vicio puede ser de forma natural o artificial.	Densidad y contenido de vacíos	Contenido de vacíos del concreto en estado seco	2.2.2.	g/cm^3
		Se define como la capacidad de soportar una carga por unidad de área.	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)	Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días.	2.2.3.	Kg/cm^2
		La resistencia a flexión es la capacidad de un material de soportar fuerzas aplicadas perpendicularmente a su eje longitudinal.	Resistencia a la flexión (kg/cm^2)	Resistencia a la flexión a los 7, 14 y 28 días.	2.2.4	Kg/cm^2
Variable dependiente Evacuación de agua pluvial	Son aguas de escorrentía que resultan de la lluvia, las cuales pueden llevar a su paso contaminantes, suciedad y sustancias químicas al fluir superficialmente sobre el suelo o cualquier otra superficie (Torres et al., 2018).	Es el nivel máximo de agua que el concreto permeable puede absorber en las bermas, este así mismo dependerá de sus propiedades físicas y mecánicas.	Capacidad de infiltración	Velocidad de infiltración	2.2.6.	Cm/s

Nota: Elaboración propia

3.7. Población, muestra y muestreo

3.7.1. Población

Comprendida por el grupo de entes o unidades que tienden a ser examinadas y observadas a fin de identificar un comportamiento común que permita determinar características englobadoras (Bravo, 1998, p.179).

En tal sentido, la población estuvo representada por las bermas de concreto de la localidad de Abancay, en el cual se realizó estudios de diseños de pavimento permeable como solución al manejo de acumulación de aguas pluviales.

3.7.2. Muestra

Definido como el sub grupo extraído del apartado previo, cuya cantidad es determinada a través de pruebas probabilísticas o no probabilísticas. La muestra de esta tesis es de naturaleza no probabilística ya que se eligió en base a las cualidades de la investigación y la intención del investigador (Hernández et al, 2018).

La muestra contuvo 24 probetas para la prueba de f´c y 24 para el testeo de resistencia flexivo, cada ensayo se compone de 6 probetas de concreto patrón, 6 con 15% de vacíos, 6 con 18% de vacíos y 6 con 20% de vacíos respectivamente, las cuales también fueron sometidas al ensayo de infiltración.

3.7.3. Muestreo

La colecta de data de esta disertación es de carácter no aleatorio. Según Hernández et al. (2018), los muestreos no aleatorios son métodos de elección en los cuales no se precisa la aplicación de cálculos matemáticos sino la discreción del investigador.

3.8. Técnicas e instrumentos

3.8.1. Técnica

La investigación de campo, las percepciones sobre el manejo de la información, los componentes para la recolección de datos y el examen con las estrategias adecuadas de ordenamiento de la información fueron las estrategias utilizadas en esta investigación. Cada

estrategia tiene sus propios dispositivos, lo que sugiere que se usaron, y las estrategias de investigación se realizó de acuerdo con el tipo de examen (Rivero, 2017).

3.8.2. Instrumentos

La intervención del experto es un bien tangible para que registre datos o información sobre los factores del examen con los que realmente querrá responder a la pregunta de investigación. Estas herramientas de estimación deben ser válidas y confiables, asegurando la exactitud de los datos. La naturaleza de la información determinó el valor y la importancia del examen de la información y los fines (Rivero, 2017).

Los instrumentos utilizados en el presente informe de investigación son:

Laboratorio de tecnología del concreto.

Normas técnicas ACI y ASTM.

Fichas técnicas relacionadas al objeto de estudio.

3.9. Consideraciones éticas

En esta tesis se respeta la propiedad intelectual de los investigadores, por lo cual se citó a cada uno de los autores de los cuales se empleó su información. Asimismo, se asegura la veracidad de los resultados obtenidos.

3.10. Procedimiento estadístico

En esta tesis, para la evaluación de las hipótesis se utilizó la técnica de Análisis de Variabilidad (ANOVA), dado que, conforme a Hurtado y Silvente (2012), este procedimiento se emplea para cotejar los promedios de tres o más tratamientos. Además, se aplicó la evaluación estadística de Tukey con el propósito de discernir las discrepancias significativas entre los promedios del hormigón estándar y el hormigón con distintas proporciones de vacíos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Resultados del objetivo específico 1

"Determinar la densidad y contenidos de vacíos del concreto permeable para optimizar la evacuación de agua pluvial en las bermas de la ciudad de Abancay 2023."

Densidad y contenido de vacíos.

Tabla 2

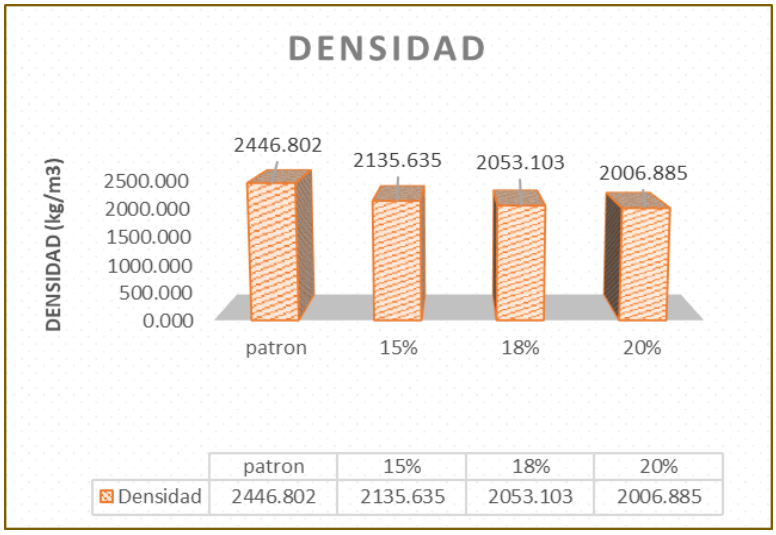
Resumen de densidad en concreto patrón y concreto permeable con porcentajes de 15%, 18% y 20% de vacíos

Densidad (g/cm^3)	C.Patrón	15%	18%	20%
muestra 1	2446.897	2135.446	2053.386	2006.603
muestra 2	2446.708	2135.823	2052.820	2007.168
Promedio	**2446.802**	**2135.635**	**2053.103**	**2006.885**

Nota. Elaboración propia

Figura 10

Barras de densidad en concreto patrón y concreto permeable con porcentajes de 15%, 18% y 20% de vacíos.



Nota. Elaboración propia

Los concretos permeables se diseñan para permitir el paso del agua a través de ellos, y por lo tanto, tienden a tener una densidad menor que el concreto convencional, se determinó que estos resultados del C.P con 15% de vacíos tiene una menor densidad a del concreto patrón, el C.P con 18% de vacíos tiene una mayor porosidad y el C.P con 20% de vacíos tiene una densidad aún menor en comparación con los otros dos lo que lo hace más permeable y, de esta manera facilitando y optimizando la infiltración del agua en el suelo, como en sistemas de drenaje sostenible y evacuación de aguas pluviales.

Tabla 3

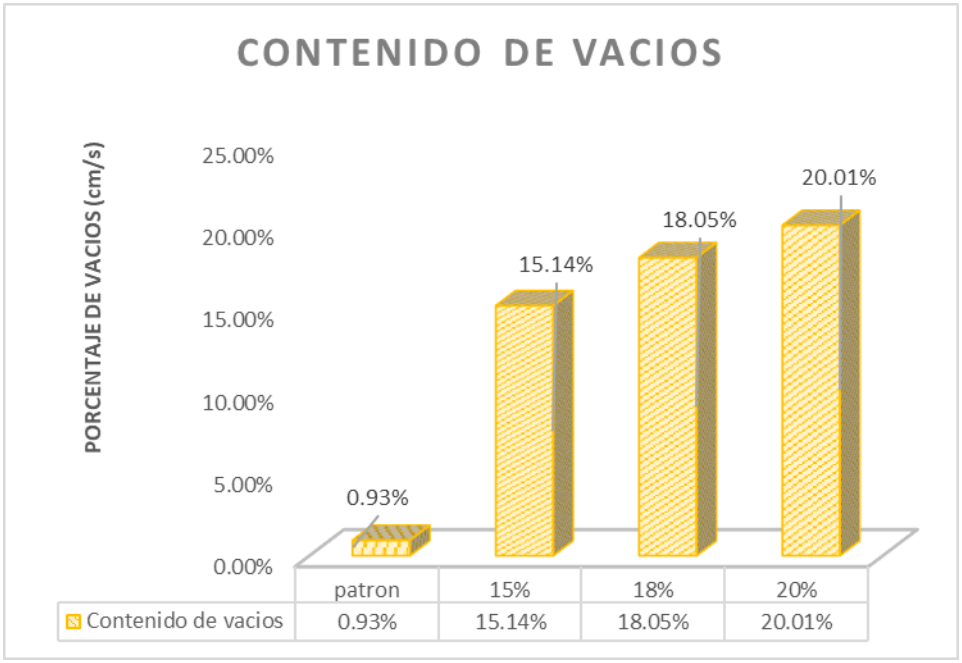
Resumen de contenido de vacíos en concreto patrón y concreto permeable con porcentajes de 15%, 18% y 20% de vacíos.

Contenido de vacíos	C.Patrón	15%	18%	20%
muestra 1	0.92%	15.15%	18.04%	20.02%
muestra 2	0.93%	15.14%	18.06%	20.00%
Promedio	**0.93%**	**15.14%**	**18.05%**	**20.01%**

Nota. Elaboración propia

Figura 11

Barras de los resultados de contenido de vacíos en concreto patrón y concreto permeable con porcentajes de 15%, 18% y 20% de vacíos.



Nota. Elaboración propia

El contenido de vacíos en el concreto es una medida importante y está relacionado con la porosidad del material. Se determinó que el contenido de vacíos del 0.93% indica que el concreto patrón es relativamente denso y tiene pocos vacíos, el C.P con 15% de vacíos indica que el 15.14% del volumen total del concreto está compuesto por poros o vacíos, C.P con 18% de vacíos tiene un contenido de vacíos del 18.05%, lo que indica una mayor porosidad y el C.P con 20% de vacíos, es el concreto permeable más poroso de los tres, con un contenido de vacíos del 20.01% dándonos a entender que un concreto con mayor contenido de vacíos significa una mayor capacidad para permitir el paso del agua a través del concreto. La porosidad es una propiedad clave en aplicaciones donde se busca mejorar

la infiltración del agua, como en pavimentos permeables y estructuras que requieren un drenaje eficiente.

Analizando la infiltración mediante el ensayo de permeabilidad según el método ACI 522 R-10.

Teniendo un contenido de vacíos en la muestra patrón y en el concreto permeable en sus diferentes porcentajes de vacíos analizaremos por medio de esto la permeabilidad del concreto teniendo un parámetro de rango de permeabilidad de 0.20 a 0.54 cm/s.

Tabla 4

Resumen de permeabilidad en concreto patrón y concreto permeable con porcentajes de 15%, 18% y 20% de vacíos.

