



Universidad Científica del Perú - UCP
*Registrado en el Asiento N° A00010 de la Partida N° 11000318, Personas Jurídicas de Iquitos,
Superintendencia de los Registros Públicos - SUNARP*

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**“PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO, UTILIZANDO
CONCRETO POROSO PARA EL CONTROL DEL DRENAJE
PLUVIAL EN LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE
PROVINCIA DE PICOTA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ASESOR:

M.Sc. Ing. Víctor Eduardo Samamé Zatta

AUTORES:

HIDALGO SAURIN, Luis Alfonso

CÁRDENAS PEZO, Germán René

TARAPOTO – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A MIS PADRES: ALFONSO Y MAURA.

Mi profundo amor, respeto y eterna gratitud, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, por su invalorable sacrificio y esfuerzo, por el apoyo incondicional, espiritual y moral, y por la confianza depositada en mí, a quienes entrego el fruto de su labor.

A MI SEÑORA: SUSSEL MELIZA.

Por su amor cariño y apoyo incondicional, que siempre estuvo ahí en buenos y malos momentos para seguir siempre adelante y por haber confiado mucho en mí.

Luis Alfonso, Hidalgo Saurin

A mis queridos padres **Germán y Carmen**, en especial a mi padre que se desde el cielo me guía y me acompaña espiritualmente, mi eterna gratitud a ellos por haberme forjado e inculcado buenos valores, por su apoyo incondicional y ser mi guía para la consolidación de esta etapa profesional de mi vida.

A mi querida compañera de vida **ASTERIA**, por su apoyo incondicional por su amor, su paciencia por ese empuje que siempre me daba cuando necesitaba, a mi amado hijo **RENE SALVADOR**, motor y motivo para todo que me dan las fuerzas necesarias para culminar con satisfacción esta presente tesis.

Germán Rene, Cárdenas Pezo

AGRADECIMIENTO

A todos los profesionales que integran la plana docente de la Escuela de Ingeniería Civil de la UCP, que gracias a sus conocimientos impartidos en las aulas muchos jóvenes se ven realizados como profesionales que sirven al desarrollo de este Perú.

A mi familia por el apoyo incondicional brindada durante todo este tiempo de estudios, y por sus consejos que ayudaron a superar muchos obstáculos y hacer realidad el presente trabajo y finalmente a la UCP por el apoyo y ayuda en los servicios brindados, pude concluir el presente trabajo satisfactoriamente.

Luis Alfonso, Hidalgo Saurin

Antes que nada, a Dios, él es artífice principal de todo, por seguir prestándome salud y vida y derramar su bendición y poder llegar a la meta en esta etapa de mi vida profesional.

A todos los docentes de la facultad de Ingeniería Civil, por brindarme sus bastos conocimientos que sin lugar a duda los aplicare en mi vida profesional, a mis compañeros de aula por sus apoyo y comprensión, a mis amigos por su desinteresado apoyo moral y a todos y cada una de las personas por sus servicios brindados para poder concluir la presente tesis satisfactoriamente.

Eternamente a mi familia a mis padres, hermanos, tíos sobrinos, porque ellos son la inspiración de mi vida para seguir capacitándome y superándome profesionalmente.

Germán Luis, Cárdenas Pezo

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP

El presidente del Comité de Ética de la Universidad Científica del Perú - UCP

Hace constar que:

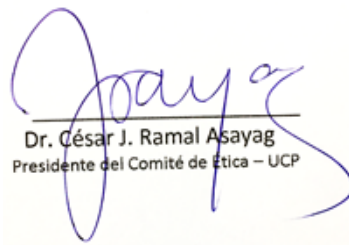
La Tesis titulada:

**"PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO, UTILIZANDO CONCRETO POROSO
PARA EL CONTROL DEL DRENAJE PLUVIAL EN LA LOCALIDAD DE ALFONSO
UGARTE PROVINCIA DE PICOTA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN"**

De los alumnos: **HIDALGO SAURIN LUIS ALFONSO Y CÁRDENAS PEZO
GERMÁN RENÉ**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó
satisfactoriamente la revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje
de **15% de plagio**.

Se expide la presente, a solicitud de la parte interesada para los fines que
estime conveniente.

San Juan, 24 de Noviembre del 2021.



Dr. César J. Ramal Asayag
Presidente del Comité de Ética – UCP

Document Information

Analyzed document	UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_LUISHIDALGO_GERMANCARDENAS_V1.pdf (D119205508)
Submitted	2021-11-19T17:29:00.0000000
Submitted by	Comisión Antiplagio
Submitter email	revision.antiplagio@ucp.edu.pe
Similarity	15%
Analysis address	revision.antiplagio.ucp@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	Universidad Científica del Perú / UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_SEGUNDOPANDURO_RAFAELSINTI_V1.pdf		
	Document UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_SEGUNDOPANDURO_RAFAELSINTI_V1.pdf (D118005931)		30
	Submitted by: revision.antiplagio@ucp.edu.pe Receiver: revision.antiplagio.ucp@analysis.urkund.com		
W	URL: https://1library.co/document/qmj7344q-utilizacion-de-hormigon-poroso-para-revestimiento-de-taludes.html		
	Fetches: 2021-11-19T17:37:00.0000000		1
W	URL: https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7483/tesis599.pdf?sequence=1		
	Fetches: 2021-11-19T17:37:00.0000000		1
W	URL: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/9778/4/IV_FIN_105_TE_Pomala za_Guillermo_2021.pdf		
	Fetches: 2021-11-19T17:37:00.0000000		2
W	URL: https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/4928/bautista_paj.pdf?sequence=1&isAllowed=y		
	Fetches: 2021-11-19T17:37:00.0000000		11
W	URL: https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/3616/Tesis%20Ing%20Monetti%2002-07-18.pdf?sequence=1&isAllowed=y		
	Fetches: 2021-11-19T17:37:00.0000000		5
W	URL: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1308&context=ing_civil		
	Fetches: 2021-11-19T17:37:00.0000000		1
SA	Universidad Científica del Perú / UCP_INGENIERIA CIVIL_2020_TESIS_LISBETH SOTO_GENITH SOPAN_V1.pdf		
	Document UCP_INGENIERIA CIVIL_2020_TESIS_LISBETH SOTO_GENITH SOPAN_V1.pdf (D75624869)		2
	Submitted by: revision.antiplagio@ucp.edu.pe Receiver: revision.antiplagio.ucp@analysis.urkund.com		
SA	EF_REVISION SISTEMATICA_ TALLER TESIS.docx		
	Document EF_REVISION SISTEMATICA_ TALLER TESIS.docx (D110467975)		1

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Con Resolución Decanal **N° 755-2021-UCP-FCEI** del 02 de noviembre del 2021, la FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP designa como Jurado Evaluador de la sustentación de tesis a los señores:

- | | |
|--|------------|
| • Ing. Caleb Rios Vargas, M.Sc. | Presidente |
| • Ing. Luis Armando Cuzco Trigozo, M.Sc. | Miembro |
| • Ing. Isaac Duhamel Castillo Chalco. | Miembro |

Como Asesor: **Ing. Víctor Eduardo Samamé Zatta, M. Sc.**

En la ciudad de Tarapoto, siendo las 15:00 horas del día 15 de diciembre del 2021, modo virtual con la plataforma del ZOOM, supervisado en línea por la Secretaria Académica de la Facultad y el Director de Gestión Universitaria de la Filial Tarapoto de la Universidad, se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa de la Tesis: **“PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO, UTILIZANDO CONCRETO POROSO PARA EL CONTROL DEL DRENAJE PLUVIAL EN LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE, PROVINCIA DE PICOTA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN”**.

Presentado por los sustentantes:

LUIS ALFONSO HIDALGO SAURÍN y GERMÁN RENÉ CÁRDENAS PEZO

Como requisito para optar el título profesional de: **INGENIERO CIVIL**.

Luego de escuchar la sustentación y formuladas las preguntas las que fueron: **ABSUELTAS**.

El Jurado después de la deliberación en privado llegó a la siguiente conclusión:

La sustentación es: **APROBADA POR MAYORÍA CON LA NOTA DE QUINCE (15)**.

En fe de lo cual los miembros del Jurado firman el acta.



Presidente



Miembro



Miembro

APROBACIÓN

Tesis sustentada en acto público el día 15 de diciembre del 2021 a las 03.00 p.m.



M.Sc. Ing. CALEB RÍOS VARGAS
PRESIDENTE DEL JURADO



M.Sc. Ing. LUIS ARMANDO CUZCO TRIGOZO
MIEMBRO DEL JURADO



Ing. ISAAC DUHAMEL CASTILLO CHALCO
MIEMBRO DEL JURADO



M.Sc. Ing. VICTOR EDUARDO SAMAMÉ ZATTA
ASESOR

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	3
APROBACIÓN	4
RESUMEN	9
ABSTRACT	11
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	13
1.1 Introducción	13
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	15
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	15
2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES	15
2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES	19
2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES	22
2.2 BASES TEÓRICAS	23
2.3 DEFINICIÓN DE TERMINOS BÁSICOS	39
CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	42
3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	42
3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	42
3.2.1 PROBLEMA GENERAL	42
3.2.2 PROBLEMAS ESPECIFICOS	43
3.3 OBJETIVOS	43
3.3.1 OBJETIVO GENERAL	43
3.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	43
3.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	43
3.5 HIPÓTESIS	43
3.6 VARIABLES	44
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA	45
4.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	45
4.2 POBLACIÓN Y MUESTRA	45
4.3 TÉCNICAS, INSTRUMENTO Y PROCESAMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	45
CAPÍTULO V: MATERIALES Y MÉTODOS	47
5.1 Método de Análisis de Datos	47
5.2 Mezcla de Hormigón Poroso	48
5.3 Materiales y Dosificaciones	48
5.4 Método para elaboración del material	48

5.5 Ensayos sobre material en estado fresco.....	49
5.6 Ensayo de asentamiento con tronco de cono de Abrams de acuerdo a Norma IRAM 1536.....	50
5.7 Ensayos sobre hormigón en estado endurecido.....	51
5.8 Resistencia a Compresión	52
5.9 Resistencia a Tracción por Flexión	53
5.10 Porosidad.....	54
5.11 Coeficiente de permeabilidad del agua.....	54
CAPÍTULO VI: RESULTADOS	56
6.1 Análisis del Slump.....	56
6.2 Análisis de la Resistencia a la Compresión.....	56
6.3 Análisis de la Resistencia a la Flexión	59
6.4 Análisis de la Relación de Vacíos	61
6.5 Análisis de la permeabilidad	62
6.6 Propuesta de Diseño de Pavimento Rígido.....	64
CAPÍTULO VII: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	66
7.1 Contraste de Hipótesis	66
7.1.1 Hipótesis General.....	66
7.1.2 Hipótesis Específicas.....	66
7.1.3 Determinación de la resistencia a la flexión.....	67
7.2 Discusión de resultados	68
7.3 Resistencia a Tracción por Flexión	69
CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
8.1 Conclusiones.....	70
8.2 Recomendaciones.....	71
CAPÍTULO IX: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
ANEXOS	74

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Concreto poroso	24
Ilustración 2: a) asfalto normal y poroso, b) concreto poroso.....	35
Ilustración 3: a) Disposición típica de un sistema de pavimento permeable, b) Disposición típica de un sistema de pavimento poroso.....	36
Ilustración 4: Ensayo de Tronco de cono de Abrams invertido para la serie K	49
Ilustración 5: Ensayo de asentamiento para la serie K	50
Ilustración 6: Evaluación de posible segregación de pasta en la serie K	50
Ilustración 7: Resistencia a la Compresión Promedio con respecto a los diseños	58
Ilustración 8: Resistencia a la Compresión Promedio con respecto a los días de curado	59
Ilustración 9: Resistencia a la Compresión Promedio con respecto a los diseños	61
Ilustración 10: Permeabilidad promedio con respecto al diseño de especímenes	63
Ilustración 11: Propuesta de Pavimento Propuesto	64
Ilustración 12: Resultados de Resistencia a la Compresión	67
Ilustración 13: Resultados de Resistencia a la Flexión	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Mantenimiento del pavimento poroso.....	38
Tabla 2: Secuencia de carga de materiales y homogeneización de la mezcla	49
Tabla 3: Análisis de Slump del Concreto Poroso	56
Tabla 4: Especímenes ensayados con su respectiva resistencia a la compresión.....	57
Tabla 5: Resumen de la Resistencia a la compresión en relación a la edad de ensayo	57
Tabla 6: Especímenes ensayados con su respectiva resistencia a la flexión ..	60
Tabla 7: Resumen de la Resistencia a la compresión en relación a la edad de ensayo	60
Tabla 8: Densidad y Relación de Vacíos de los especímenes.....	62
Tabla 9: Permeabilidad de los especímenes	63
Tabla 10: Permeabilidad Promedio de los especímenes	63
Tabla 11: Contraste de Variables con la Hipótesis General	66
Tabla 12: Resultados de Resistencia a la Compresión.....	66
Tabla 13: Resultados de Resistencia a la Flexión.....	67

RESUMEN

Las intensas precipitaciones que se han presentado en los últimos meses en la localidad de Alfonso Ugarte, provincia de Picota, el sistema de drenaje en mal estado provoca un incremento en el caudal de agua que además de saturar las alcantarilladas pluviales, convierte las calles de dicha localidad sin una derivación optima de las aguas pluviales acumulándose en el pavimento rígido, para ello, es posible, plantear la propuesta de diseño haciendo uso de una capa constituida por Concreto Poroso.

Esta investigación tuvo como finalidad, determinar un tipo de concreto poroso, con capacidad de infiltrar las aguas pluviales y derivarlas a drenes naturales o artificiales y solucionar el problema de aniego en zonas lluviosas y con topografía plana.

En los últimos años presenta diversos problemas por la falta de evacuación de aguas pluviales, esto se asocia con el crecimiento poblacional, puesto que la zona urbanizada al incrementar su tamaño produce una necesidad de contar cada vez con mejores infraestructuras y fundamentalmente con pavimentos para el buen tránsito.

En la actualidad, se necesitan construcciones innovadoras para disminuir los problemas causados por las fuertes precipitaciones pluviales o el déficit que existe en la captación de aguas.

El concreto poroso es un concreto especial, que permite el paso del agua a través de su estructura gracias al alto porcentaje de vacíos que posee a diferencia del concreto tradicional. Esta cualidad contribuye a culminar con la falta de permeabilidad en las estructuras tradicionales de concreto, evitando fallas estructurales debido al encharcamiento y escurrimiento del agua.

La investigación realizada en la presente Tesis busca determinar si realizando un correcto diseño de mezcla de Concreto Poroso, que cumpla con propiedades mecánicas adecuadas puede ser utilizado como capa de rodadura en pavimentos rígidos, y de esta manera tener un óptimo sistema de drenaje en el Jr. Alfonso Ugarte cuadras 1,2 y 3 de la misma localidad.

Se deben tener en cuenta las consideraciones básicas de diseñar un pavimento poroso, como son: condiciones del suelo, características del concreto poroso y evaluación de las precipitaciones en la localidad.

Se trata del cálculo para lograr el diseño del sistema de drenaje, así como de los espesores que tendrán nuestro pavimento poroso y su aplicación a un problema específico.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el diseño se concluye que la propuesta presentada en esta investigación cumple con los parámetros básicos para considerársele como un apropiado diseño para mejorar el sistema de drenaje pluvial del Jr. Alfonso Ugarte cuadras 1,2, y 3.

Palabra claves: Sistema de drenaje Pluvial, Pavimento Poroso, Infiltración y Permeabilidad.

ABSTRACT

The intense rainfall that has occurred in recent months in the town of Alfonso Ugarte, Picota province, the drainage system in poor condition causes an increase in the flow of water that, in addition to saturating the storm sewers, converts the streets of said location without an optimal diversion of rainwater accumulating on the rigid pavement, for this, it is possible to silver the design proposal using a layer made up of Poroso Concrete.

The purpose of this research was to determine a type of poroso concrete, capable of infiltrating rainwater and diverting it to natural or artificial drains and solving the problem of watering in rainy areas and with flat topography.

In recent years it has presented various problems due to the lack of rainwater evacuation, this is associated with population growth, since the urbanized area increases its size produces a need to have better infrastructures and fundamentally with pavements for good transit.

At present, innovative constructions are needed to reduce the problems caused by heavy rainfall or the deficit that exists in water catchment.

Porous concrete is a special concrete, which allows water to pass through its structure thanks to the high percentage of voids it has, unlike traditional concrete. This quality contributes to culminating in the lack of permeability in traditional concrete structures, avoiding structural failures due to ponding and water runoff.

The research carried out in this Thesis, seeks to determine if, by carrying out a correct design of the Porous Concrete mix, which complies with adequate mechanical properties, it can be used as a rolling layer in rigid pavements, and in this way have an optimal drainage system in the Jr. Alfonso Ugarte blocks 1, 2 and 3 of the same town.

The basic considerations that must be taken into account when designing a poroso pavement must be taken into account, such as: soil conditions, characteristics of poroso concrete and evaluation of rainfall in the locality.

It is about the calculation to achieve the design of the drainage system, as well as the thicknesses that our porous pavement will have and its application to a specific problem.

According to the results obtained in the design, it is concluded that the proposal presented in this investigation complies with the basic parameters to be considered as an appropriate design to improve the pluvial drainage system of Jr. Alfonso Ugarte blocks 1,2, and 3.

Key words: Storm drainage system, Porous Pavement, Infiltration and Permeability.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

Con respuesta a estos efectos nocivos, desde décadas pasadas se han venido concibiendo y probando una serie de técnicas alternativas de drenaje pluvial, las cuales intentan crear soluciones que generen la menor diferencia posible, complementando y sustituyendo en algunos casos los sistemas de drenaje convencional y aliviando las demandas excesivas que se presentan de manera puntual en el tiempo

Dentro de las infraestructuras más afectadas, se encuentran los pavimentos de carretera urbana, puesto que son de vital importancia para la comunicación entre poblaciones. Por ello, existe la necesidad de contar con soluciones innovadoras en las construcciones y diseños de pavimentos con la finalidad de disminuir riesgos de colapsos, causados muchas veces por la falta de sistemas de drenaje, ya que las vías convencionales alteran el balance del ciclo hidrológico, debido a la falta de captación de agua. Asimismo, las precipitaciones de las aguas generan escorrentías superficiales llegando a producir en el peor de los casos inundaciones.

Debido a estos acontecimientos, en el rubro construcción se viene innovando la implementación de pavimentos drenante para optimizar la captación y reciclaje del recurso más importante para la vida, el agua; siendo este un recurso fundamental para el desarrollo humano.

El desarrollo sostenible y su aplicación en la construcción son fundamentales hoy en día en el sector de la ingeniería civil. Dentro de la amplia variedad de procedimientos constructivos que forman parte de la tendencia de construcción sostenible y de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible más completos se encuentran los pavimentos porosos, los cuales son secciones compuestas de varias capas de materiales de construcción que permiten el paso del agua a través suyo, desde la superficie hasta la base de apoyo, y en conjunto ofrecen la capacidad portante necesaria para resistir un tránsito determinado.

La implementación del pavimento de concreto poroso tiene como finalidad mitigar el impacto de las escorrentías superficiales en las vías. Se debe tener en cuenta que, si no brindamos una solución eficaz a este problema, las zonas urbanas se verán afectadas por inundaciones, encharcamientos y por consecuencia, desgaste en los pavimentos, afectando el tránsito peatonal y vehicular.

Esta investigación describe algunos antecedentes sobre las consecuencias de las inundaciones por falta de captación de aguas de lluvias y la importancia del pavimento poroso. Se plantea la problemática del presente estudio y se trabaja sobre la base de los objetivos. La teoría es parte fundamental para abordar conceptos relacionados al pavimento drenante, pero la parte modular de este trabajo está en la propuesta de diseño de mezcla del concreto poroso como capa de rodadura, donde se establecen los parámetros a seguir para el desarrollo, construcción y mantenimiento del pavimento drenante.

A través de este documento busca describir y analizar el uso del concreto poroso como sistema de drenaje en el Jr. Alfonso Ugarte cuerdas 1,2 y 3, también se pretende mostrar el estado del arte de los concretos porosos aplicados en los drenajes pluviales, generando la unificación de estos conocimientos y adaptarlo a la propuesta planteada de la presente tesis, teniendo en cuenta las ventajas y desventajas que estos podrían conllevar el cual mostrara posibilidad de implementar la propuesta.

Actualmente se han creado muchas opciones para mitigar el gran problema de colapso del sistema de drenaje pluvial, entre los que más destaca es el uso de concretos porosos para pavimentar las vías de tránsito moderado. Este material resulta novedoso por permitir drenar el agua de lluvia de manera inmediata y eficiente, en el menor tiempo posible, evitando que se produzca inundaciones o colapsen las redes de agua y desagüe.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

- Según **Irving Cibrián Fernández (2009)** en su tesis de grado titulada **“Reducción De Esgurrimientos Pluviales Mediante la Utilización de Pavimentos de Concreto Permeable”**. De la **Universidad Nacional Autónoma de México**, Se llegan a las siguientes conclusiones:
 - El concreto permeable es un concreto no convencional con propiedades de excelente permeabilidad que permite su utilización como una superficie de infiltración de esgurrimientos, al mismo tiempo que cumple con la función de pavimento para uso ligero, por lo que es una excelente herramienta para la reducción de los esgurrimientos superficiales en áreas urbanas.
 - Este tipo de concreto tiene un alto contenido de huecos, debido a que tiene poco o nada de agregado fino en la mezcla, lo que permite el paso de agua pluvial captada y los esgurrimientos superficiales de áreas pequeñas a través de él.
 - Las granulometrías del agregado grueso usado en el concreto son típicamente de un solo tamaño, de entre $\frac{3}{4}$ y $\frac{3}{8}$ de pulgada, redondeado o triturado satisfaciendo los requisitos de ASTM D448 y C33. La capa de concreto resultante tiene una alta permeabilidad, con frecuencia es muchas veces más permeable que el suelo que lo soporta, permitiendo la rápida filtración de las precipitaciones a través de la superficie hacia las capas subyacentes.
- **Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela de Ingeniería en Construcción**, Titulada **“Metodología De Diseño Para Concretos Permeables y sus Respectivas Correlaciones de permeabilidad”**, que llegan a las siguientes conclusiones:

- Se formuló realizar una propuesta de metodología de diseño de concreto permeable que toma en cuenta las características de forma del agregado, cemento a utilizar, relación A/C y energía de compactación a aplicarse; sumado a esto se propusieron índices de compactación propios asociados a energías de compactación específicas. • Se observó al trabajar con las mezclas en estado fresco que para la relación A/C de 0,25 la trabajabilidad era muy baja con lo cual se hacía difícil el manejo de esta, para la relación de 0,27 a pesar de ser un aumento pequeño la diferencia en la trabajabilidad es apreciable debido a lo que se ha mencionado respecto a lo delicado que llega a ser el tema del agua; de la misma manera y como era de esperarse para la relación de 0,30 la trabajabilidad mejora aún más. • Las mezclas de concretos permeables alcanzan resistencias menores que las de los concretos convencionales utilizando el mismo cemento, esto sucede debido a su configuración de estructura abierta que produce vacíos en el material, los cuales son ocupados por la combinación de agregado fino y cemento en los concretos convencionales. • Se obtuvieron resistencias a la compresión uniaxial a 28 días para el diseño A desde los 14,50 MPa hasta los 19,45 MPa; mientras para el diseño B en el rango de los 12,99 MPa hasta los 13,70 MPa.
- **Cruz, Segovia, González, Lizárraga, Olguín y Rangel (2014). Tesis: “Diseño de un Concreto Permeable para la Recuperación de Agua”.**

Esta investigación señala que una de las principales virtudes que tiene el concreto permeable al implementarlo en pavimentos es manejar adecuadamente las aguas pluviales mediante la infiltración, favoreciendo el restablecimiento de acuíferos y la prevención de inundaciones.