K	Patrón (cm/s)	15% de vacíos (cm/s)	18% de vacíos (cm/s)	20% de vacíos (cm/s)
Muestra 1	0.052	0.48	0.54	0.58
Muestra 2	0.051	0.48	0.54	0.58
Promedio	0.051	0.48	0.54	0.58

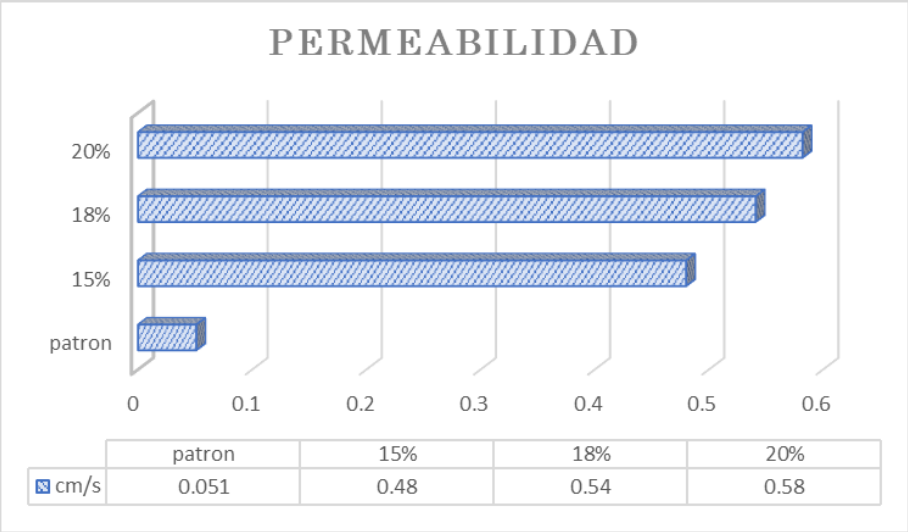
Nota. Elaboración propia

Se determinó que cuanto mayor sea el valor del coeficiente de permeabilidad, mayor será la capacidad del material para permitir el flujo de agua, obteniendo resultados de permeabilidad del concreto patrón es 0.051 cm/s lo cual indica que este valor es relativamente bajo y sugiere que el material tiene una baja capacidad de permitir el flujo de agua el cual puede considerarse como un material con baja permeabilidad, mientras que la permeabilidad de 15%, 18% y 20% de vacíos tienen una permeabilidad de 0.48 cm/s, 0.54 cm/s y 0.58 cm/s dando a entender que el C.P (concreto permeable) con 15% de vacíos tiene una capacidad moderada para permitir el flujo de agua, el C.P con 18% de vacíos tiene una permeabilidad moderada el cual permitirá que el agua fluya a una velocidad intermedia y el C.P con 20% de vacíos indica una alta permeabilidad el cual permitirá un flujo de agua más rápido en

comparación con los casos anteriores por lo tanto los diseños que cumplen con la norma ACI 522 R10 son de 15 % y 18% de vacíos los cuales optimizan una adecuada evacuación de agua pluvial, siendo beneficioso en situaciones donde se requiere un drenaje rápido del agua pluvial para evitar inundaciones o acumulación de agua.

Figura 12

Gráfico de barras de los resultados de permeabilidad en concreto patrón y concreto permeable con porcentajes de 15%, 18% y 20% de vacíos.



Nota. Elaboración propia

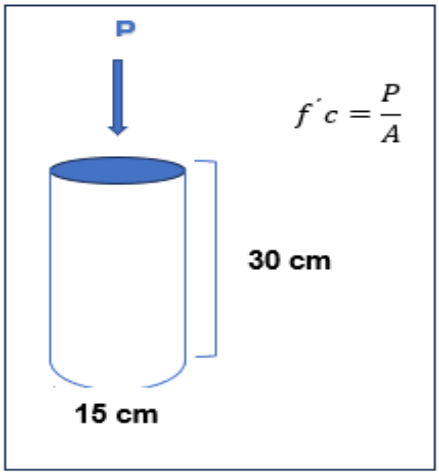
4.1.3. Resultados del objetivo específico 2

"Determinar la resistencia a la compresión del concreto permeable para optimizar la evacuación de agua pluvial en las bermas de la ciudad de Abancay 2023."

Las 24 muestras se analizaron en estado endurecido las cuales fueron sometidas al ensayo de la NTP 339.034, con el propósito de obtener las cargas máximas de las mismas.

Figura 13

Dimensiones de los testigos cilíndricos



Fuente. Elaboración propia

Tabla 5

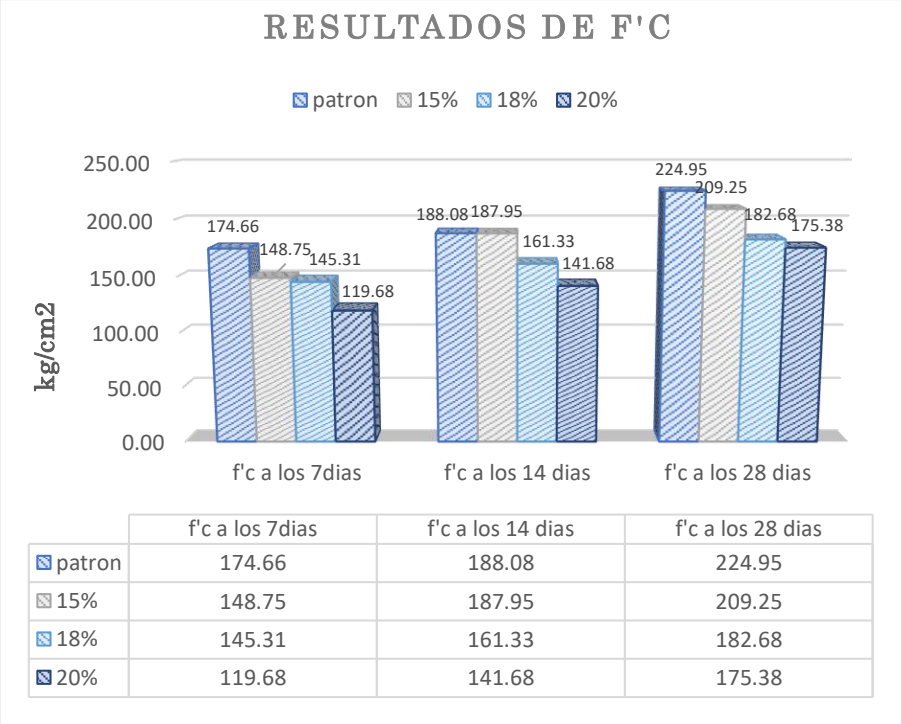
Resumen de resultados de f 'c a los 7,14 y 28 días en concreto patrón y contenidos de vacíos al 15%, 18% y 20%.

	f'c a los 7 días	f'c a los 14 días	f'c a los 28 días
patrón 1	174.90	189.28	224.19
patrón 2	174.41	186.88	225.70
Promedio	174.66	188.08	**224.945**
15% M1	150.29	186.19	210.01
15% M2	147.21	189.70	208.49
Promedio	148.75	187.94	**209.25**
18% M1	143.38	154.2	185.35
18% M2	147.23	168.45	180.00
Promedio	145.31	161.32	**182.675**
20% M1	120.19	142.19	175.80
20% M2	119.17	141.17	174.95
Promedio	119.68	141.68	**175.375**

Nota. Elaboración propia

Figura 14

Barras de resumen de resultados de f ‘c a los 7,14 y 28 días en concreto patrón y contenidos de vacíos al 15%, 18% y 20%.



	f'c a los 7dias	f'c a los 14 dias	f'c a los 28 dias
patron	174.66	188.08	224.95
15%	148.75	187.95	209.25
18%	145.31	161.33	182.68
20%	119.68	141.68	175.38

Nota. Elaboración propia

La aptitud del hormigón para soportar fuerzas de compresión se mide a través de su fortaleza ante la compresión, una medida crucial. Por lo general, esta resistencia tiende a incrementarse con el tiempo de curado, desde 7 hasta 28 días, lo cual es un comportamiento característico del concreto.

El modelo de hormigón exhibe mayor resistencia a la compresión en contraposición a los hormigones permeables con un 15%, 18%, y 20% de espacios vacíos. El hormigón permeable con un 15% de vacíos muestra una resistencia a la compresión de 224.19 kg/cm2, mientras que a medida que aumenta el porcentaje de vacíos en los hormigones permeables al 18% y 20%, sus resistencias a la compresión disminuyen a 210.01 kg/cm2 y 185.35 kg/cm2 respectivamente, en relación con el modelo de hormigón. La capacidad de resistencia a la compresión de los hormigones permeables mejora con el paso del tiempo, lo cual sugiere

que estos materiales tienen el potencial de seguir mejorando y fortaleciéndose con el transcurso del tiempo.

4.1.4. Resultados del objetivo específico 3

"Determinar la resistencia a la flexión del concreto permeable para optimizar la evacuación de agua pluvial en las bermas de la ciudad de Abancay 2023."

Las 24 muestras prismáticas se analizaron en estado endurecido las cuales fueron sometidas a la prensa hidráulica digital según el ensayo de la NTP 339.038, con el propósito de obtener las cargas máximas de las mismas.

Tabla 6

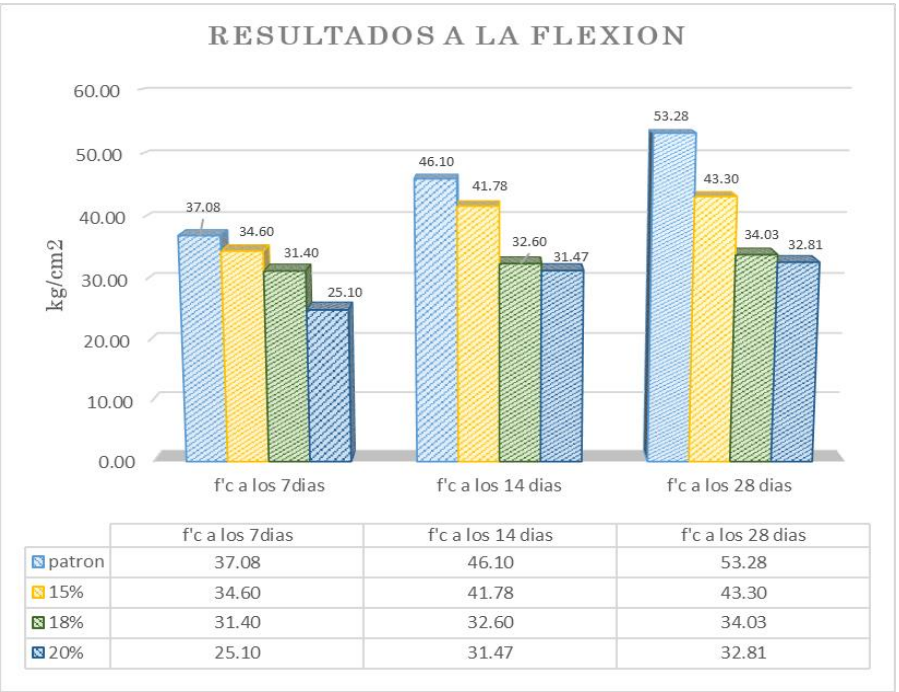
Resumen de resultados del ensayo de resistencia a la flexión a los 7,14 y 28 días en concreto patrón y contenidos de vacíos al 15%, 18% y 20%.

	Resistencia a la flexión a los 7 días	**Resistencia a la flexión a los 14 días**	**Resistencia a la flexión a los 28 días**
patrón 1	36.67	45.37	53.36
patrón 2	37.48	46.83	53.19
Promedio	**37.08**	**46.10**	**53.28**
15% M1	35.47	41.16	43.14
15% M2	33.73	42.40	43.45
Promedio	**34.60**	**41.78**	**43.30**
18% M1	31.22	32.13	34.27
18% M2	31.58	33.07	33.78
Promedio	**31.40**	**32.60**	**34.03**
20% M1	24.87	30.93	32.40
20% M2	25.33	32.00	33.22
Promedio	**25.10**	**31.47**	**32.81**

Nota. Elaboración propia

Figura 15

Barra de resumen de resultados del ensayo de resistencia a la flexión a los 7,14 y 28 días en concreto patrón y contenidos de vacíos al 15%, 18% y 20%.



	f'c a los 7dias	f'c a los 14 dias	f'c a los 28 dias
patron	37.08	46.10	53.28
15%	34.60	41.78	43.30
18%	31.40	32.60	34.03
20%	25.10	31.47	32.81

Nota. Elaboración propia

Los hormigones permeables muestran tendencias hacia resistencias a la flexión más reducidas en contraste con el hormigón estándar, lo que los hace conformes con la Norma CE.010 - Superficies Urbanas. Los diseños de hormigón permeable con un 15% y 18% de espacios vacíos muestran resistencias a la flexión de 43.30 kg/cm2 y 34.03 kg/cm2 respectivamente, mientras que el hormigón con un 20% de vacíos registra una resistencia a la flexión de 32.81 kg/cm2, quedando por debajo de los estándares establecidos en la normativa.

Determinando que el C.P con 15 % y 18% de vacíos pueden ser adecuados para aplicaciones específicas donde la permeabilidad es crucial, como el drenaje de agua pluvial.