En dicha tesis se elaboró un diseño de concreto permeable para implementarlo en estaciones de lavado de automóviles, la cual permitiese recuperar el agua y posteriormente tratarla para su reutilización. Se diseñaron diferentes diseños utilizando una variedad de aditivos tales como cemento, ceniza volante y arena de sílice.

Los resultados que se obtuvieron fueron que el diseño de concreto permeable sin agregado fino y con aditivo humo de sílice al 15%, desarrolló las propiedades mecánicas de resistencia necesaria para su aplicación a los 21 días de edad.

- **Porras Morales, José (2017)** en su proyecto titulado **“Metodología de diseño para concretos permeables y sus respectivas correlaciones de permeabilidad”**, desarrollado en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, para obtener su proyecto de grado, expone como objetivo de su proyecto:

Desarrollar una propuesta metodológica de diseño de concretos hidráulicos permeables y sus respectivas correlaciones de permeabilidad. La metodología que utilizó fue un diseño experimental, en el cual realizó tres moldes de cilindro para mezclas diferentes y en cada mezcla utilizó distintos porcentajes de vacíos, relación de agua/cemento y métodos de compactación, como base para proponer una metodología de diseño tomo lo recomendado por el ACI 522R-10 y la NRMCA. Se verificó que ninguna de las dos satisfacía por completo lo buscado, así que en su propuesta estimó como lo principal determinar el peso unitario del agregado, volumen de pasta, contenido de agua/cemento y el contenido de vacíos para tener un concreto eficazmente permeable. El autor concluyó diciendo al trabajar con mezclas en estado fresco la relación A/C de 0,25 la trabajabilidad era muy baja con lo cual se hacía difícil el manejo de esta, para la relación de 0,27 a pesar de ser un aumento pequeño la diferencia en la trabajabilidad es apreciable; de la misma manera y como era de esperarse para la relación de 0,30 la trabajabilidad mejora aún más.

- **Felipe Moujir, Yalil y Felipe Castañeda, Luis (2014)** en su tesis titulada **“Diseño y Aplicación de Concreto Poroso para Pavimentos”**, desarrollada en la Pontificia Universidad Javeriana, para obtener su tesis de grado, exponen como objetivo de su investigación: el diseño de un concreto poroso para ser aplicado en estructuras de pavimentos rígidos teniendo en cuenta la inclusión o no de agregados finos. Utilizaron como

referencia el documento titulado Laboratory study of mixture proportioning for previous concrete pavement (Castro, de Solminihac, Videla & Fernández, 2009) para poder desarrollar la dosificación mediante una ecuación que analiza el comportamiento de mezclas de concreto con diferentes relaciones de agua/cemento y el contenido de vacíos, posteriormente también se aplicó la norma ACI 522 R para validar las mezclas obtenidas. Los autores concluyeron mencionando que la relación que existe entre la porosidad y la resistencia del concreto son inversamente proporcionales, es decir que a mayor cantidad de poros menor es la resistencia del concreto.

- Trujillo López, Alejandra y Quiroz Lasprilla, Diana (2013) en su tesis titulada “Pavimentos Porosos utilizados como Sistemas Alternativos al Drenaje Urbano”, desarrollada en la Pontificia Universidad Javeriana, para obtener su tesis de grado, exponen como objetivo de su investigación: realizar una revisión crítica del estado del arte acerca de los pavimentos porosos y permeables utilizados como sistemas alternativos al drenaje urbano. A partir de un ejemplo de aplicación se intentó verificar si dichos métodos eran adaptables para su aplicación a la ciudad de Bogotá, se encontraron siete métodos de diseño hidrológico, de los cuales cuatro se basan en curvas IDF y dos en series de precipitación, por otro lado, tan sólo un método intenta dimensionar la estructura en función de objetivos ambientales, pero sin tener en cuenta concentraciones de contaminantes objetivo de entrada al sistema ni objetivos de remoción. Los autores concluyeron mencionando que dichos métodos constructivos no cumplan correctamente con la funcionalidad y el propósito de los pavimentos permeables (lograr una percolación del agua a través de sus capas, sin perder capacidad portante ni estabilidad). Sin embargo, es de resaltar que el medio es factible poner en práctica los métodos constructivos reportados en la literatura, puesto que en general no requieren de un grado especialización muy elevado.

2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES

- Tenemos tesis del autor **Ángel Francesco Pomalaza Guillermo**. En su trabajo de investigación titulado: **“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”**, de la Universidad Continental, Huancayo – Perú 2021, quienes llegaron entre otras a las siguientes conclusiones:
 - La aplicación de pavimentos de concreto poroso beneficiarán satisfactoriamente en la erradicación de la acumulación de las precipitaciones pluviales en las calles de Huancayo a través del drenaje pluvial propuesto, beneficiando a la población con la evacuación rápida, y posteriormente con canalización de dichas aguas y su reutilización en temas de riego, y con un mejor manejo y tratamiento en uso doméstico.
 - Se determinó que la relación entre la porosidad y la resistencia del concreto son inversamente proporcionales, lo que se entiende que a mayor porcentaje de porosidad menor será la resistencia del concreto, y entre los dos diseños planteados “A” con finos y “B” sin finos, el que mejor se comporta mecánicamente es el diseño “A” por la presencia de finos que le da mejor resistencia a la compresión.
 - Los diseños “A” con finos tienen mejor comportamiento en temas de resistencia a compresión y flexión en sus tres porcentajes de vacíos (15%, 20% y 25%), por ese motivo su aplicación da un mejor resultado en temas de pavimentos porosos, así también su trabajabilidad y preparación de mezcla es más sencillo y este puede ser aplicado sin ningún problema en campo, ya que los finos mejoran su trabajabilidad y contienen mejor la cantidad de agua en la mezcla.
- **Martínez, Geinner (2013)**. En su Trabajo de grado Titulada **“Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible “SUDS” Como Alternativa de Control y Regulación de las Aguas Lluvias en la Ciudad De**

Palmira”, Universidad Militar Nueva Granada – Bogotá D.C. Presenta las siguientes conclusiones:

- Realizada la consulta de diversas fuentes en materia de SUDS, fue posible conocer la gran variedad de técnicas no convencionales que han surgido como alternativa a las deficiencias de los sistemas convencionales para la recolección y transporte de aguas lluvias, así como los múltiples beneficios de la implantación adecuada de estos sistemas en diversos escenarios. Estas técnicas de gran aceptación y aplicación en muchos países surgieron en respuesta a los problemas asociados al crecimiento de las ciudades, a la impermeabilización del suelo, a la limitación de los sistemas existentes de drenaje.
- La ciudad de Palmira presenta al interior del perímetro urbano un porcentaje importante de áreas y vacíos urbanos destinados al desarrollo de diversos proyectos urbanísticos, adicionalmente en la última actualización del POT incluye nuevas áreas de expansión que incrementaran las superficies impermeables y con ello los volúmenes de escorrentía generando mayor presión y demanda no solo sobre la infraestructura de drenaje existente sino también sobre las fuentes receptoras. En este contexto se selecciona un proyecto destinado a la construcción de vivienda justificando la necesidad de realizar un manejo y control de las escorrentías por la limitada capacidad de la infraestructura existente y la magnitud de las obras necesarias en caso de una alternativa tradicional.
- Mediante la implementación y simulación del modelo hidráulico fue posible verificar el funcionamiento del sistema una vez implantado el estanque de detención, con la ventaja de simular el flujo tanto en la red como en el depósito de forma conjunta e interactiva, determinando el volumen necesario para un evento específico y comprobando la funcionalidad de los demás elementos que conforman el sistema, incluida la entrega regulada a la red existente.
- De acuerdo con la tesis de **“Análisis flexotracción del concreto permeable”**, se pudo estipular la resistencia a la flexotracción del

concreto permeable, diseñar un pavimento en concreto permeable e inferir las grandes propiedades y ventajas que posee este material, comenzando por la protección del medio ambiente. SOLANO Cindy (2010).

Visto el concreto permeable como una opción de pavimento sostenible, ODEBRECHT (2014) Hormigón permeable en estacionamientos de vehículos. Se determinó su excelente comportamiento al manejar el agua de escorrentía superficial. Así de esta forma se tiene que se puede disminuir el tamaño o incluso hasta eliminar la construcción de lagunas de retención.

- Además, tenemos una Tesis del Autor: Alessandro Jesús Bautista Pereda, Titulada: **“Diseño De Pavimento Rígido Permeable Para la Evacuación de Agua Pluviales Según la Norma ACI 522R-10”**, de la Universidad de San Martín de Porres, que llegan a las siguientes conclusiones:
 - Los diseños que no tienen agregado fino son los que tienen poca resistencia a la compresión y flexión. Este es el caso del Diseño 1 propuesto, que tuvo una resistencia a la compresión y a la flexión a los 28 días de 51.3 kg/cm² y MR = 22.35 kg/cm².
 - Los diseños que poseen agregado fino son superiores en cuanto a soportar esfuerzos se refiere, pero obstruyen los vacíos. En ese sentido, los agregados finos disminuyen la permeabilidad, pero ayudan al concreto a ganar resistencia.
 - Los diseños con alto contenido de vacíos tienen una buena permeabilidad, como el caso del Diseño 1 que posee una permeabilidad de 0.91 cm/s, pero tienen baja resistencia.
 - El requisito mínimo de resistencia a la compresión para pavimentos especiales (aceras o veredas, pasajes peatonales y ciclovías) según la norma C.E 010 – Pavimentos Urbanos, es de 175 kg/cm², por lo que el Diseño 5 si cumple con la resistencia a los 28 días (177.98 kg/cm²).

El requisito mínimo de módulo de rotura para pavimentos en vías locales según la norma C.E 010 – Pavimentos Urbanos, es de $MR = 34 \text{ kg/cm}^2$, por lo que el Diseño 5 si cumple con el módulo de rotura a los 28 días (45.07 kg/cm^2).

- En el ámbito nacional, Perú no ha sido ajena a este tipo de tecnología, así pues, se tiene la obra de Revestimiento de las tuberías de la Planta de tratamiento de agua en Huachipa (Lima, 2011). La empresa encargada para expedir este tipo de material es UNICON, una empresa dedicada a la fabricación de concreto premezclado; este tipo de material está considerado dentro de la gama de concretos especiales. De acuerdo a la ficha técnica, considerada en el ANEXO 8, elaborado bajo fuente de dicha empresa, se puede concluir que sus ventajas son variadas, pero sobre todo que tiene bajo impacto ambiental, siendo su uso más frecuente el recargar los acuíferos subterráneos. Evitando de cualquier modo la formación de charcos.