4.2 Discusión de resultados

1) Discusión de resultados de hipótesis especifica “h1”

Los resultados de la prueba de densidad y contenido de vacíos son fundamentales para evaluar la calidad del concreto permeable, estos valores se mantienen relativamente constantes a lo largo del tiempo, lo que indica que las características de densidad y porcentaje de vacíos son inherentes a la composición del concreto en los diferentes diseños y no varían significativamente con el tiempo. Además, es importante destacar que los diseños cumplen con los valores dentro del rango de porcentaje de vacíos de 15% a 35% según (American Concrete Institute 2010) para un concreto permeable. Esta variación en el porcentaje de vacíos es esencial para garantizar la permeabilidad del concreto, permitiendo el pase de agua. Los resultados de permeabilidad son coherentes con la variación en el porcentaje de vacíos.

La permeabilidad es un aspecto clave en la funcionalidad de los pavimentos permeables. En esta tesis, tal como se aprecia en la figura 12, el concreto patrón tiene una permeabilidad de 0.051 cm/s, mientras que el concreto con un 15% de vacíos tiene una permeabilidad de 0.48 cm/s, el concreto con 18% de vacíos tiene una permeabilidad de 0.54 cm/s y el concreto con 20% de vacíos tiene una permeabilidad de 0.58 cm/s. Estos valores más altos de permeabilidad en los diseños con porcentajes de vacíos más altos indican una mayor capacidad de drenaje de agua, lo que es un aspecto clave en el concreto permeable para la gestión de aguas pluviales. Los diseños de concreto permeable que cumplen con los valores obtenidos de 15% y 18% de vacíos son los adecuados para un pavimento permeable. Estos valores están dentro del rango de permeabilidad establecido por la norma ACI Standard 522R-10, que es de 0.20 a 0.54 cm/s. Cumplir con este rango es esencial para garantizar una óptima evacuación de agua pluvial en la berma, lo que es un objetivo fundamental en el diseño de pavimentos permeables. Esto demuestra que el diseño del concreto permeable influye significativamente en la optimización de la evacuación de agua pluvial y que se está cumpliendo con la hipótesis específica de la investigación.

Zamboni (2019) a partir de relaciones de agua cal 0,29 y 0,41 y su ligazón existente entre el contenido de huecos, se ejecutaron nueve ponderaciones, con tamaño supremo nominal 3/8” y 3/4” de material desmenuzado y 3/4" la correlación a/c de 0.35 – 0.38 y 0.41 y el porcentaje de vacíos de 15 ,17 y 19 %, con una permeabilidad de 1,31 a 1,98 cm/s, teniendo como óptima opción para un pavimento de cemento poroso el material desmenuzado de 3/8”,15% de huecos y una relación de agua/cal de 0.35, siendo el resultado a la fortaleza a la compresión de 10.92 MPa

Contrariamente a Bartolomé (2018) quien en su disertación en las distintas proporciones de huecos de 10%, 15% y 20% y proporciones de aditivo delicado 0%, 10% y 20%, tiene un abanico de permeabilidad 0.91 cm/s a 0.20 cm/s, teniendo como ejemplar representativo el esquema (10% de huecos y 10% de aditivo delicado), evidenciando que satisface los criterios indicados por la Reglamentación CE. 010 Superficies Urbanas.

Por otro lado, Amoros y Bendezu (2018) quienes tuvieron el objetivo desarrollar una formulación de mezcla para la creación de concreto permeable destinada a su uso en pavimentos. teniendo porcentaje de vacíos de 13% a 17%, permeabilidad de 0.0161 m/s.

León (2018) en cuanto a su metodología su investigación presenta capacidades de absorción de las intensidades promedio de aguas pluviales en el concreto permeable en diferentes relaciones de agua cemento 0.27, 0.28 y 0.34. Teniendo como resultado las capacidades de absorción en un rango de 18.78 l/s – 27.48 l/s por $m^{2,}$ como resultado, se determina que el uso de concreto permeable representa una opción viable para mitigar el escurrimiento superficial en el contexto de pavimentación urbana.

2) Discusión de resultados de hipótesis específica “h2”

Los caminos permeables se diseñaron estableciendo f'c conforme a la Regulación NTP 339. 034. En relación a la evaluación de “firmeza a la compresión”, a partir del esquema N°14 se observa que, en el cemento permeable a los 28 días, los valores para el cemento estándar con 15%, 18% y 20% de espacios vacíos, fueron de 209.25 kg/cm2, 182.68 kg/cm2

y 175.38 kg/cm2 respectivamente. Estas cifras cumplen con la resistencia mínima establecida de 175 kg/cm2 para una superficie.

En su disertación, Laguna y Piedrahita (2017) obtuvieron datos que señalan que las resistencias a la compresión variaron entre 0.02 y 6.11 MPa, mientras que los módulos de ruptura se mantuvieron en el intervalo de 0.13 a 2.73 MPa.

Bartolomé (2018) al tener como referencia los resultados a los 28 días del experimento de compresión, arrojó un rango de 51.30 kg/cm2 a 177.98 kg/cm2, concluyendo que la muestra representativa adecuada fue el esquema 5 (10% de huecos y 10% de componente fino) con resultados de f´c 177.98 kg/cm2.

Amoros y Bendezu (2019) llevaron a cabo el diseño de la mezcla con el objetivo de alcanzar una resistencia de 210 kg/cm^2 utilizando el método ACI 522.R. Se probaron varios diseños de mezcla con una relación agua/cemento de 0.38, un porcentaje de vacíos del 13%, un aditivo superplastificante del 1.5% y un contenido de arena del 7%. Como resultado, se logró una resistencia a la compresión de 283.06 kg/cm^2 en los ensayos.

Chaiña y Villanueva (2017) en su tesis obtuvieron que la dosificación con el contenido de vacíos al 10% y con la mezcla agregado fino alcanzó una mejor durabilidad y resistencia (f'c = 290 Kg/ cm2), por el contrario, la dosificación sin finos de 10 y 15 % de contenido de vacíos registraron menores valores f'c.

3) Discusión de resultados de hipótesis específica "h3"

El análisis específico para la rigidez a la flexión se llevó a cabo conforme a la NTP 339.078, demostrando que a los 28 días el hormigón permeable con un índice de huecos del 15% y del 18%, supera el valor mínimo requerido con cifras de 43.30 kg/cm² y 34.03 kg/cm², respectivamente, cumpliendo con los requisitos de la Normativa CE.010 en el hormigón permeable. En contraste, para el hormigón con un 20% de huecos se registró 32.81 kg/cm² (consultar figura N°15). Esto evidencia que los diseños de hormigón permeable con un índice

de huecos del 15% y del 18% son adecuados para cumplir con los estándares de resistencia a la tracción por flexión necesarios para su aplicación.

Que al ser comparados con los resultados de Bautista (2018) quienes determinaron que para una elaboración optima se debe tomar el "Diseño Nº 5" con un 10% de agregado fino ya que el mayor resultado de la resistencia a la flexión se obtuvo a los veintiocho días de curado, con un valor de 45.07 kg/cm² y la adición del aditivo superplastificante en una proporción del 1.50% del peso del material cementante logra una resistencia a la flexión adecuada.

Y por otro lado Arcos (2022) determina que el diseño con 12% de vacíos y huso 67 a los veintiocho días alcanza una resistencia flexiva de 52.5 kg/cm² la cual es superior a la de 17 y 22% de vacíos.

Esquerre y Silva (2019) los que en su exploración de cemento desaguador de las 11 combinaciones lograron como óptimo producto al examen de flexibilidad a los 28 días de curación fue el trazado de amalgama M11 con 42 kg/cm2, poseyendo 13% de vacíos con un material de ¾" de material grueso y 0.21% de compuesto súper maleable - reducidor de líquido y 0.20% de detentor de endurecimiento.

4.3 Prueba de hipótesis

4.3.1. Prueba estadística para la hipótesis específica 1

La densidad y contenidos de vacíos favorece en la optimización de la evacuación de agua pluvial en las bermas de la ciudad de Abancay 2023.

En base a la data de los testeos de densidad y contenido de vacíos, se estableció como método estadístico el estudio de varianza y testeo estadístico Tukey, obteniendo los siguientes valores.

Densidad (g/cm³)

Tabla 7

Datos del ensayo de densidad (g/cm³) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)

Densidad (g/cm³)	Testigo	15% de vacío	18% de vacío	20% de vacío
M1	2446.9	2135.45	2053.39	2006.6
M2	2446.71	2135.82	2052.82	2007.17
M3	2446.8	2135.63	2053.1	2006.89
Suma	7,340.41	6,406.90	6,159.31	6,020.66
Promedio	2,446.80	2,135.63	2,053.10	2,006.89
Desv. Est.	0.10	0.19	0.29	0.29

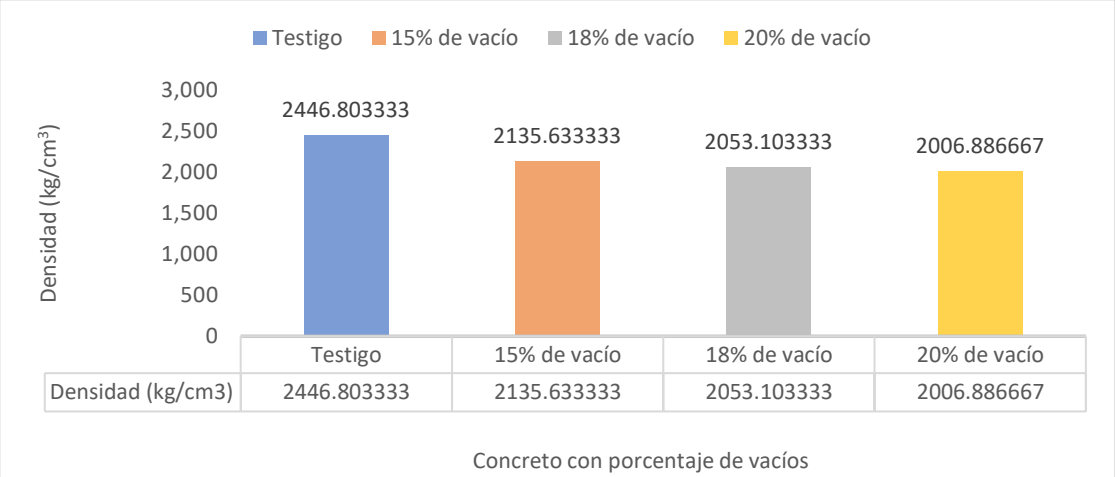
Nota. Elaboración propia

La tabla (7) muestra los datos y los principales estadísticos observados en el ensayo de densidad (g/cm³) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%), en ella se visualiza que el concreto testigo a logrado una densidad (g/cm^3) de 2446.80 g/cm³, mientras que el concreto con el 15% de vacío 2135.63 g/ cm³, luego el concreto con el 18% de vacío 2053.10 g/cm³ y el concreto con el 20% de vacío 2006.89 g/cm³.

La figura (16) muestra gráficamente los promedios de densidad (g/cm³) de la tabla (7).

Figura 16

Promedios de densidad (g/cm³) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)



Nota. Elaboración propia

H_0: Los promedios de densidad (g/cm³) son iguales

Ha: Al menos dos de los promedios son diferentes

Tabla 8

Análisis de varianza de los promedios de densidad (g/cm³) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)

Origen de variaciones	SS	df	MS	F	Valor P	Sig.
Porcentaje de vacío	353,157.01	3	117,719.0 0	2,288,768.7 2	0.000	***
Error	0.41	8	0.05			
Total	353,157.42	11				
C.V. (%)	0.01					

Nota. Elaboración propia

***: Significativa al 99.9% de confiabilidad

La tabla (8) presenta el análisis de varianza de los promedios de densidad (g/cm³) del concreto permeable preparado con distintos porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%). Se observa que el valor P entre los promedios de densidad (kg/cm^3) es 4.53487843439382e-024, que es menor que 0.05. Por lo tanto, esto indica que existe una diferencia altamente significativa entre estos promedios desde el punto de vista estadístico, lo que significa que al menos dos de los tratamientos tienen promedios diferentes entre sí.

Tabla 9

Comparación múltiple de Tukey de los promedios de densidad (g/cm³) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%).

Tratamiento	Promedio	Grupo
Testigo	2446.80	a
15% de vacío	2135.63	b
18% de vacío	2053.10	c
20% de vacío	2006.89	d

Nota. Elaboración propia

La tabla (9) muestra la comparación múltiple de Tukey de los promedios de densidad (g/cm³) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%), en ella se visualiza que, en promedio, el concreto con un 20% de vacío tiene la densidad más baja (2006.89 g/cm³), seguido por el concreto con un 18% de vacío (2053.10 g/cm³) y el de 15% de vacío (2135.63 g/cm³), mientras que el testigo presenta la mayor densidad (2446.80 g/cm³). Esta comparación evidencia que a medida que aumenta el porcentaje de vacío en el concreto permeable, disminuye su densidad, lo que sugiere una relación inversa entre el contenido de vacío y la densidad del material.

Contenido de vacío (%)

Tabla 10

Datos del ensayo de contenido de vacío (%) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)

Contenido de vacíos (%)	Testigo	15% de vacío	18% de vacío	20% de vacío
M1	0.92	15.15	18.04	20.02
M2	0.93	15.14	18.06	20
M3	0.93	15.15	18.05	20.01
Suma	2.78	45.44	54.15	60.03
Promedio	0.93	15.15	18.05	20.01
Desv. Est.	0.01	0.00	0.01	0.01

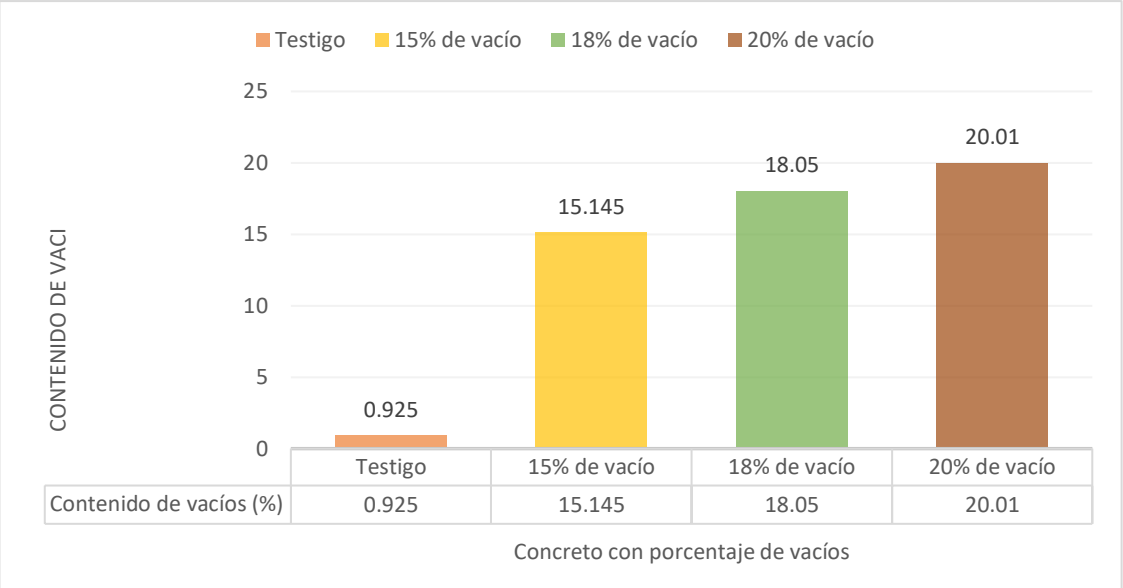
Nota. Elaboración propia

La tabla (10) muestra los datos y los principales estadísticos observados en el ensayo de contenido de vacío (%) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%), en ella se visualiza que el concreto testigo a logrado un contenido de vacíos (%) de 0.925, mientras que el concreto con el 15% de vacío 15.145, luego el concreto con el 18% de vacío 18.05 y el concreto con el 20% de vacío 20.01.

La figura (17) muestra gráficamente los promedios de Contenido de vacío (%) de la tabla (10).

Figura 17

Promedios de Contenido de vacío (%) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)



Nota. Elaboración propia

H_0: Los promedios de contenido de vacío (%) son iguales

Ha: Al menos dos de los promedios son diferentes

Tabla 11

Análisis de varianza de los promedios de Contenido de vacío (%) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)

Origen de variaciones	SS	df	MS	F	Valor P	Sig.
Porcentaje de vacío	671.75	3	223.92	3,582,640.4 0	0.000	***
Error	0.00	8	0.00			
Total	671.75	11				
C.V. (%)	0.06					

Nota. Elaboración propia

***: Significativa al 99.9% de confiabilidad

La tabla (11) exhibe el análisis de varianza de los promedios de contenido de vacío (%) del hormigón permeable preparado con distintos porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%). Se observa que el valor P entre los promedios de contenido de vacíos (%) es

7.55372578540366E-025, que es menor que 0.05. Por lo tanto, esto indica que existe una diferencia altamente significativa entre estos promedios desde el punto de vista estadístico, lo que significa que al menos dos de los tratamientos tienen promedios diferentes entre sí.

Tabla 12

Comparación múltiple de Tukey de los promedios de Contenido de vacío (%) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)

Tratamiento	Promedio	Grupo
20% de vacío	20.01	a
18% de vacío	18.05	b
15% de vacío	15.15	c
Testigo	0.93	d

Nota. Elaboración propia

La tabla (12) muestra la comparación múltiple de Tukey de los promedios de Contenido de vacío (%) del hormigón permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%), en ella se visualiza que, en promedio, el concreto con un 20% de vacío exhibe el contenido de vacío más alto (20.01%), seguido por el concreto con un 18% de vacío (18.05%) y el de 15% de vacío (15.15%), mientras que el testigo presenta el contenido de vacío más bajo (0.93%). Esta comparación pone de manifiesto que conforme aumenta el porcentaje de vacío en el concreto permeable, también se incrementa su contenido de vacío, lo que sugiere una relación directa entre el porcentaje de vacío y el contenido de vacío del material, cumpliendo así con las especificaciones de la norma técnica peruana en cuanto a la porosidad del hormigón permeable.

4.3.2. Prueba estadística para la hipótesis específica 2

Resistencia a la compresión a los 7 días (kg/cm²)

Tabla 13

Datos del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)

Resistencia a la compresión a 7 días (kg/cm²)	Testigo	15% de vacío	18% de vacío	20% de vacío
M1	174.9	150.29	143.38	120.19
M2	174.41	147.21	147.23	119.17
M3	174.66	148.75	145.31	119.68
Suma	523.97	446.25	435.92	359.04
Promedio	174.66	148.75	145.31	119.68
Desv. Est.	0.25	1.54	1.93	0.51

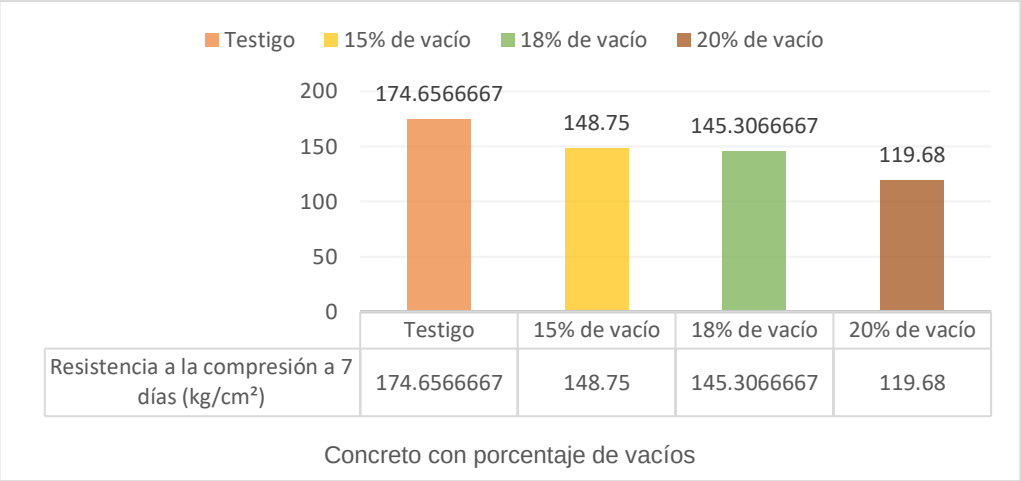
Nota. Elaboración propia

La tabla (13) presenta los datos y los principales estadísticos obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborado con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%). Se observa que el concreto de control ha alcanzado una resistencia a la compresión a los 7 días (kg/cm²) de 174.66 kg/cm², mientras que el concreto con el 15% de vacío 148.75 kg/cm², luego el concreto con el 18% de vacío 145.31 kg/cm² y el concreto con el 20% de vacío 119.68 kg/cm².

La figura (18) muestra gráficamente los promedios de resistencia a la compresión a los 7 días (kg/cm²) de la tabla (13).

Figura 18

Promedios de resistencia a la compresión a los 7 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)



Nota. Elaboración propia

H_0: Los promedios de resistencia a la compresión a los 7 días (kg/cm²) son iguales

Ha: Al menos dos de los promedios son diferentes

Tabla 14

Análisis de varianza de los promedios de resistencia a la compresión a los 7 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)

Origen de variaciones	SS	df	MS	F	Valor P	Sig.
Porcentaje de vacío	4,551.49	3	1,517.16	948.62	0.000	***
Error	12.79	8	1.60			
Total	4,564.29	11				
C.V. (%)	0.86					

Nota. Elaboración propia

***: Significativa al 99.9% de confiabilidad

La tabla (14) presenta el análisis de varianza de los promedios de resistencia a la compresión a los 7 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborado con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%). Se observa que el valor P entre los promedios de f'c a los 7 días (kg/cm²) es 0.00000000015179078498382 9, lo que es menor a 0.05. Por lo tanto, existe una diferencia estadísticamente significativa entre estos promedios, lo que indica

que al menos dos de los tratamientos tienen promedios diferentes de manera estadísticamente significativa.

Tabla 15

Comparación múltiple de Tukey de los promedios de resistencia a la compresión a los 7 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)

Tratamiento	Promedio	Grupo
Testigo	174.66	a
15% de vacío	148.75	b
18% de vacío	145.31	c
20% de vacío	119.68	d

Nota. Elaboración propia

La tabla (15) expone la confrontación múltiple de Tukey de los promedios de Firmeza a la presión a los 7 días (kg/cm²) del hormigón permeable fabricado con distintos porcentajes de huecos (15%, 18% y 20%). En ella se aprecia que en términos generales, el hormigón con un 20% de huecos presenta la menor firmeza a la presión (119.68 kg/cm²), seguido por el hormigón con un 18% de huecos (145.31 kg/cm²) y el de 15% de huecos (148.75 kg/cm²), mientras que el patrón muestra la firmeza a la presión más alta (174.66 kg/cm²). Se puede notar que al aumentar el porcentaje de huecos en el hormigón permeable, su firmeza a la presión tiende a disminuir, indicando una relación inversa entre el contenido de huecos y la firmeza del material.