2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES

- **Sopan Hernández Genith - Soto Jara Lisbeth**, con su tesis **“Propuesta de Diseño de Pavimento, utilizando Concreto Permeable para el Control del Drenaje Pluvial en el Jr. Malecón Germán Aliaga de la Ciudad de Tocache”** en sus conclusiones indica lo siguiente:

Esta investigación asegura la implementación del concreto permeable en el diseño de un pavimento rígido es la mejor forma de evitar que el agua se acumule en la superficie y que permita llevar el agua acumulada a un respetivo sistema de alcantarillado

En la presente tesis se elaboraron mezclas empleando dos tipos de cemento portland: Tipo I y Tipo ICo, agregados de la cantera La Victoria, tiras de plástico, polipropileno y aditivo reductor de agua, en distintas combinaciones y cantidades. Posteriormente se elaboraron

especímenes de prueba, tales como cilindros y vigas para cada diseño y con el fin de lograr resultados al exponerlos a ensayos mecánicos tales como el ensayo de compresión y flexión. (Azañedo, Chávez y Muñoz, 2010).

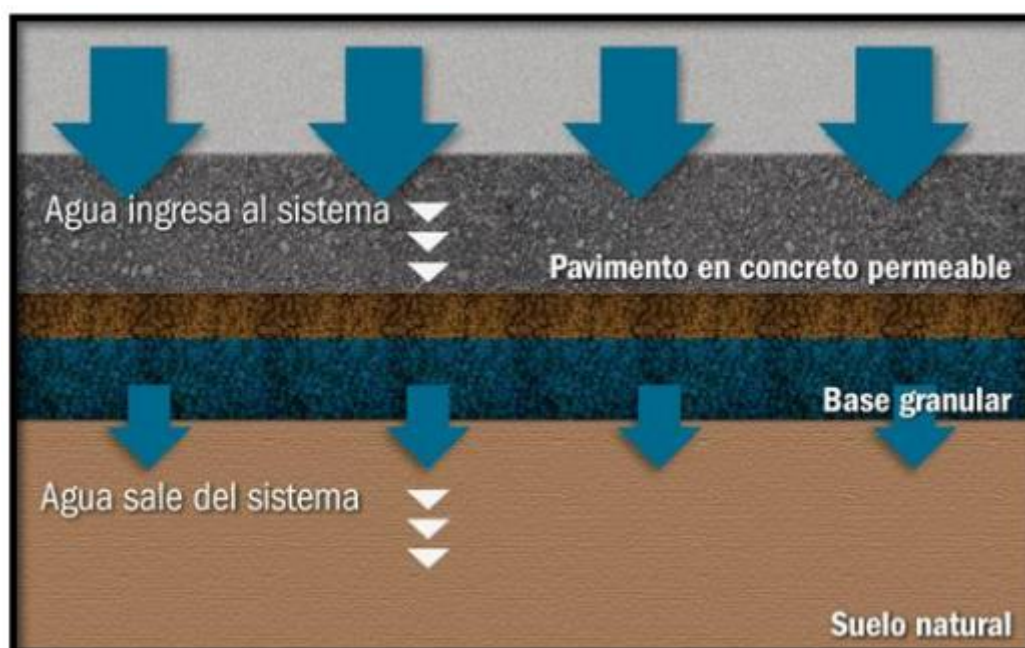
2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Concreto Poroso

Según el ACI 522R-2010, El concreto poroso es un material compuesto por cemento Portland, agregado grueso, poco agregado fino, aditivos y agua. Estos componentes permiten obtener un material resistente con poros interconectados de aberturas entre 2 y 8 mm que permiten que el agua infiltre fácilmente. El contenido de vacíos que permite que el agua fluya está en el rango de 15 y 35% con una resistencia a la compresión típica de 28 a 280 kg/cm². La permeabilidad se encuentra aproximadamente entre 81 y 730 L/min/m² y depende del tamaño de los agregados y la densidad de la mezcla.

La capacidad de infiltración de un concreto poroso varía debido al tamaño de agregado y a la densidad del mismo, pero generalmente está en el intervalo de 81 a 730 L/min/m².

Ilustración 1: Concreto poroso



2.2.1.1 Componentes del Concreto Poroso:

- **Materiales Cementantes:**

El cemento portland es usado principalmente como aglutinante en el concreto poroso, pero también se podría adicionar otros materiales, tales como ceniza volante, escoria granulada o humo de sílice.

A mayor adición de materiales cementantes, como el cemento portland, generará que el concreto sea más resistente, pero se corre el riesgo de la disminución del porcentaje de vacíos del diseño y como consecuencia, se pierde la capacidad de infiltración de agua, por eso el ACI 522R-10 asegura que: “es recomendable diseñar con cantidades que oscilen entre 270 y 415 kg/m³” (ACI 522R-10, 2010: p. 15).

- **Agregados:**

El agregado que generalmente se usa en el diseño del concreto poroso es el grueso, considerando en la mezcla el uso de un solo tamaño o de varios, tomando en cuenta entre $\frac{3}{4}$ y $\frac{3}{8}$ pulg. (19 y

9.5mm). La forma del agregado grueso puede ser angular o redondeado.

El contenido de agregado fino es limitado en la mezcla de concreto poroso, porque compromete a la interconexión de los vacíos dentro del concreto y esto genera la reducción de la infiltración de agua del mismo. La adición de agregado fino también puede incrementar la resistencia a la compresión y la densidad del concreto poroso.

Según el ACI 522R-10 (2010): “la calidad de los agregados en el concreto permeable es igual de importante que en el concreto convencional. Se deben evitar las partículas escamosas o alargadas. El agregado grueso debe ser duro, limpio y libre de recubrimientos” (p. 6).

- **Agua Potable:**

La calidad del agua para el concreto poroso se rige por los mismos requisitos que para el concreto convencional. La relación agua cemento (a/c) de los concretos permeables son relativamente bajas (generalmente entre 0.26 a 0.40) porque una cantidad excesiva de agua conducirá al drenaje de la pasta y la posterior obstrucción del sistema de poros.

- **Aditivos**

Los aditivos sirven para mejorar las propiedades y características del concreto poroso y dependiendo de su tipo, influye en el estado fresco y/o endurecido del concreto.

Los aditivos reductores de agua (de alto o mediano rango) se utilizan dependiendo de la relación agua-cemento (a/c) y deben cumplir los requisitos de la norma ASTM C494.

Los aditivos retardantes son utilizados para la estabilización y el control de la hidratación del cemento, debido a esto, son usados comúnmente cuando se trata de mezclas rígidas como el concreto permeable y sobre todo en aplicaciones en climas cálidos. También pueden actuar como lubricantes, esto ayuda a la descarga del concreto desde la mezcladora, así como también mejora el manejo.

Los aditivos aceleradores se pueden utilizar cuando el concreto permeable se implementa en ambientes fríos.

Los aditivos incorporadores de aire no son frecuentemente usados en el diseño de un concreto permeable, pero son utilizados en ambientes susceptibles al hielo y deshielo. También tienen que cumplir los requerimientos de la norma ASTM C260 (ACI 522R-10, 2010).

2.2.1.2 Aplicaciones

Debido a su propiedad de infiltración y buen control de las aguas pluviales, el concreto poroso ha sido usado en una amplia variedad de aplicaciones, la más resaltante es su uso en pavimentos. Las ventajas del uso de pavimentos de concreto poroso sobre los pavimentos de concreto convencional son los siguientes: el control de sustancias contaminantes en aguas pluviales; control de la escorrentía de las aguas pluviales; aumento de las facilidades para estacionamientos mediante la eliminación de la necesidad de áreas para la retención de agua; reducción del brillo en gran parte de las capas superficiales de pavimentos, especialmente cuando es de noche; reducción del ruido generado por la interacción entre el neumático y el pavimento; eliminación o reducción de las dimensiones del drenaje pluvial; permitir que el aire y agua lleguen a las raíces de los árboles; entre otros. (ACI 522R, 2010).

Sin embargo, el éxito de estas aplicaciones dependerá de diferentes factores tales como la experiencia del constructor, la compactación del suelo y el adecuado diseño de acuerdo con la zona del proyecto.

El concreto permeable es también usado en la capa de rodadura en estacionamientos y vías de bajo tránsito.

Este material también es usado en diversas aplicaciones que requieren sus propiedades, por ejemplo, muros y losas donde se requiera de mejoras en la absorción acústica; capa superficial de pavimentos en parques, veredas, vías peatonales, ciclovías y canchas de tenis; pisos de zoológicos, granjas y jaulas de animales; o para cubiertas para piscinas, etc., (ACI 522R, 2010).

2.2.1.3 Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión es la capacidad que tiene el concreto en soportar un esfuerzo máximo bajo una carga de aplastamiento, la cual es provocada por las estructuras. Generalmente se mide mediante la exposición de un espécimen de concreto expuesto a una carga y se mide su resistencia hasta provocar su falla.

El ACI 522R-10 (2010) menciona diversos factores que influyen en la resistencia a la compresión del concreto poroso, los cuales fueron determinados y descubiertos mediante diferentes tipos de ensayos de laboratorio realizados por diferentes autores.

La proporción de la mezcla y la compactación durante la colocación son los factores que afectan fuertemente a la resistencia a la compresión del concreto poroso. Otros factores que se pueden tomar en cuenta y que también son importantes son: el contenido de vacíos, el tamaño del agregado grueso, la gradación de los agregados, la relación agua - cemento (a/c), polímeros y aditivos minerales, el total de material cementante y el uso de agregado fino en la mezcla de concreto poroso.

Es posible que el concreto poroso llegue a soportar resistencias a la compresión relativamente altas, pero solo se consigue con la disminución de contenido de vacíos y como consecuencia, la reducción de la capacidad de infiltración y de percolación. El tamaño de agregado también afecta a la resistencia a la compresión, debido a que si se utiliza tamaños grandes de agregado reduce la resistencia, así como también al adicionar polímeros y aditivos minerales ayuda al incremento de este.

La relación agua - cemento (a/c) de la mezcla del concreto poroso también es importante para el desarrollo de la resistencia a la compresión y la estructura de vacíos. Cuando se emplea una alta relación agua-cemento, puede generar que la pasta fluya a través del agregado y tape la estructura de vacíos; caso contrario cuando se utiliza una baja relación de agua-cemento, la cual puede ocasionar una mala adherencia entre las partículas del agregado y problemas de colocación. Ensayos de laboratorio muestran que al diseñar un concreto poroso con relación de agua cemento entre los valores de 0.26 y 0.45 proporciona un buen recubrimiento al agregado y estabilidad a la pasta.

El contenido de material cementante en la mezcla de concreto poroso es importante en el desarrollo de la resistencia a la compresión y la estructura de vacíos. Cuando se usa un excesivo contenido de pasta en la mezcla puede ocasionar la obstrucción de los vacíos del concreto y como consecuencia reducir su porosidad. Una poca cantidad de contenido de pasta puede reducir el recubrimiento de los agregados y reducir la resistencia a la compresión. Una óptima cantidad de pasta de material cementante está fuertemente relacionada con el tamaño del agregado y de su gradación.

Debido a que aún no existe un comité o norma que estandarice el ensayo de resistencia a la compresión para un concreto poroso, se

utilizará y ensayará bajo los términos de la norma ASTM C39 o NTP 339.034 para el concreto convencional.

2.2.1.4 Resistencia a la Flexión

También llamado módulo de ruptura, el esfuerzo máximo que soporta en concreto cuando es sometido a tracción. Se calcula mediante la exposición de cargas puntuales a una viga con dimensiones conocidas y se registra el peso que soporta la misma hasta su ruptura.

El ACI 522R-10 (2010) menciona que se han realizado diversos ensayos de laboratorio para descubrir la influencia y la relación entre la resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.

Para esta investigación, se utilizará la norma ASTM C293 o NTP 339.079 para la realización del ensayo de resistencia a la flexión.

2.2.2 Propiedades en Estado Fresco del Concreto Poroso

Las propiedades en estado fresco que se deben tener en cuenta para el diseño de Concreto Poroso son:

- **Trabajabilidad**

Para American Concrete Institute (2007), la trabajabilidad “es la propiedad del concreto o mortero en estado fresco la cual determina la facilidad y homogeneidad con la cual puede ser mezclado, colocado, compactado y terminado”. Esta es una de las propiedades en la cual se debe tener bastante cuidado para el buen diseño de un concreto poroso, ya que nos permitirá tener mejor control de la separación del agregado.

- **Consistencia**

Se puede considerar como la propiedad que nos permite observar la facilidad del concreto para rellenar por completo el molde. El ensayo que nos permite determinar esa propiedad es el de asentamiento de concreto o slump, el cual se realiza aplicando la norma ASTM C143.

Para el concreto poroso no se considera este ensayo como control de calidad, solo se puede considerar como un valor de referencia, debido a que la mezcla es muy rígida. (Pérez, 2017, p. 29).

Según el American Concrete Institute (ACI), recomienda asentamiento para diferentes tipos de concreto, es así como para un concreto poroso el asentamiento máximo es de 2 cm y el revenimiento mínimo es de 0 cm.

- **Densidad**

Para Montejo (2006), la densidad o peso unitario “es la masa del material necesario para llenar un volumen unitario” (p. 61). Esto lo podemos entender como el peso del concreto por unidad de volumen.

Puesto que el concreto poroso tiene un gran porcentaje de vacíos, es considerado como un concreto ligero, ya que su masa volumétrica es el 70% de un concreto normal. Sus valores se encuentran entre 1600 y 2000 kg/m³ (López, 2010, p. 35).

- **Contenido de Aire**

Para Torre (2004), se “mide la cantidad de aire atrapado o retenido en la mezcla (mortero), se expresa en % del volumen total” (p. 13). Es importante no tener demasiado contenido de aire en la mezcla ya que de ser así disminuirá la resistencia.

2.2.3 Propiedades en Estado Endurecido del Concreto Poro

Las propiedades en estado endurecido que se deben tener en cuenta para el diseño del Concreto Poro son:

- **Permeabilidad**

Para Portugal (2007), menciona que la “permeabilidad del concreto, como la de cualquier material, consiste en que éste pueda ser atravesado por un fluido (agua, aire, vapor de agua) a causa de una

diferencia de presión entre las dos superficies opuestas del material” (p. 236).

La característica principal del concreto poroso es sin lugar a dudas la capacidad de filtrar fluidos por medio de su estructura, esta capacidad está relacionada directamente el diseño óptimo de la mezcla, es por eso que se debe hacer énfasis en esta propiedad.

“Diferentes estudios y pruebas han demostrado que se requiere un contenido mínimo de vacíos de aproximadamente 15% para lograr una filtración significativa, además la permeabilidad en este tipo de mezclas para que sea considerada satisfactoria, el tiempo medido debe ser menor a los 100 segundos” (López, 2010, p. 41).

- **Durabilidad**

Se considera como aquella capacidad o propiedad que tiene el concreto para soportar los efectos de la intemperie, sin que se alteren sus propiedades mecánicas.

Al igual que el concreto tradicional, la durabilidad del concreto poroso se enfoca en la vida útil que pueda tener (Pérez, 2017, p. 33).

“Contempla la resistencia del concreto a 3 factores principales, abrasión, congelamiento-deshielo y sulfatos. Los diferentes tipos de concreto necesitan de diferentes durabilidades, dependiendo de la exposición del ambiente y de las propiedades deseables. Los componentes del concreto, la proporción de éstos, la interacción entre los mismos y los métodos de colocación y curado determinan la durabilidad final y la vida útil del concreto”.

2.2.4 Ventajas del Concreto Porofo aplicado en pavimentos

Dentro de las Ventajas que nos puede brindar el Concreto Porofo una vez implementado en Pavimentos son:

- Eliminación o reducción de las dimensiones de alcantarillado pluvial.

- Control de escurrimiento de aguas pluviales.
- Evita encharcamiento y baches.

2.2.5 Desventajas del Concreto Poroso aplicado en pavimentos

Entre las Desventajas más apreciables que presenta esta nueva tecnología es la de perder permeabilidad con el paso del tiempo, al taparse los poros con otro material y que solo se pueda usar en pavimentos con un bajo y/o ligero tránsito.

2.2.6 Criterios de Diseño

Se consideran tres etapas en el procedimiento de diseño: un análisis de factibilidad, un dimensionamiento de los elementos principales y finalmente el diseño de los elementos de detalle:

- Factibilidad. El estudio de factibilidad permite determinar, en base a los antecedentes disponibles sobre las características del suelo y del agua subterránea, si se pueden infiltrar o no las aguas lluvias superficiales hacia el suelo bajo el pavimento, y si es conveniente o no utilizar un pavimento poroso.
- Dimensionamiento. El dimensionamiento de los pavimentos porosos y de sus elementos principales requiere disponer de las características del terreno y del suelo base, así como también de estudios hidrológicos e hidrogeológicos.
- Diseño de detalle. Una vez determinados los espesores de las capas del pavimento es necesario abordar el diseño de detalle, que se traduce en los planos de la obra y sus especificaciones técnicas generales y especiales. En esta etapa se deberán dimensionar las cunetas, soleras y bermas, y demás elementos laterales necesarios, así como solucionar las condiciones de empalme y unión con los otros pavimentos conectados.

2.2.7 Tipos de Concretos Porosos

Los concretos porosos en pavimentos convencionales son diseñados para el paso de vehículos, por lo general, estos consisten en capas superpuestas de material de pavimento compactado y sellado superficial. Un aspecto integral de diseño de pavimento convencional consiste en impedir la entrada de agua en el suelo, a través del sello o las juntas de pavimentación, para proteger la integridad de la capa base y sub base (Lucke, Beecham, Boogaard, & Myers, 2013).

Existen diferentes tipos de pavimentos porosos, los cuales se pueden clasificar de acuerdo con el material de su capa de rodadura. Estos se clasifican en dos grupos: Pavimentos de asfalto poroso y pavimentos de concreto poroso.

- **Pavimentos permeables en asfalto poroso**

Es el tipo de pavimento poroso más antiguo y consta de una capa de rodadura, conformada por una mezcla bituminosa de asfalto en pequeñas cantidades y agregados de tamaño grueso uniformemente gradados, reforzado con fibras de polímeros para contrarrestar la pérdida de resistencia por el aumento del porcentaje de vacíos (entre 15% y 20%) (Reyes y Torres, 2002).

El aumento del porcentaje de vacíos permite tener una superficie más poroso por donde el agua se puede infiltrar a la zona de almacenamiento o amortiguamiento, lo que mejora la tracción, la visibilidad, y disminuye la escorrentía superficial cuando ocurren los eventos lluviosos en la zona o vía en donde se es implementado (Ferguson, 2005).

Una segunda capa de arena filtrante que separa, la capa de rodadura de la capa de almacenamiento y llena los vacíos superficiales de esta última. Para evitar la colmatación del sistema en ocasiones esta se separa de la capa de rodadura por medio de un geotextil (Cahill, 2003; Ferguson, 2005).

- **Pavimentos permeables en concreto poroso**

La capa de rodadura de este pavimento consiste en una mezcla de agregados gruesos uniformemente gradados, y cemento y agua. La mezcla se desarrolla con una relación agua cemento para aumentar la resistencia, que al igual que en el primer caso la pérdida de resistencia es ocasionada por el aumento del porcentaje de vacíos. Esta mezcla ocasiona una estructura porosa de célula abierta por donde el agua puede fluir (Ferguson, 2005).

2.2.8 Pavimentos Porosos

Los sistemas de pavimento poroso de concreto y pavimento poroso asfáltico son propensos a la obstrucción de sus poros, alrededor de tres años después de la instalación, haciendo así que se experimente una pérdida de porosidad. Una vez totalmente obstruido, estos sistemas tienen que ser eliminados por completo y posteriormente sustituido. El reemplazo frecuente de estos sistemas hace que estos tipos de técnicas sean poco prácticas y costosas (Scholz & Grabowiecki, 2006).

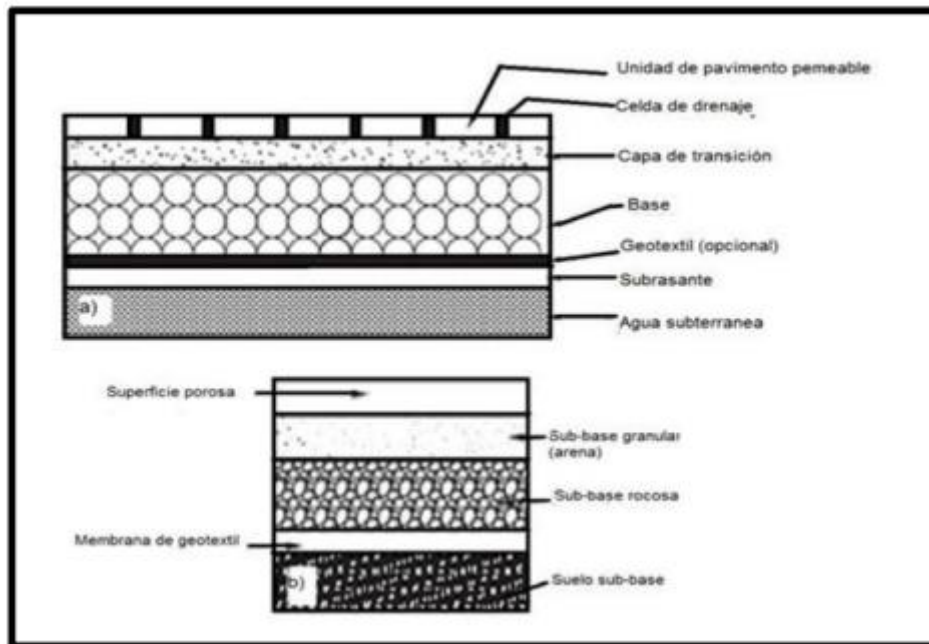
Los concretos permeables en pavimentos son diseñados específicamente para promover la infiltración de las aguas lluvias a través de las diferentes capas de base, lo cual da como resultado el manejo de aguas lluvias y beneficios ambientales. El agua lluvia es filtrada, ya sea recolectándola para su posterior reutilización o liberándola lentamente en suelos subyacentes o en sistemas de drenaje de aguas pluviales (Fletcher, Deletic, Mitchell, & Hatt, 2008).

Ilustración 2: a) asfalto normal y poroso, b) concreto poroso



La estructura más común de los pavimentos permeables y porosos consiste en tres capas (ilustración 3), (i) una capa de rodadura que permite la entrada del agua, que puede ser en diferentes materiales como asfalto, concreto (pavimentos porosos), arcilla, grava, pasto (pavimentos permeables) (ii) una capa de material granular fino, la cual permite una instalación adecuada de la capa de rodadura y (iii) una capa compuesta por una matriz de material granular de gran tamaño, o por módulos o geo-células plásticas donde el agua se almacena (sub base).