Resistencia a la compresión a los 14 días (kg/cm²)

Tabla 16

Datos del ensayo de resistencia a la compresión a los 14 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)

Resistencia a la compresión a 14 días (kg/cm²)	Testigo	15% de vacío	18% de vacío	20% de vacío
M1	189.28	186.19	154.2	142.19
M2	186.88	189.7	168.45	141.17
M3	188.08	187.94	161.32	141.68
Suma	564.24	563.83	483.97	425.04
Promedio	188.08	187.94	161.32	141.68
Desv. Est.	1.20	1.76	7.13	0.51

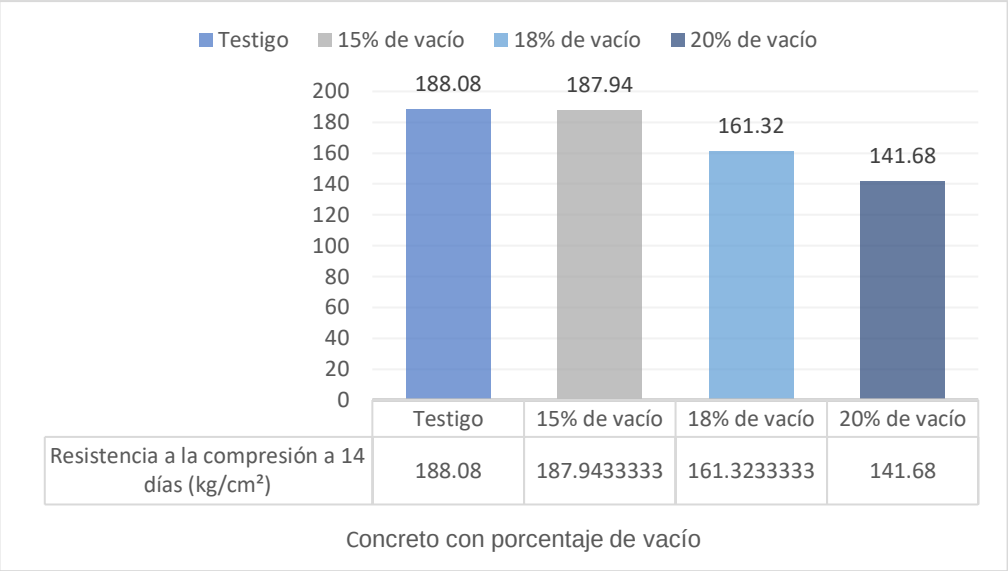
Nota. Elaboración propia

La tabla (16) exhibe los datos y los principales estadísticos registrados en la evaluación de robustez a la compresión a los 14 días (kg/cm²) del hormigón permeable confeccionado con diversas proporciones de vacío (15%, 18% y 20%). En ella se percibe que el hormigón de referencia ha alcanzado una robustez a la compresión a los 14 días (kg/cm²) de 188.08 kg/cm², mientras que el hormigón con el 15% de vacío registra 187.94 kg/cm², seguido por el hormigón con el 18% de vacío con 161.32 kg/cm² y el hormigón con el 20% de vacío con 141.68 kg/cm².

La figura (19) muestra gráficamente los promedios de resistencia a la compresión a los 14 días (kg/cm²) de la tabla (16).

Figura 19

Promedios de resistencia a la compresión a los 14 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)



Nota. Elaboración propia

H_0: Los promedios de resistencia a la compresiòn a los 14 días (kg/cm²) son iguales

Ha: Al menos dos de los promedios son diferentes

Tabla 17

Análisis de varianza de los promedios de resistencia a la compresión a los 14 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)

Origen de variaciones	SS	df	MS	F	Valor P	Sig.
Porcentaje de vacío	4,577.76	3	1,525.92	109.89	0.000	***
Error	111.09	8	13.89			
Total	4,688.85	11				
C.V. (%)	2.20					

Nota. Elaboración propia

***: Significativa al 99.9% de confiabilidad

La tabla (17) exhibe el estudio de dispersión de los promedios de f'c a los 14 días (kg/cm²) del hormigón permeable manufacturado con distintas tasas de vacío (15%, 18% y 20%). Se percata que el valor P entre los promedios de resistencia a la compresión a los 14

días (kg/cm²) es 0.000000768073234292543, cifra inferior a 0.05. Por ende, se confirma una disparidad estadísticamente significativa entre estos promedios, indicando que al menos dos de los tratamientos poseen promedios diferentes en términos estadísticos.

Tabla 18

Comparación múltiple de Tukey de los promedios de resistencia a la compresión a los 14 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)

Tratamiento	Promedio	Grupo
Testigo	188.08	a
15% de vacío	187.94	a
18% de vacío	161.32	b
20% de vacío	141.68	c

Nota. Elaboración propia

La tabla (18) presenta la confrontación multifacética de Tukey de los promedios de tenacidad a la compresión a los 14 días (kg/cm²) del hormigón permeable fabricado con distintas proporciones de huecos (15%, 18% y 20%). En él se aprecia que en promedio, el hormigón con un 20% de huecos expone la firmeza más modesta (141.68 kg/cm²), seguido por el hormigón con un 18% de huecos (161.32 kg/cm²) y el de 15% de huecos (187.94 kg/cm²), mientras que el patrón muestra la tenacidad a la compresión más alta (188.08 kg/cm²). Este cotejo destaca que, al incrementarse el porcentaje de huecos en el hormigón permeable, decrece su tenacidad a la compresión, insinuando una relación inversa entre el contenido de huecos y la tenacidad del material.

Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm²)

Tabla 19

Datos del ensayo de Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)

Resistencia a la compresión a 28 días (kg/cm²)	Testigo	15% de vacío	18% de vacío	20% de vacío
M1	224.19	210.01	185.35	175.8
M2	225.7	208.49	180	174.95
M3	224.95	209.25	182.68	175.38
Suma	674.84	627.75	548.03	526.13
Promedio	224.95	209.25	182.68	175.38
Desv. Est.	0.75	0.76	2.68	0.43

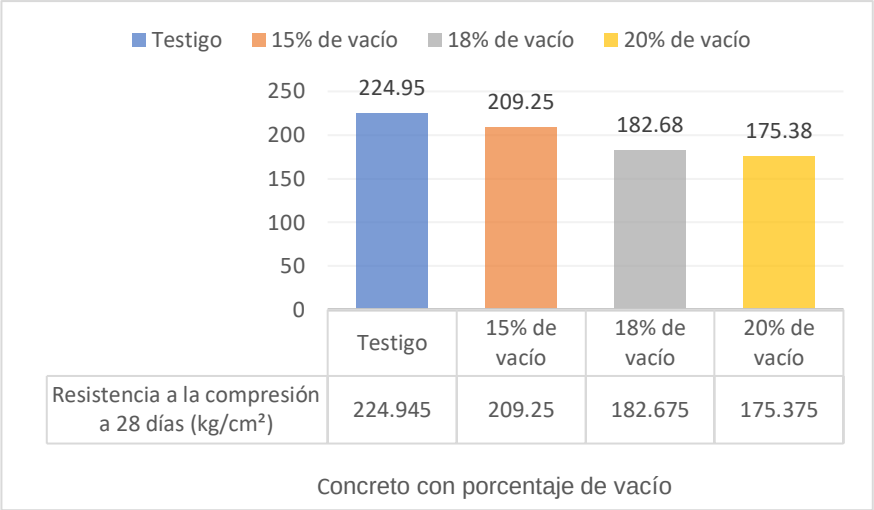
Nota. Elaboración propia

La tabla (19) despliega los datos y los principales estadísticos observados en la prueba de resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm²) del hormigón poroso fabricado con distintas proporciones de vacío (15%, 18% y 20%). En ella se constata que el hormigón de referencia ha alcanzado una resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm²) de 224.945 kg/cm², mientras que el hormigón con un 15% de vacío registra 209.25 kg/cm², seguido por el hormigón con un 18% de vacío con 182.675 kg/cm² y el hormigón con un 20% de vacío con 175.375 kg/cm².

La figura (20) ilustra de manera gráfica los promedios de resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm²) de la tabla (19).

Figura 20

Promedios de Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)



Nota. Elaboración propia

H_0: Los promedios de resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm²) son iguales.

Ha: Al menos dos de los promedios son diferentes.

Tabla 20

Análisis de varianza de los promedios de resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)

Origen de variaciones	SS	df	MS	F	Valor P	Sig.
Porcentaje de vacío	4,797.98	3	1,599.33	754.05	0.000	***
Error	16.97	8	2.12			
Total	4,814.95	11				
C.V. (%)	0.74					

Nota. Elaboración propia

***: Significativa al 99.9% de confiabilidad

La tabla (20) presenta el estudio de varianza de los promedios de f'c a los 28 días (kg/cm²) del hormigón poroso fabricado con distintas proporciones de vacío (15%, 18% y 20%) revela un valor P entre los promedios de resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm²) de 0.00000000037898160115683 6, el cual es inferior a 0.05. Por ende, se establece

una diferencia estadísticamente significativa entre estos promedios, indicando que al menos dos de los tratamientos exhiben promedios distintos en términos estadísticos.

Tabla 21

Comparación múltiple de Tukey de los promedios de resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)

Tratamiento	Promedio	Grupo
Testigo	224.95	a
15% de vacío	209.25	b
18% de vacío	182.68	c
20% de vacío	175.38	d

Nota. Elaboración propia

La tabla (21) presenta la confrontación múltiple de Tukey de los promedios de robustez a la presión a los 28 días (kg/cm²) del hormigón poroso elaborado con diferentes proporciones de huecos (15%, 18% y 20%), donde se aprecia que en términos generales, el hormigón con un 20% de huecos exhibe la f'c más modesta (175.38 kg/cm²), seguido por el hormigón con un 18% de huecos (182.68 kg/cm²) y el de 15% de huecos (209.25 kg/cm²), mientras que el patrón muestra la robustez a la presión más alta (224.95 kg/cm²). Esta comparación resalta que conforme se incrementa el porcentaje de huecos en el hormigón poroso, decrece su robustez a la presión, lo que señala una relación inversa entre el contenido de huecos y la robustez del material.

Según los criterios establecidos por la Norma CE.010 – Calzadas Urbanas y NTP 339.034 se detallan los criterios necesarios para valorar la calidad del hormigón, tanto en términos de f'c como de permeabilidad. De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede notar que el hormigón poroso con un 15% de huecos cumple con la norma al lograr una f'c de 209.25 kg/cm² a los 28 días, cercana al mínimo requerido de 210 kg/cm² para hormigón

de uso común. Por otro lado, los hormigones porosos con un 18% y un 20% de huecos no satisfacen la f'c exigida de 210 kg/cm². Además, se constata que el hormigón poroso con un 15% de huecos muestra una f'c más similar al valor de referencia establecido en el patrón, con 224.95 kg/cm², lo que insinúa que un menor porcentaje de huecos contribuye a la fabricación de un hormigón poroso más resistente.

4.3.3. Prueba estadística para la hipótesis específica 3

Resistencia a la flexión a los 7 días (kg/cm²)

Tabla 22

Datos del ensayo de resistencia a la flexión a los 7 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacíos (15%, 18% y 20%)

Resistencia a la flexión a 7 días (kg/cm²)	Testigo	15% de vacío	18% de vacío	20% de vacío
M1	36.67	35.47	31.22	24.87
M2	37.48	33.73	31.58	25.33
M3	37.08	34.6	31.4	25.1
Suma	111.23	103.80	94.20	75.30
Promedio	37.08	34.60	31.40	25.10
Desv. Est.	0.41	0.87	0.18	0.23

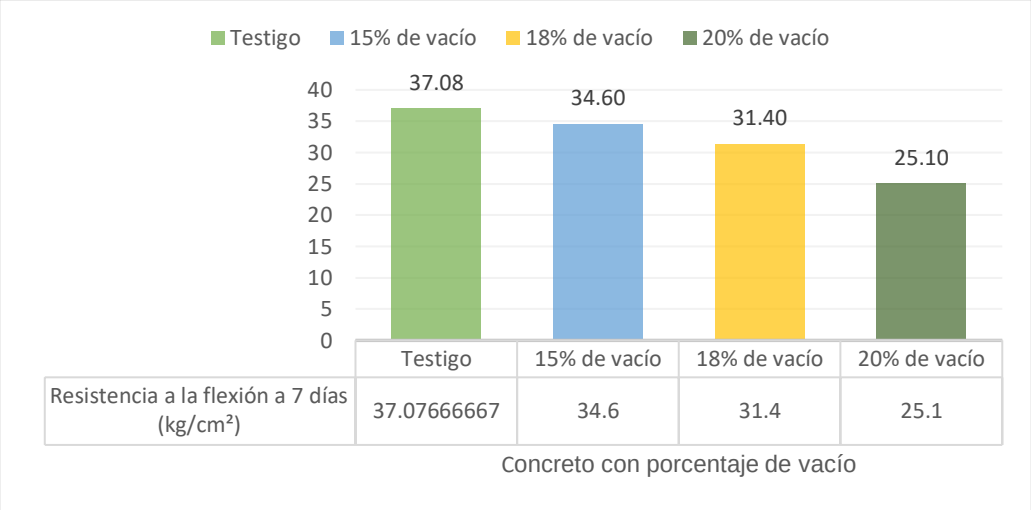
Nota. Elaboración propia

La tabla (22) presenta los datos y los rasgos principales examinados en el experimento de tenacidad a la flexión a los 7 días (kg/cm²) del hormigón permeable fabricado con distintos porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%). En ella se aprecia que el hormigón de referencia ha alcanzado una tenacidad a la flexión a 7 días (kg/cm²) de 37.08 kg/cm², mientras que el hormigón con el 15% de vacío registra 34.6 kg/cm², después el hormigón con el 18% de espacio vacío 31.4 kg/cm² y el hormigón con el 20% de espacio vacío 25.1 kg/cm².