Ilustración 3: a) Disposición típica de un sistema de pavimento permeable, b) Disposición típica de un sistema de pavimento poroso



Los pavimentos permeables son diseñados específicamente para promover la infiltración de las aguas lluvias a través de las diferentes capas de base, lo cual da como resultado el manejo de aguas lluvias y beneficios ambientales. El agua lluvia es filtrada, ya sea recolectándola para su posterior reutilización o liberándola lentamente en suelos subyacentes o en sistemas de drenaje de aguas pluviales (Fletcher, Deletic, Mitchell, & Hatt, 2008).

2.2.9 Curado del pavimento poroso

El curado facilita la hidratación del cemento. La estructura del concreto drenante hace que el curado sea de mucha importancia ya que lo hace más susceptible a secarse con mayor velocidad, esto se debe a que es considerada una mezcla seca, puesto que las relaciones agua – cemento están en rangos de 0.27 a 0.34. Un proceso erróneo de curado en los primeros 7 días puede reducir la durabilidad de la superficie en un 60% (ACI 522, 2006).

Se deberá usar un material de cobertura de polietileno de 0.15 mm de espesor y de suficiente tamaño como para cubrir el ancho de la carpeta.

Los materiales tejidos como arpilleras y geotextiles no deberían de ser empleados, no ayudan a mantener la humedad óptima en el concreto, para fijar las hojas de polietileno en su lugar se deben de usar estacas de madera, pedazos de madera u otros métodos. Para un curado apropiado el pavimento debe de estar cubierto entre 7 a 10 días y ningún tipo de carga por tráfico debería de actuar sobre el elemento durante el proceso de curado. Este proceso debe de comenzar máximo 20 minutos después de que se haya terminado la compactación.

2.2.10 Protección del Pavimento Poroso

En climas fríos se debe de proteger al concreto drenante de congelarse y de mantener una humedad óptima para que llegue a sus propiedades físicas deseadas. Las mantas de curado son suficientes para lograr estos resultados.

En climas calientes el transporte, la colocación y el compactado deberán de hacerse lo más rápido posible. Se recomienda utilizar un retardante que evite la evaporización del agua, aplicar luego del enrasado para evitar que la mezcla pierda agua en ese proceso.

2.2.11 Mantenimiento del pavimento poroso

El mantenimiento del concreto drenante consiste básicamente en prevenir la obstrucción de los poros por la llegada de sedimentos. Los dos métodos de mantenimiento más comunes para la limpieza del concreto permeable son el lavado a presión y el aspirado. El lavado a presión empuja a los contaminantes para que pasen a través de la estructura del pavimento evitando que los vacíos en el concreto se obstruyan, este método es muy efectivo, pero se debe de tener cuidado pues si la presión del agua es muy alta esta podría dañar el pavimento. El aspirado lo que hace es extraer los contaminantes de los poros del concreto. La manera más efectiva de proveerle un buen mantenimiento al concreto drenante es usar ambos métodos, primero se le aplicará el lavado a presión y de ahí se procederá a aspirar los contaminantes del

concreto. La limpieza del concreto drenante es recomendable hacerla una vez al año después del periodo de lluvia.

Tabla 1: Mantenimiento del pavimento poroso

Actividad	Revisión
Asegurarse de que no haya tierra en el pavimento.	Mensual
Siembre vegetación en el área aguas arriba.	Ocasiones especiales
Limpieza con aspiradora.	Ocasiones especiales
Inspeccione la superficie en búsqueda de deterioros.	Anual

2.2.12 Características de pavimentos porosos

El hormigón poroso es un material con los mismos componentes básicos que un hormigón convencional pero que se proyecta intencionalmente con un índice de poros muy superior al de un hormigón convencional. Este alto índice de poros proporciona una serie de características al hormigón (capacidad de drenaje, absorción de ruido y otras) que puede ser de gran interés en determinadas aplicaciones. La porosidad del mismo se consigue mediante una curva granulométrica discontinua en la que se disminuyen los áridos finos en relación a las curvas granulométricas usuales en hormigones convencionales (Aguado et al., 1992).

Para que el hormigón sea considerado poroso debe tener un mínimo de 15% de huecos, sin sobrepasar el 25% para evitar problemas de estabilidad (Solminihaç & Castro, 2002). No deben confundirse el hormigón poroso y el hormigón ligero con arcilla expandida. Ambos tienen un peso específico entre 1700 y 2000 kg/m³, sin embargo, el primero es el único con huecos accesibles interconectados que permiten el paso del agua (Aguado, 1995).

Dependiendo de las exigencias requeridas al hormigón poroso pueden agregarse adiciones minerales y aditivos químicos con la finalidad de mejorar, por ejemplo, los requisitos mecánicos y la durabilidad dependiendo de la aplicación del hormigón poroso.

El hormigón poroso ofrece resistencias medias a compresión entre 15 y 20 MPa y permeabilidades entre 0,5 y 5 cm/s (Aguado et al., 1992). A nivel experimental Yang y Jiang (2003) han logrado resistencias de 50 MPa mediante la adición de humo de sílice, superplastificante y polímeros orgánicos, obteniendo un hormigón poroso apto para todo tipo de vía urbana, bien en capas superficiales o de base. A nivel más práctico, existen aditivos registrados como por ejemplo el Ecocreto (2007) que permite alcanzar resistencias de 25 MPa. En cualquier caso, es necesaria la adición de polímeros o una mayor dotación de cemento para mantener un alto índice de huecos con una adecuada resistencia a los esfuerzos tangenciales del tránsito.

2.3 DEFINICIÓN DE TERMINOS BÁSICOS

- **AGREGADOS:** Las granulometrías del agregado usado en el concreto permeable típicamente son, ya sea de agregado grueso de un solo tamaño o granulometría de entre 3/4 y 3/8 de pulgada (19 y 19.5 mm).
- **AGUA:** La calidad del agua para el concreto permeable está gobernada por los mismos requisitos que para el concreto convencional. Los concretos permeables deben ser proporcionados con una relación agua-cemento (w/a) relativamente baja (0.30 a 0.40), ya que una cantidad excesiva de agua conducirá a drenar pasta y al atascamiento del sistema de poros.
- **ADITIVOS:** Los aditivos deben de satisfacer los requisitos de ASTM C 494. Los aditivos reductores de agua (de alto o mediano rango) se usan dependiendo de la relación w/c. Los aditivos retardadores se usan para estabilizar y controlar la hidratación del cemento.

- **CEMENTO:** El cemento Pórtland que satisface las normas ASTM C 150, C 595, o C 1157, se usa como aglomerante principal. También pueden usarse materiales suplementarios como la ceniza volante, el cemento de escoria, y el humo de sílice, los cuales deben de satisfacer los requisitos de ASTM C 618, C 989, y C 1240, respectivamente.
- **CONCRETO POROSO:** Se define como un concreto de alta porosidad o alto porcentaje de vacíos, cuya función principal es la infiltración de agua. Está compuesto por la mezcla de cemento portland, agregado grueso, poca o ninguna cantidad de agregado fino, aditivos y agua.
- **INFILTRACIÓN:** Según el ACI 522R-10 (2010) “es una de las propiedades más importantes del concreto permeable es la capacidad de infiltrar agua a través de su estructura. La infiltración está directamente relacionada con la porosidad y el tamaño de los vacíos del concreto permeable”
- **RELACIÓN DE VACÍOS:** Es una relación entre el volumen de vacíos y el volumen de las partículas sólidas en una masa de suelo o concreto.
- **PAVIMENTO:** El pavimento forma parte del firme y es la capa constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículos. Entre los materiales utilizados en la pavimentación urbana, industrial o vial están los suelos con mayor capacidad de soporte, los materiales rocosos, el hormigón y las mezclas asfálticas.
- **ESCORRENTÍA:** La esorrentía es una corriente de agua de lluvia que circula sobre la superficie de la tierra cuando rebasa un depósito natural o superficial. La esorrentía también se puede conocer como escurrimiento o aliviadero.
- **ZONA URBANA:** Se considera que una zona urbana se caracteriza por estar habitada de forma permanente por más de 2.000 habitantes. La

actualización de los modelos de desarrollo urbano ha ocasionado que la densidad de población, la extensión geográfica y el planeamiento y creación de infraestructuras se combinen para ser factores claves en la delimitación de esta clase de áreas.

- **PAVIMENTO RÍGIDO:** Son los pavimentos conformados por cemento Pórtland, arena de río, agregado grueso y agua, tendido en una sola capa. Dependiendo de la necesidad, estos pavimentos pueden estructurarse por la capa de sub base y base, conformando así una losa de concreto, de espesor, longitud y ancho variables.
- **DRENAJES:** Los coeficientes de capa, son los que se ajustan con factores mayores o menores que la unidad para tomar en cuenta el drenaje y el tiempo en que las capas granulares están sometidas a niveles de humedad cerca de la saturación.

CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los pavimentos en el ámbito internacional son obras de infraestructura muy cuidadosamente diseñadas, dándoles la prioridad que se merecen porque constituyen proyectos que mejoran las condiciones de vida sobre todo en la zona urbana. Los pavimentos porosos no constituyen la excepción, en muchas ciudades donde las lluvias son copiosas y abundantes, las escorrentías causan aniego y dificultan grandemente el tráfico de las personas y vehículos, esto sin duda constituye un problema de salud pública que se tiene que resolver.

En nuestro país también existen lugares donde las precipitaciones pluviales son copiosas, pero las soluciones que se dan generalmente son derivarlas a través de cunetas hacia las zonas desoladas, muy poca son las obras referidas a pavimento poroso en el país, la acumulación de agua en las zonas sobre todo de poca pendiente constituye un problema grave para las zonas urbanas y urge tomar soluciones apropiadas.

En nuestro departamento también se presentan lluvias copiosas y existen zonas planas donde se presenta acumulación de aguas pluviales, incrementándose en épocas de lluvias, esto sin duda genera un problema de transitabilidad y salubridad a la población, en estos charcos se reproducen rápidamente las larvas que transmiten el dengue que está castigando a la región, por lo que su atención es urgente.

3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

3.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿De qué manera el diseño de pavimento utilizando el concreto poroso podría mejorar el sistema de drenaje pluvial en la localidad de Alfonso Ugarte provincia de Picota, departamento de San Martín?

3.2.2 PROBLEMAS ESPECIFICOS

- ¿De qué forma las precipitaciones podrían influir en el diseño de concreto permeable?
- ¿De qué manera la permeabilidad del concreto tiene influencia con el diseño de pavimento?

3.3 OBJETIVOS

3.3.1 OBJETIVO GENERAL

Mejorar el sistema de drenaje Pluvial de la localidad de Alfonso Ugarte, provincia de Picota, departamento de San Martín, utilizando el Concreto Poroso.

3.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar un adecuado diseño de pavimento para mayores intensidades de precipitaciones utilizando concreto permeable.
- Realizar un buen diseño de pavimento de concreto permeable para optimizar los problemas de drenaje pluvial.

3.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación propuesta se justifica, porque permitirá encontrar un diseño de pavimento poroso adecuado para solucionar esta problemática de acumulación de agua en zonas planas, a fin de que se pueda canalizar y evacuar hacia espacios adecuados.

3.5 HIPÓTESIS

Hipótesis General

Hi: El pavimento de concreto poroso mejorará el drenaje pluvial de la localidad de Alfonso Ugarte, provincia de Picota, departamento de San Martín.

Ho: El pavimento de concreto poroso no mejorará el drenaje pluvial en la localidad de Alfonso Ugarte, provincia de Picota, departamento de San Martín.

Hipótesis Específicas

Hi: Una mayor intensidad de precipitaciones en el diseño de pavimento de concreto poroso disminuye la eficiencia del drenaje de la localidad de Alfonso Ugarte, provincia de Picota, departamento de San Martín.