La figura (21) muestra gráficamente la media del soporte flexivo a los 7 días (kg/cm²) de la tabla (22).

Figura 21

Promedios de resistencia a la flexión a los 7 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)



Nota. Elaboración propia

H_0: Los promedios resistencia flexivo a los 7 días (kg/cm²) son iguales

Ha: Al menos dos de los promedios son diferentes

Tabla 23

Análisis de varianza de los promedios de resistencia a la flexión a los 7 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacíos (15%, 18% y 20%)

Origen de variaciones	SS	df	MS	F	Valor P	Sig.
Porcentaje de vacío	241.48	3	80.49	319.98	0.000	***
Error	2.01	8	0.25			
Total	243.50	11				
C.V. (%)	1.57					

Nota. Elaboración propia

***: Significativa al 99.9% de confiabilidad

El registro (23) presenta el examen de discrepancia de los promedios de tenacidad a la flexión a los 7 días (kg/cm²) del hormigón permeable producido con variados porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%). Se ilustra que el valor Q entre los promedios de tenacidad a la flexión a los 7 días (kg/cm²) es 0.0000000114446492152936, lo cual es inferior a 0.05. En consecuencia, surge una discrepancia estadísticamente notable entre estos promedios, lo que insinúa que al menos dos de los enfoques muestran diferencias medibles en términos estadísticos.

Tabla 24

Comparación múltiple de Tukey de los promedios de Resistencia a la flexión a los 7 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)

Tratamiento	Promedio	Grupo
Testigo	37.08	a
15% de vacío	34.60	b
18% de vacío	31.40	c
20% de vacío	25.10	d

Nota. Elaboración propia

El gráfico (24) despliega la equiparación plural de Tukey de las medias de tenacidad a la flexión a los 7 días (kg/cm²) del cemento permeable fabricada con diversos porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%), en ella se visualiza que en promedio, el concreto con un 20% de vacío exhibe la resistencia a la flexión más baja (25.10 kg/cm²), seguido por el concreto con un 18% de vacío (31.40 kg/cm²) y el de 15% de vacío (34.60 kg/cm²), mientras que el testigo presenta la resistencia a la flexión más alta (37.08 kg/cm²).

Este contraste subraya que conforme se incrementa el porcentaje de ausencia en el hormigón permeable, decrece su tenacidad a la flexión, señalando una correlación contraria entre el contenido de ausencia y la tenacidad del elemento.

- ***Resistencia a la flexión a los 14 días (kg/cm²)***

Tabla 25

Datos del ensayo de resistencia a la flexión a los 14 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)

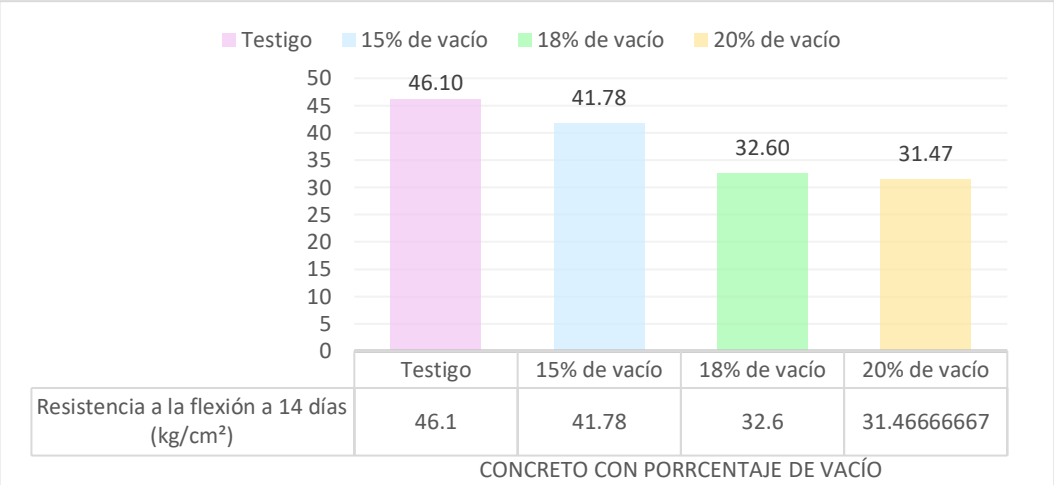
Resistencia a la flexión a 14 días (kg/cm²)	Testigo	15% de vacío	18% de vacío	20% de vacío
M1	45.37	41.16	32.13	30.93
M2	46.83	42.4	33.07	32
M3	46.1	41.78	32.6	31.47
Suma	138.30	125.34	97.80	94.40
Promedio	46.10	41.78	32.60	31.47
Desv. Est.	0.73	0.62	0.47	0.54

Nota. Elaboración propia

El registro (25) expone los datos y los atributos estadísticos principales notados en el examen de solidez a la curvatura a los 14 días (kg/cm²) del cemento permeable elaborado con distintas proporciones de espacio vacío (15%, 18% y 20%). En este informe, se observa que el material de referencia ha alcanzado una solidez a la curvatura a los 14 días (kg/cm²) de 46.1 kg/cm², mientras que el cemento con el 15% de hueco registra 41.78 kg/cm², a continuación, el cemento con el 18% de espacio vacío 32.6 kg/cm² y el cemento con el 20% de espacio vacío 31.47 kg/cm². La figura (22) exhibe de forma gráfica las medias de solidez a la curvatura a los 14 días (kg/cm²) de la tabla (25).

Figura 22

Promedios de resistencia a la flexión a los 14 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%).



Nota. Elaboración propia

H_0: Los promedios de Resistencia a la flexión a los 14 días (kg/cm²) son iguales

Ha: Al menos dos de los promedios son diferentes

Tabla 26

Análisis de varianza de los promedios de Resistencia a la flexión a los 14 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)

Origen de variaciones	SS	df	MS	F	Valor P	Sig.
Porcentaje de vacío	455.23	3	151.74	426.11	0.000	***
Error	2.85	8	0.36			
Total	458.08	11				
C.V. (%)	1.57					

Nota. Elaboración propia

***: Significativa al 99.9% de confiabilidad

La tabla (26) despliega el análisis de discrepancia de los medios de fortaleza a la curvatura a los 14 días (kg/cm²) del cemento permeable manufacturado con distintos porcentajes de hueco (15%, 18% y 20%). En esta sección, se aprecia que el valor Q entre los promedios de resistencia a la curvatura a 14 días (kg/cm²) es 0.00000000367247261561068 más pequeño que 0.05, por lo tanto, estadísticamente se avizora una discrepancia altamente distintiva entre estos promedios, denotando que al menos dos de los enfoques, estadísticamente, difieren en sus medias.

Tabla 27

Comparación múltiple de Tukey de los promedios de resistencia a la flexión a los 14 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)

Tratamiento	Promedio	Grupo
Testigo	46.10	a
15% de vacío	41.78	b
18% de vacío	32.60	c
20% de vacío	31.47	c

Nota. Elaboración propia

La tabla (27) despliega el contraste múltiple de Tukey de los promedios de tenacidad a la flexión a los 14 días (kg/cm²) del hormigón transitable confeccionado con distintas proporciones de vacío (15%, 18% y 20%), en ella se visualiza que en promedio, el concreto con un 15% de vacío presenta la mayor resistencia a la flexión (41.78 kg/cm²), seguido por el concreto con un 20% de vacío (31.47 kg/cm²) y el de 18% de vacío (32.60 kg/cm²), mientras que el testigo exhibe la resistencia a la flexión más alta (46.10 kg/cm²). Esta comparación indica que, a los 14 días, el concreto con un 15% de vacío supera en resistencia a la flexión a los otros porcentajes de vacío, lo cual sugiere que, dentro del marco de la NTP, la magnitud de vacío en el concreto permeable puede influir en su resistencia a la flexión, pero otros factores también pueden desempeñar un papel importante en este resultado.

- ***Resistencia a la flexión a los 28 días (kg/cm²)***

Tabla 28

Datos del ensayo de Resistencia a la flexión a los 28 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)

Resistencia a la flexión a 28 días (kg/cm²)	Testigo	15% de vacío	18% de vacío	20% de vacío
M1	53.36	43.14	34.27	32.4
M2	53.19	43.45	33.78	33.22
M3	53.28	43.3	34.03	32.81
Suma	159.83	129.89	102.08	98.43
Promedio	53.28	43.30	34.03	32.81
Desv. Est.	0.09	0.16	0.25	0.41

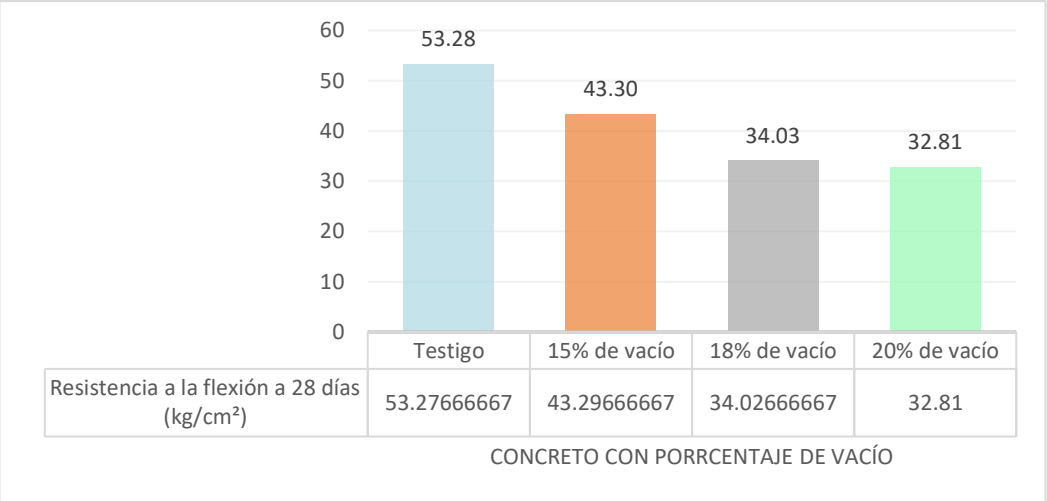
Nota. Elaboración propia

La ilustración (28) exhibe los registros y los principales números detectados en el examen de tenacidad a la flexión a los 28 días (kg/cm²) del hormigón transitable manufacturado con diversas proporciones de vacío (15%, 18% y 20%). En este, se aprecia que el hormigón de Referencia ha alcanzado una Tenacidad a la flexión a 28 días (kg/cm²) de 53.28 kg/cm², mientras que el hormigón con el 15% de vacío ha registrado 43.30 kg/cm², seguido por el hormigón con el 18% de vacío con 34.03 kg/cm² y el hormigón con el 20% de vacío con 32.81 kg/cm².

La figura (23) ilustra de manera gráfica los valores medios de tenacidad a la flexión a los 28 días (kg/cm²) de la tabla (28).

Figura 23

Promedios de resistencia a la flexión a los 28 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)



Nota. Elaboración propia

H_0: Los promedios del soporte flexivo a los 28 días (kg/cm²) son iguales

Ha: Al menos dos de los promedios son diferentes

Tabla 29

Análisis de varianza de los promedios de Resistencia a la flexión a los 28 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)

Origen de variaciones	SS	df	MS	F	Valor P	Sig.
Porcentaje de vacío	814.82	3	271.61	4,188.24	0.000	***
Error	0.52	8	0.06			
Total	815.34	11				
C.V. (%)	0.62					

Nota. Elaboración propia

***: Significativa al 99.9% de confiabilidad

La tabla (26) presenta el examen de dispersión de las medias de Tenacidad a la flexión a los 28 días (kg/cm²) del hormigón transitable manufacturado con distintas proporciones de vacío (15%, 18% y 20%). En ella se observa el Valor P entre los promedios de Tenacidad a la flexión a 28 días (kg/cm²) es 0.00000000000040330258381266 4 menor a 0.05, por consiguiente, se observa una discrepancia estadísticamente significativa entre esos

promedios, lo que indica que al menos dos de los tratamientos tienen promedios distintos en términos estadísticos.

Tabla 30

Comparación múltiple de Tukey de los promedios de Resistencia a la flexión a los 28 días (kg/cm²) del concreto permeable elaborada con diferentes porcentajes de vacío (15%, 18% y 20%)

Tratamiento	Promedio	Grupo
Testigo	53.28	a
15% de vacío	43.30	b
18% de vacío	34.03	c
20% de vacío	32.81	d

Nota. Elaboración propia

La tabla (27) exhibe el análisis comparativo múltiple de Tukey de los valores medios de Tenacidad a la flexión a los 28 días (kg/cm²) del hormigón transitable producido con diferentes proporciones de vacuidad (15%, 18% y 20%). Se aprecia que en términos promedio, el hormigón con un 15% de vacuidad demuestra la mayor tenacidad a la flexión (43.30 kg/cm²), seguido por el hormigón con un 20% de vacuidad (32.81 kg/cm²) y el de 18% de vacuidad (34.03 kg/cm²), mientras que el patrón muestra la mayor tenacidad a la flexión (53.28 kg/cm²). Este análisis pone de manifiesto que, a los 28 días, el hormigón con un 15% de vacuidad sobrepasa en tenacidad a la flexión a las otras proporciones de vacuidad, implicando que, conforme a la regulación técnica peruana, la cantidad de vacuidad en el hormigón transitable puede incidir en su tenacidad a la flexión.

CONCLUSIONES

Conclusión del objetivo general

En la disertación se investigó la repercusión de la inclusión del hormigón transitable en la evacuación de agua pluvial en márgenes y se concluyó que el hormigón transitable con 15% y 18% de huecos son los diseños más apropiados ya que satisfacen los criterios establecidos en las pruebas de permeabilidad, robustez a la compresión y robustez a la flexión, teniendo un efecto favorable en la absorción y drenaje del agua pluvial, contribuyendo a mantener un equilibrio en el ciclo hidrológico.

Conclusión del objetivo específico 1

Se determinó la densidad obteniendo valores de 2135.635 kg/m^3, 2053.103 kg/m^3, 2006.885 kg/m^3 correspondientes a los diseños de 15 %,18% y 20% de concreto permeable respectivamente y teniendo 15.14% 18.05% 20.01% como resultados de vacíos para los diseños de 15 %, 18% y 20% de concreto permeable (ver figura Nº10 ,11), siendo mayores al concreto patrón cuyos valores que permiten una permeabilidad de agua muy eficiente, optimizando la filtración de agua y reduciendo la escorrentía pluvial.

Conclusión del objetivo específico 2

Se determinó que los esquemas que albergan menor proporción de huecos lograron mayor firmeza a la compresión a los 28 días, estos desenlaces son 209.25 kg/cm², 182.68 kg/cm² y 175.38 kg/cm² para los esquemas de 15 %,18% y 20% respectivamente mientras que el punto de referencia presenta la firmeza a la compresión más alta 224.95 kg/cm², (ver esquema Nº14) cumpliendo con el valor mínimo de 175 kg/cm² de la Pauta CE.010 de Pavimentaciones Urbanas, en la que se resalta una conexión inversa entre el contenido de vacío y la resistencia del hormigón permeable demostrando que a medida que aumenta el porcentaje de vacío, decrece la firmeza a la compresión.

A pesar de que la resistencia a la compresión disminuye en los tres diseños estos resultados se encuentran dentro de la norma y son superiores a lo establecido, entonces

estos concretos pueden seguir siendo adecuados para aplicaciones específicas donde la permeabilidad es una consideración clave optimizando así la evacuación de aguas pluviales.

Conclusión del objetivo específico 3

Se determinó que la robustez a la flexión en los esquemas de hormigones permeables de 15%, 18% y 20% de huecos alcanzaron cifras de 43.30 kg/cm², 34.03 kg/cm² y 32.81 kg/cm² respectivamente (ver esquema Nº15), de los cuales los esquemas de 15% y 18% cumplimentaron el requisito mínimo de 34 kg/cm² de la Pauta CE.010 de Pavimentaciones Urbanas, mientras que el punto de referencia revela la robustez a la flexión más alta (53.28 kg/cm²), entonces estos concretos pueden seguir siendo adecuados para aplicaciones específicas donde la permeabilidad es una consideración clave de esta manera optimizando la evacuación de agua pluvial.

RECOMENDACIONES

Recomendación de la conclusión General

Conforme al escrutinio de la repercusión de la inclusión del hormigón penetrable en la dispersión de aguas pluviales en aceras, se sugiere la utilización del hormigón penetrable con 15% y 18% de cavidades en áreas de escasa circulación para una correcta dispersión y gestión del agua pluvial, dado que satisfacen los criterios establecidos en las evaluaciones de permeabilidad, solidez a la compresión y tenacidad a la flexión.

Recomendación de la conclusión especifica "1"

Cuando se determine la densidad y magnitud de vacíos, se recomienda verificar que el tamaño de agregado elegido sea uniforme de la cantera a escoger para una adecuada optimización y evacuación de agua pluvial.

Recomendación de la conclusión específica "2"

Cuando se establezcan los datos del examen de solidez a la compresión, se aconseja alterar los índices de agregado voluminoso y agregado delicado sin impactar los intervalos de permeabilidad, aunque la pauta ACI 522-R 10 contemple un agregado de 3/4", preferir diámetros inferiores a este, a causa de un acabado desigual y con el propósito de mejorar la evacuación de aguas pluviales de manera más eficaz y óptima.

Recomendación de la conclusión específica "3"

Cuando se establezcan los desenlaces del examen de tenacidad a la flexión, se sugiere emplear los patrones de hormigón poroso en los índices de 15% y 18% desocupados, los cuales se ajustan a la regulación CE.010 de Suelos urbanos, igualmente llevar a cabo más ensayos de diseño para potenciar la tenacidad a la flexión sin descuidar la permeabilidad, originando así una optimización superior y mejorada en la eliminación de aguas pluviales.

BIBLIOGRAFIA

Agamez, M. D., y Castaño, C. E. (2020). *Caracterización de las propiedades mecánicas y permeables de tres propuestas de adoquín poroso, a partir del diseño de mezcla de hormigón con tres tamaños máximos nominales de agregado grueso* [Tesis Doctoral, Universidad de Cartagena]. Repositorio Académico UNICARTAGENA.

https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/10172/INFORME%20FINAL%20TESIS%20DE%20GRADO%20AGAMEZ-CASTA%c3%91OPDF.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Almodóvar, E. S., Cantos, J. O., y Talavera, J. M. (2022). Buenas prácticas en el manejo y gestión del agua pluvial: Casos de estudio en la comarca del Bajo Segura. *Cuadernos geográficos de la Universidad de Granada*, 61(1), 229-250.

American Concrete Institute (2010). *Report on Pervious Concrete* (*ACI 522R-10)*. Farmington Hills, 2010. 38 pp.

Amorós, C. E., y Bendezú, J. C. (2019). *Diseño de mezcla de concreto permeable para la construcción de la superficie de rodadura de un pavimento de resistencia de 210 kg/cm^2* [Tesis de titulación, Universidad de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC.

https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/626313/BENDEZU_UJ.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Angelone, S., Garibay, M. T., y Casaux, M. C. (2006). *Geología y Geotecnia Permeabilidad Suelos*.

Aponte, L., y Rojas, J. (2021). *Evaluación teórica, aplicaciones y proceso constructivo del Concreto Permeable para ser implementado como capa de rodadura en una vía*. [Tesis de titulación, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Académico de la UNIMILITAR.

http://hdl.handle.net/10654/38006

Arce, M. A. M. (2019). *Recuperación de aguas pluviales en la Ciudad de Arequipa utilizando concreto permeable en vías públicas.* [Tesis de titulación, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio Académico de la UPT.

https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/1250/Arce-Quintana-Moises.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Arcos, M. C. (2022). *Concreto permeable para el control de aguas pluviales en vías urbanas en la ciudad de Abancay, 2019*. [Tesis de titulación, Universidad Nacional Micaela Bastidas]. Repositorio Académico de la UNAMBA.

https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/1080/T_710.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ascón, R.E. y Burga, J.W. (2023). *Pavimentos permeables como alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo, 2022.* [Tesis de titulación, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Académico de la UPN.

https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/33318/Ascon%20Orbegoso%2c%20Renzo%20Eduardo%20-Burga%20Angulo%2c%20Jose%20Wiston.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ashwini, B. (2023). Comparison of mechanical properties of concrete incorporated with Multiwalled Carbon nanotube and partial replacement of cement with flyash. *Materials Today: Proceedings.*

Ayala, J. E., Gil, E., Cornejo, R. D., y Muñoz, S. P. (2022). Metodologías empleadas para la producción de concreto permeable usando parcialmente materiales reciclados como agregados: una revisión literaria. *TecnoLógicas, 25*(53).

http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S012377992022000100300&script=sci_arttext

Bandyopadhyay, J., Chakraborty, R., & Deb, S. (2015). Comparative study on various parameters of pervious concrete for different size of coarse aggregate. *International Journal of Research and Analytical Reviews.*

Bárcena, Y. A., y Hurtado, J. E. A. (2011). Ensayos de Permeabilidad en Materiales de Baja de Permeabilidad Compactados.

Bautista, A. (2018). *Diseño de Pavimento Rígido Permeable para la Evacuación de agua pluviales según la norma ACI 522R-10* [Tesis Doctoral, Universidad de San Martin de Porres]. Repositorio Académico de la USMP

http://repositorio. usmp. edu. pe/handle/usmp/4928).

Berman, D., Erdemir, A. y Sumant, A.V. (2018). Enfoques para lograr superlubricidad en materiales bidimensionales. *ACS nano, 12* (3), 2122-2137.

Bravo, M. P. C. (1998). Métodos y técnicas cualitativas de investigación en psicopedagogía. *Métodos de investigación en psicopedagogía,* 251*.*

https://www.smujerescoahuila.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/leonor-Metodos-de-investigacion-en-psicopedagogia medilibros.com_.pdf#page=270

Carranza, Z., Obando, H., Díaz, J., Serrano, D., y Muñoz, S. (2021). Resistencia A La Compresión De Hormigones Reforzados Con Fibra De Polipropileno. *Paideia XXI, 11*(2), 369-382.

Castromonte, F. J., Choques, M. J., Mateo, B. A., y La Torre, K. B. (2020). *Propuesta de diseño de un pavimento permeable como un sistema innovador ecológico de drenaje en la ciudad de Huaraz-Huaraz-Ancash-2020.* [Tesis de Bachillerato, Universidad César Vallejo]. Repositorio Académico de la UCV.

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/78877/B_Castromonte_%c3%81FJChoques_MMJMateo_CBATorres_LTKBSD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cecel, R.T., Abrão, P., Cardoso, FA y John, V.M. (2019). Consumo de aditivo superplastificante para diferentes cementos y su eficiencia aglomerante. *Revista IBRACON de Estructuras y Meteríaies,* 12, 1260-1287.

Chaiña, J. L., y Villanueva, Y. A. (2017). *Diseño de Concreto Permeable, para pavimentos rígidos utilizando Piedra Huso 67 y Arena Gruesa de la Cantera La Poderosa, para la ciudad de Arequipa*. [Tesis de titulación, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio Académico de la UCSM.

https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstreams/eeaf44ae-2400-4b3c-8766ef35cde523b3/download

Cruz, F. H., y Arana C. F. (2021). *Evaluación de la resistencia mecánica de un concreto permeable ordinario frente a concretos permeables elaborados con un aditivo superplastificante y relaciones a/c menores, para su uso en pavimentos urbanos; Arequipa-2021*. [Tesis de titulación, Universidad Continental]. Repositorio Académico CONTINENTAL.

https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10415

Domagala, L., y Sieja, K. (2023). Effect of Moisture Condition of Structural Lightweight Concretes on Specified Values of Static and Dynamic Modulus of Elasticity*. Materials, 16*(12), 4299.