Ho: Una mayor intensidad de precipitaciones en el diseño de pavimento de concreto permeable aumenta la eficiencia del drenaje en la localidad de Alfonso Ugarte, provincia de Picota, departamento de San Martín.

Hi: Una mayor permeabilidad del pavimento mejorará la eficiencia del drenaje en la localidad de Alfonso Ugarte, provincia de Picota, departamento de San Martín.

Ho: Una mayor permeabilidad del pavimento no mejorará la eficiencia del drenaje en la localidad de Alfonso Ugarte, provincia de Picota, departamento de San Martín.

3.6 VARIABLES

Identificación de Variables

Variable Independiente:

Concreto Poroso

Variable dependiente:

Drenaje Pluvial.

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

4.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

4.1.1 Tipo de Investigación

La investigación propuesta tiene un enfoque mixto cualitativo y cuantitativo dado que se recolectaron datos para establecer patrones de comportamiento y a su vez se recolectaron datos sin medición numérica para descubrir o evaluar algunas de las preguntas de investigación en el proceso de interpretación.

4.1.2 Diseño de Investigación

El diseño de la investigación corresponde a un estudio cualitativo y cuantitativo cuyo esquema está dedicado al diseño de un pavimento poroso.

4.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

4.2.1 Población

El conjunto de todas las calles no pavimentadas en zonas planas de la localidad de Alfonso Ugarte, distrito de Shambuyacu.

4.2.2 Muestra

Jr. Alfonso Ugarte cuadras 1, 2 y 3.

4.3 TÉCNICAS, INSTRUMENTO Y PROCESAMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

4.3.1 Técnicas

La técnica que se empleará en la recolección de datos son los ensayos de laboratorio.

4.3.2 Instrumentos

Los instrumentos que se emplearán en la recolección son: los ensayos de laboratorio. Los ensayos de laboratorio incluyen los ensayos estándar

y especiales que utilizará de modo preferente, en el desarrollo de la investigación, que consistirá en un conjunto de pruebas realizadas para la determinación de las características del diseño de mezcla que se empleará.

4.3.3 Procedimientos

Los procedimientos que se seguirán en la recolección de datos son:

- Elaboración de los ensayos de laboratorio de recolección de datos.
- Validación y confiabilidad de los ensayos de recolección de datos.
- Aplicación de los ensayos de recolección de datos para recoger la información.
- Procesamiento de los datos.
- Organización de los datos en cuadros.
- Representación de los datos mediante tablas y gráficos.
- Análisis e interpretación de los datos.
- Elaboración del informe de la tesis.

4.3.4 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

La información será procesada en forma computarizada utilizando el paquete estadístico computacional EXCEL, sobre la base de datos. El procesamiento de la información permitirá elaborar la matriz de datos con la que se diseñará las tablas y gráficos.

CAPÍTULO V: MATERIALES Y MÉTODOS

Actualmente, no existe un método de espesor aceptado para pavimentos de concreto drenante, es por ello que se evaluará y analizará mediante el método de diseño AASHTO (1993), para su aplicación y medir el rendimiento.

Los criterios para el diseño estructural de un pavimento drenante deben ser aquellos que proporcionen la capacidad portante adecuada a la categoría de tráfico que deba soportar el pavimento, sin que esta sufra deformaciones importantes.

El diseño del pavimento poroso está involucrado por el análisis de diversos factores como el tráfico, drenaje, clima, características de los suelos, capacidad de transferencia de carga, nivel de servicio deseado y el grado de confiabilidad de acorde a las necesidades requeridas.

5.1 Método de Análisis de Datos

En primer lugar, se procederá a realizar el Diseño de la Mezcla de Concreto Porooso para su aplicación en Pavimentos, teniendo en cuenta los criterios que dicta el ACI 522R-10 tales como la elección de los materiales y su respectiva caracterización, relación de agua/cemento y el porcentaje de vacíos. Todo esto teniendo en consideración la Resistencia a la Compresión que se desea obtener para que el Concreto Porooso diseñado cumpla los requisitos mínimos dictados por el MTC y la norma CE-010, y de esta manera pueda ser aplicado en Pavimentos Rígidos. De la mezcla de Concreto Porooso obtenida se procederán a realizar probetas y viguetas que serán sometidas a ensayos y de esta manera obtener los datos necesarios para su posterior análisis.

Los datos recopilados en el Laboratorio por medio de las probetas y viguetas se procesarán y analizarán con estadística de organización y graficación. Este análisis se realizará en base a los gráficos de evolución de la resistencia a la compresión y resistencia a la flexión. Se realizará la comparación entre los diferentes módulos de rotura para pavimentos,

relación entre la resistencia a la compresión y flexión, comparación de contenido de vacíos, coeficientes de permeabilidad, relación entre vacíos y permeabilidad, relación entre permeabilidad y resistencia a la compresión. Y al final se analizará los costos de materiales por m³ de los concretos permeables para su aplicación en la pavimentación de calles.

5.2 Mezcla de Hormigón Poroso

Uno de los objetivos de la investigación en esta tesis ha sido encontrar una dosificación adecuada para la elaboración de hormigón poroso con materiales locales, de resistencia y permeabilidad suficiente, para su empleo como pavimento permeable en zonas de bajo volumen de tránsito que permita un adecuado escurrimiento pluvial para una mejor gestión de las aguas de lluvia.

5.3 Materiales y Dosificaciones

De acuerdo con el análisis bibliográfico y adaptado a los materiales locales, se planteó la primera dosificación, denominada serie A, la cual sirvió como hormigón patrón. En esta dosificación se fijó la relación pasta/agregado grueso, la relación a/c y la cantidad de cemento por metro cúbico de hormigón. En las dosificaciones se consideró a los agregados en estado saturado superficie seca.

5.4 Método para elaboración del material

Todas las mezclas se elaboraron en hormigonera de eje inclinado en laboratorio y la colocación de materiales se realizó para todas las series con la misma secuencia de carga y homogenización para evitar variaciones en las características del hormigón en estado fresco o endurecido. En el siguiente cuadro se puede observar la secuencia de carga de materiales y homogenización de la mezcla.

Tabla 2: Secuencia de carga de materiales y homogeneización de la mezcla

AGREGADO GRUESO + CEMENTO + ADICIONES	HOMOGENEIZACIÓN	70 % AGUA + 50 % ADITIVO	HOMOGENEIZACIÓN	30 % AGUA RESTANTE + 50% ADITIVO RESTANTE	HOMOGENEIZACIÓN
--	-----------------	--------------------------------	-----------------	---	-----------------

Fuente: Elaboración propia

Luego de la homogeneización de la mezcla, se prepararon las muestras para la realización de ensayos en estado fresco y moldeo de probetas para la realización de ensayos en estado endurecido.

5.5 Ensayos sobre material en estado fresco

ENSAYO DE ASENTAMIENTO DE TRONCO DE CONO DE ABRAMS INVERTIDO (NRMCA) En la siguiente ilustración se puede observar la secuencia de ensayo de Tronco de cono de Abrams invertido para la mezcla de la serie K. En general, los resultados de este ensayo, al ser cuantitativos, sirvieron para corregir las dosificaciones posteriores y controlar parámetros de las mezclas en estado fresco.

Ilustración 4: Ensayo de Tronco de cono de Abrams invertido para la serie K



Fuente: Fotografías de campo

5.6 Ensayo de asentamiento con tronco de cono de Abrams de acuerdo a Norma IRAM 1536

El ensayo se realizó sólo a los fines de verificar un asentamiento nulo o máximo de 20 mm, que es lo recomendado por bibliografía para este tipo de hormigones. Es sólo una recomendación y no una un ensayo obligatorio. Además, este ensayo permite evaluar a posterior la posible segregación de la pasta respecto del agregado total.

En las siguientes ilustraciones se puede observar el ensayo de tronco de cono y luego se aplana la masa de hormigón con una cuchara de albañil y se observa la cantidad y facilidad con que aparece la pasta cementicia.

Ilustración 5: Ensayo de asentamiento para la serie K



Fuente: Fotografías de campo

Ilustración 6: Evaluación de posible segregación de pasta en la serie K



Fuente: Fotografías de campo

5.7 Ensayos sobre hormigón en estado endurecido

Se moldearon probetas cilíndricas para evaluar resistencia a compresión, porosidad y permeabilidad. Se moldearon probetas prismáticas para la determinación de la resistencia a tracción por flexión. Las probetas se realizaron de diferentes tamaños según el ensayo a realizar, como se presenta en el cuadro siguiente.

Cuadro 1: Dimensiones de probetas según ensayo a realiza

Forma	Dimensiones (cm)		Ensayo a realizar
	Diámetro	Altura	
Cilíndrica	10	20	Resistencia a compresión
	15	30	Porosidad
	15	30	Permeabilidad
Prismática	Lado	Lado	Altura
	15	55	15
			Resistencia a tracción por flexión

Fuente: Elaboración Propia

La compactación se realizó por impacto, utilizando un pisón similar al utilizado en el ensayo Proctor Estándar, con la finalidad de lograr presiones similares a las de campo que deben generar una presión de 4 a 7 t/m².

El pisón utilizado tiene un peso de 4,54 kg y una altura de caída para cada golpe de 45,72 cm.

Las probetas cilíndricas se compactaron en 3 capas con 10 golpes cada una, logrando una presión aproximada de 5,8 t/m².

En las series de mezclas E y G, se compactaron las probetas por dos métodos de compactación, por impacto y por vibrado, con la finalidad de comparar la influencia el modo de compactación sobre la resistencia a compresión del hormigón.

Dado que el hormigón poroso generalmente es utilizado en pavimentos, se realizó también el ensayo de tracción por flexión con carga en los tercios a los 28 días. Este ensayo se realizó sólo para dos series de mezclas, G y N. Se moldearon probetas prismáticas y se compactaron por impacto y

vibración en la serie G y por impacto solamente para la serie N, con pisón en dos capas de 25 golpes cada una, distribuidos uniformemente.

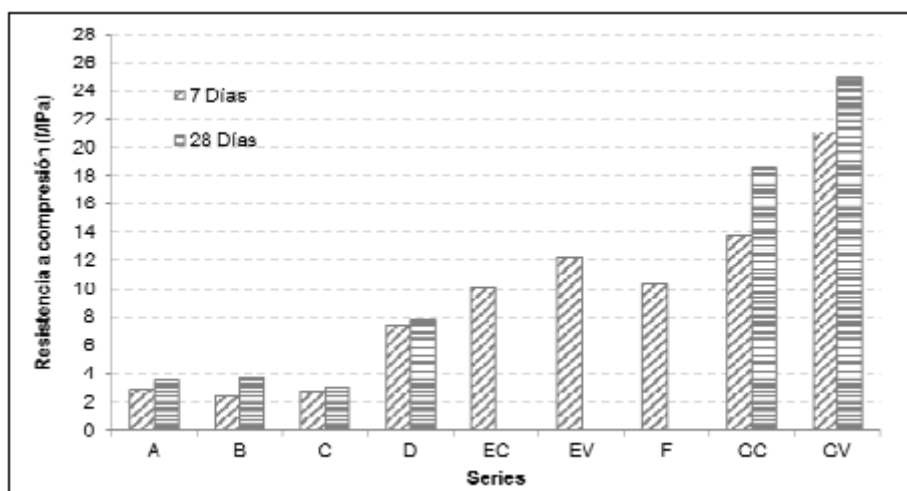
Las probetas se mantuvieron en curado húmedo hasta la edad de ensayo. Para la determinación de resistencia a compresión se encabizaron las probetas con mezcla de azufre, según indica la norma IRAM 1553 (2008).