Domagala, L., y Sieja, K. (2023). Effect of Moisture Condition of Structural Lightweight Concretes on Specified Values of Static and Dynamic Modulus of Elasticity. *Materials, 16(*12), 4299*.*

Esquerre, M. M., y Silva, H. W. (2019). *Propuesta de diseño de pavimento drenante para la captación de agua de lluvias en zonas urbanas del norte del Perú.* [Tesis de titulación, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico de la UPC. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/625617/EsquerreG_M.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Fallas, G. G., Madrigal, C. H., García, M. P., Valenciano, I. R., Vega, L. D. R., y Guzmán, G. S. (2012). Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. *Tecnología en marcha*, *25*(2), 80-86.

Fernandez, R., y Navas, A. (2012). Concreto Permeable, diseño de mezcla para evaluar la resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad. *Infraestructura vial, 13*(24), 40-49.

Gaedicke, C., Marines, A., Mata, L., & Miankodila, F. (2015). Efecto del uso de materiales reciclados y métodos de compactación en las propiedades mecánicas e índice de reflectancia solar del hormigón permeable. *Revista ingeniería de construcción, 30(*3), 159-167.

Garnica, J. E. (2022). *Diseño de Centro Comunitario para los barrios Álvarez, Las Américas y El Prado, Bucaramanga-Santander. Mediante el uso de principios de flexibilidad y permeabilidad arquitectónica.* [Tesis doctoral, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Académico de la USTA. https://repository.usta.edu.co/handle/11634/47970.

Guerra, P. R., y Guerra, C. E. (2020). Diseño de un pavimento rígido permeable como sistema urbano de drenaje sostenible. *Fides et Ratio-Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia, 20*(20), 121-140.

Guillermo, P., y Francesco, Á. (2021). *Aplicación de pavimentos de concreto poroso como alternativa de control de la acumulación de precipitaciones pluviales en la provincia*

de Huancayo en el año 2017. [Tesis de titulación, Universidad Continental]. Repositorio Académico de la CONTINENTAL.

http://repositoriodemo.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/9778/4/IV_FIN_105_TE_Pomalaza_Guillermo_2021.pdf

Guizado, A. X., y Curi, E. R. P. (2017). *Evaluación del concreto permeable como una alternativa para el control de las aguas pluviales en vías locales y pavimentos especiales de la costa noroeste del Perú.* [Tesis de titulación, Pontificia Universidad Católica del Perú] Repositorio Académico de la PUCP.

http://hdl.handle.net/20.500.12404/9831

Gutiérrez, E. C., Rodríguez, Á. A., y Jaramillo, J. J. (2017). Pavimentos permeables. Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso agua. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva, 24*(2), 173-180.

Hernández, R., Fernández C., y Baptista, P. (2018). *Metodología de la investigación* (Vol. 4, pp. 310-386). México: McGraw-Hill Interamericana.

Huamaní, M. F. L., y Ormeño, A. M. (2020). *Análisis de resistencia a compresión y permeabilidad adicionando aditivo superplastificante para un diseño de concreto poroso, para una resistencia f'c= 210 kg/cm^2*. [Tesis de titulación, Universidad César Vallejo]. Repositorio Académico de la UCV.

https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/61235

Hurtado, M. J. R., y Silvente, V. B. (2012). Cómo aplicar las pruebas paramétricas bivariadas t de Student y ANOVA en SPSS. Caso práctico. Reire, 5(2), 83-100.

Itrae Desarrollos Urbanísitcos SL (2023, 1 de noviembre). *ANEJO Nº 9. Redes de evacuación de aguas pluviales y residuales.* Consellería de Medio Ambiente, Agua e Infraestructura. Recuperado el 1 de noviembre de 2023,de

https://mediambient.gva.es/documents/20551182/101925986/TA0Saneamiento_Turis_Ind_Sur/dda70874-a9e3-4832-905c-9f720e44f254#:~:text=La%20redes%20de%20evacuaci%C3%B3n%20de,de%20lluvia%2C%20desde%20la%20urbanizaci%C3%B3n

Jaramillo, H. R., y Yoctun, R. R. (2023). Confiabilidad de la velocidad de pulso ultrasónico para análisis y comparación de la resistencia a compresión de concreto convencional con adición de fibra de acero y polipropileno. *Gaceta Técnica, 24*(1), 2-21.

Kashyap, H. (2019). Studying the Effect of Silica Fumes on Mechanical Properties of Pervious Concrete. *International Journal of Engineering Research And*, *8*.

Laguna, J. A., y Piedrahita González, O. J. (2017). Estudio comparativo de mezclas de concreto poroso usando materiales disponibles en Cartagena de indias para uso de pavimentos en parqueaderos [Tesis doctoral, Universidad de Cartagena]. Repositorio Académico de la UNICARTAGENA.

https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/4153.

Leiva, M. M., y Palomino Prudencio, B. R. (2016). *Evaluación comparativa de la permeabilidad, resistencia a la compresión del concreto poroso elaborado con cemento IP y agregado de 1/2", 3/8" y 1/4" de las canteras de Machupicchu, Abril y Huillque.* [Tesis de titulación, Universidad Andina de Cusco]. Repositorio Académico de la UAC.

https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/735

León, C. A. L. (2018). *Aplicación de concreto permeable como alternativa para reducir la escorrentía superficial en las vías del distrito El Tambo-Huancayo, 2018.* [Tesis de titulación, Universidad César Vallejo]. Repositorio Académico de la UCV.

https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/35342

Lim, E., Hwee, K., y Fang, T. (2013). Effect of Mix Proportion on Strength and Permeability of Pervious Concrete for Use in Pavement. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 10*, 1565-1575.

Lima, A. M., y Quispe, C. L. (2018). *Evacuación de aguas pluviales aplicando técnicas de drenaje urbano sostenible en la localidad de Alto Libertad.* [Tesis de titulación, Universidad San Agustín]. Repositorio Académico de la UNSA.

https://repositorio.unsa.edu.pe/items/88621900-0107-43a2-babc-ee31fab1402f

Llerena, L. F., y Ticlla, J. C. (2020). *Estudio y Evaluación del concreto permeable en un pavimento rígido según la Norma ACI 522R-10.* [Tesis de bachillerato, Universidad Peruana Unión]. Repositorio Académico de la UPEU.

https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3561/Luis_Trabajo_Bachiller_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Lorenzo, J. (2019). Estadística Básica: introducción a la prueba ty análisis de la varianza. Universidad Nacional de Córdoba.

https://ansenuza.ffyh.unc.edu.ar/handle/11086.1/1348

Ministerio de Economía y Finanzas (2023, 1 de noviembre). *Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras.* Plataforma del Estado Peruano. Recuperado el 1 de noviembre del 2023, de

https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/normas/normasv/2015/RD003-2015/Pautas_Pavimentos.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). *Manual de Carreteras: "Suelos, geología, geotecnía y pavimentos". Sección: Suelos y Pavimentos.* Resolución Directoral N° 05-2013-MTC/14.

https://cdnweb.construccion.org/normas/files/tecnicas/Manual_Suelos_Pavimentos.pdf

Muñoz, S. P., Calderón, Á. A., Caruajulca-Gonzáles, A. J. C., Y Huaman, O. R. (2022). Propiedades físicas y mecánicas del concreto fabricado con agregado reciclado: Una revisión literaria. *Respuestas*, *27*(1), 38-56.

Nazareno, J. E. (2014). *Diseño estructural de un pavimento permeable mediante la relación de vacíos y su aplicación al drenaje vial*. [Tesis de bachillerato, Universidad Internacional de Ecuador]

Norma Técnica Peruana (2008). HORMIGÓN (CONCRETO). Tubos de hormigón (concreto) armado para alcantarillado, drenaje de aguas de lluvias y aguas residuales. (NTP 339.038).

Norma Técnica Peruana (2012). CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo (NTP 339.078).

Norma Técnica Peruana (2012). CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo. (NTP 339.078).

Norma Técnica Peruana. (2013). CONCRETO. Método de ensayo normalizado para determinar la densidad y contenido de vacíos del concreto permeable endurecido. (NTP 339.238).

Norma Técnica Peruana. (2015). CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. (NTP 339.034).

Ojeda, A., Álvarez, C. R., y Orona, D. C. (2020). Drenaje pluvial sostenible. Una alternativa de gestión del agua de lluvia en la Universidad de Sonora. CONTEXTO. *Revista de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Nuevo León, 14*(20).

Pérez, J. J. (2017). *Influencia de la granulometría del agregado grueso en las propiedades mecánicas e hidráulicas de un concreto permeable, Trujillo 2017.* [Tesis de titulación. Universidad Privada del Norte]. Repositorio Académico de la UPN.

https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/12351/Perez%20Gordillo%20Johan%20Joe.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pérez, T., y Flores, F. A. (2019). *Influencias de los aditivos incorporador de aire y superplastificante en las propiedades físicas y mecánicas del concreto cemento-arena liviano, elaborado con perlas de poliestireno expandido y agregado fino. Iquitos, 2018.* [Tesis de titulación, Universidad Científica del Perú]. Repositorio Académico de la UCP.

http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/802/PEREZ_FLORES_TESIS_TITULO_2019.pdf

Pimienta, J. H., y De La Orden, A. (2017). *Metodología de la investigación*. (2ª ed.). Pearson.

Reglamento Nacional de Edificaciones – RNE (2014), *Norma CE.010 Pavimentos Urbanos.*

Rivero, J. L. L. (2017). Experiencia de la aplicación del método “histórico-lógico” y la técnica cualitativa “análisis de contenido” en una investigación educativa. *Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores*.

Sánchez, E., Olcina, J., y Martí, J. (2022). Buenas prácticas en el manejo y gestión del agua pluvial: Casos de estudio en la comarca del Bajo Segura. *Cuadernos geográficos de la Universidad de Granada, 61*(1), 229-250.

Sarta, H. N., y Silva, J. L. (2017). *Análisis comparativo entre el concreto simple y el concreto con adición de fibra de acero al 4% y 6%.* [Tesis de titulación, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Académico de la UCATÓLICA.

https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/0611884c-1efb-4d7d-b6f1-a403b36724a1/content

Silva, J. F., Chavez, O., Gaxiola, J. R., y Millan, J. R. (2021). Permeable concrete design for heavy metal absorption in sustainable roads. *Tecnología y Ciencias del Agua, 12(*4), 293-334. https://doi.org/10.24850/J-TYCA2021-04-07

Tamayo, M. (2007). Metodología de la Investigación. *México: Limusa*.

Tennis, P.D., Leming, M.L., y Akers, D.J. (2004*). Pervious Concrete Pavements*, EB302, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, and National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland.

Ticahuanca, J. (2022). *Diseño de un sistema de drenaje pluvial sostenible en dos asociaciones de vivienda del distrito Gregorio Albarracín, Tacna, 2022.* [Tesis de titulación, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio Académica de la UPT. https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2469

Toirac, J., (2012). Caracterización granulométrica de las plantas productoras de arena en la república dominicana, su impacto en la calidad y costo del hormigón. *Ciencia y Sociedad, 37*(3), 293-334.

Torres, M. A., Nikolskii, I., Martínez-Miranda, M. E., y Martínez, M. R. (2018). Hydrological assessment of the Teapa River basin, using the MIKE SHE model. *Tecnología y ciencias del agua, 9*(4), 130-146.

Vega, Y. (2013). Chiclayo desprevenido ante un Fenómeno de El Niño por falta de un drenaje pluvial. *La República.*

Zambrano, M. G. (2019). *Propuesta de un pavimento de concreto permeable para estacionamientos en zonas urbanas, que evite el estancamiento de aguas pluviales.* [Tesis de titulación, Universidad Técnica de Machala].

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