5.8 Resistencia a Compresión

Los ensayos de resistencia a compresión se realizaron a las edades de 7 y 28 días, según norma IRAM 1546 (2013).

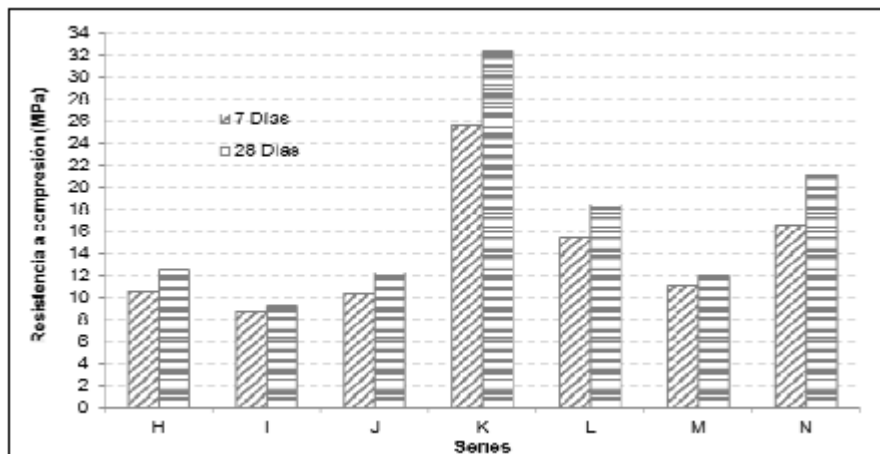
En el grafico 1 se presentan los resultados obtenidos en la primera y segunda etapa experimental, incluyendo las series A hasta G y en el grafico 2 los resultados de la tercera etapa experimental, serie H hasta N.

Gráfico 1: Resistencia a compresión serie A hasta G (MPa)



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 2: Resistencia a compresión serie H hasta N (MPa)



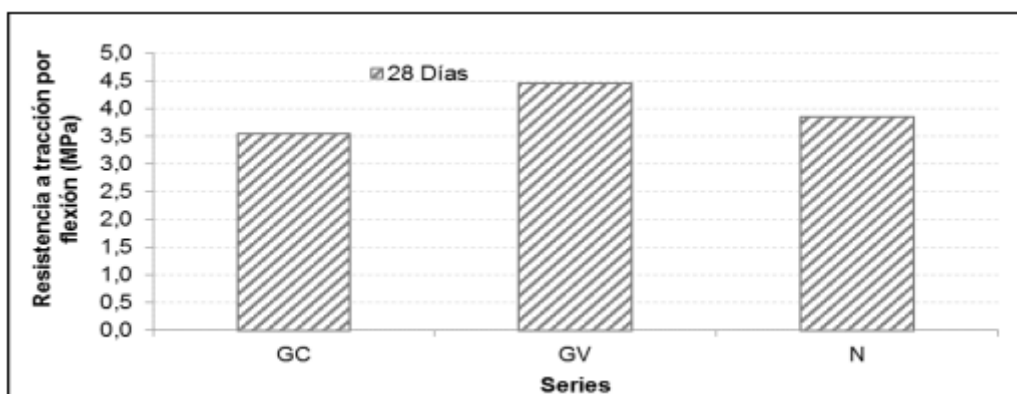
Fuente: Elaboración Propia

5.9 Resistencia a Tracción por Flexión

Los ensayos de resistencia a tracción por flexión se realizaron a la edad de 28 días para las series G y N, siguiendo las recomendaciones de la norma IRAM 1547 (1992).

En el grafico3 se muestran los resultados de resistencia a tracción por flexión para las series G y N. En donde para la serie G las probetas se compactaron por distintos métodos, siendo las probetas GC compactadas por impacto y las GV por vibración.

Gráfico 3: Resistencia a tracción por flexión a 28 días (MPa)



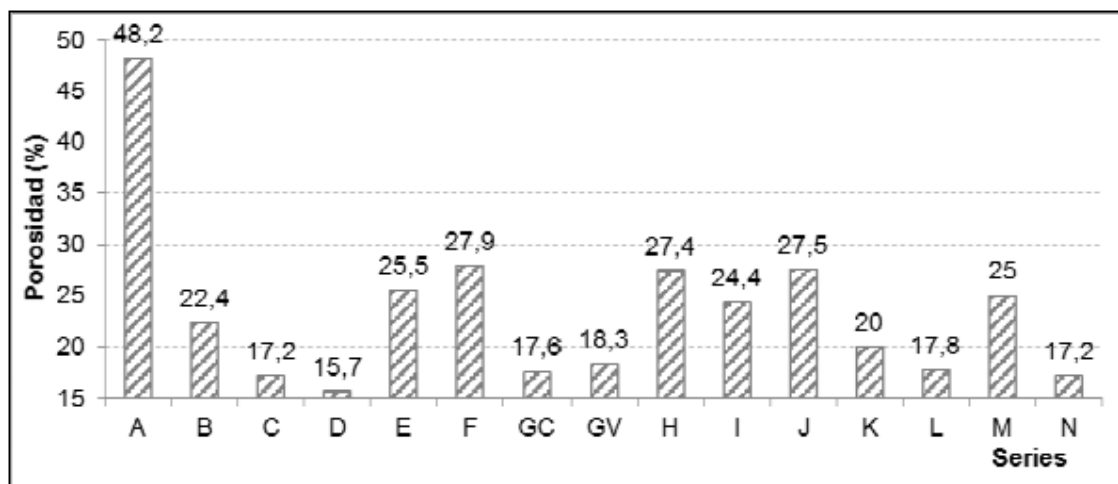
Fuente: Elaboración Propia

5.10 Porosidad

Se utilizaron probetas cilíndricas de 15 de diámetro y 30 cm de alto inicial, a las que se les quitaron 5 cm debido a que se observó que esta última capa se encontraba alterada por la acción del enrasado durante el moldeo.

En el grafico se muestran la porosidad obtenida en cada una de las series.

Gráfico 4: Porosidad (%)



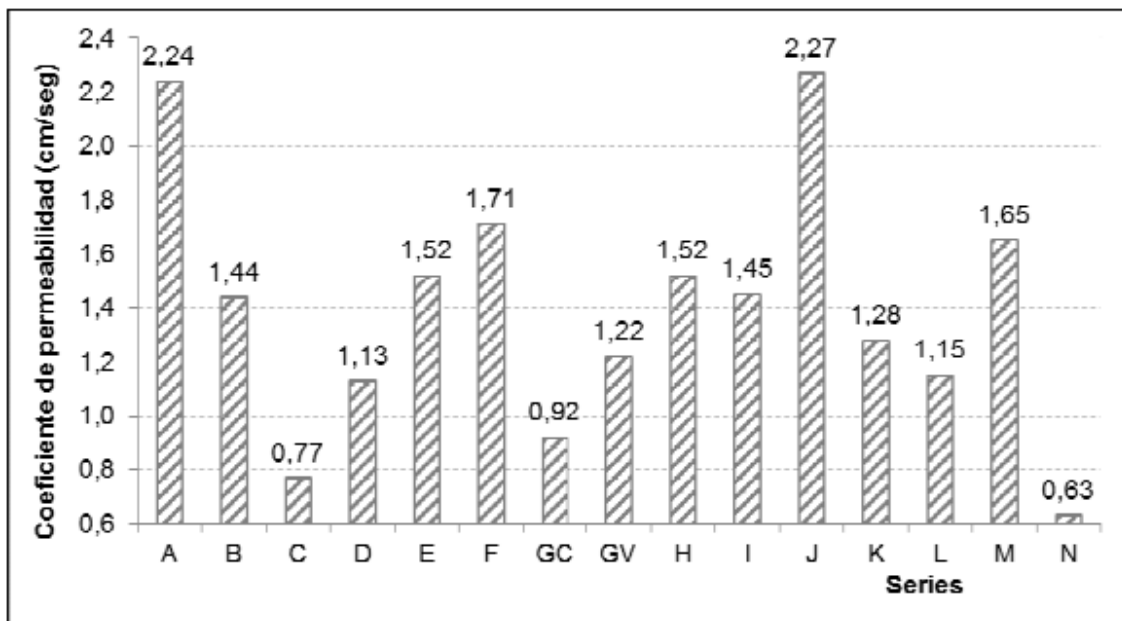
Fuente: Elaboración Propia

5.11 Coeficiente de permeabilidad del agua

Para determinar la permeabilidad de las distintas series se moldearon probetas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura inicial, las que se cortaron a 3,5 cm de cada extremo obteniendo probetas de 23 cm de altura aproximadamente. Se realizó este procedimiento para evitar la influencia del enrasado en el cálculo de permeabilidad.

Para cada probeta se determinó el tiempo (t) requerido para que el agua caiga de una altura inicial de 30 cm (h1) hasta una altura final de 10 cm (h2), este procedimiento se realizó 3 veces para cada probeta y luego se tomó el valor promedio de t.

Gráfico 5: Coeficiente de permeabilidad (cm/seg)



Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO VI: RESULTADOS

6.1 Análisis del Slump

Se realizó el ensayo de medición del asentamiento del concreto poroso en estado fresco con Cono de Abrams y se obtuvieron diferentes asentamientos las cuales se resumen mediante la siguiente tabla:

Tabla 3: Análisis de Slump del Concreto Poro

Diseño	Slump < 1/2"
DISEÑO N° 1 - %vacíos = 15% - SIN FINOS	SI
DISEÑO N° 2 - %vacíos = 15% - CON FINOS = 20%	NO
DISEÑO N° 3 - %vacíos = 10% - CON FINOS = 20%	NO
DISEÑO N° 4 - %vacíos = 20% - CON FINOS = 20%	NO
DISEÑO N° 5 - %vacíos = 10% - CON FINOS = 10%	SI

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que los diseños con poca o nula presencia de agregado fino se mantienen menores a 1/2" por qué conservan su propiedad de "Cero Slump". Los diseños que contienen arena suelen asentarse más de 1/2", debido a que la presencia de la misma causa que el agregado grueso, al ser un material granular y de mayor tamaño, se asiente con mayor rapidez.

6.2 Análisis de la Resistencia a la Compresión

Se realizó el ensayo de la determinación de la Resistencia a la Compresión de un concreto poroso en estado endurecido, donde se obtuvieron las cargas máximas que los especímenes soportaron al ensayarlos en la Prensa Hidráulica Digital. En la siguiente tabla se mostrará un resumen de las resistencias de compresión de cada uno de los especímenes ensayados.

Tabla 4: Especímenes ensayados con su respectiva resistencia a la compresión

DISEÑO	DÍAS	ESPECÍMENES	R	R prom
DISEÑO Nº 1 %vacíos = 15% SIN FINOS	7 DÍAS	P1-A	23.91	24.13
		P1-B	24.35	
	14 DÍAS	P1-C	25.05	27.06
		P1-D	29.07	
	28 DÍAS	P1-E	41.37	51.30
		P1-F	61.23	
DISEÑO Nº 2 %vacíos = 15% CON FINOS = 20%	7 DÍAS	P2-A	64.12	65.56
		P2-C	67.00	
	14 DÍAS	P2-E	62.42	70.96
		P2-F	79.50	
	28 DÍAS	P2-G	103.86	103.26
		P2-H	102.67	
DISEÑO Nº 3 %vacíos = 10% CON FINOS = 20%	7 DÍAS	P3-A	59.87	65.17
		P3-C	70.47	
	14 DÍAS	P3-D	107.16	113.17
		P3-E	119.19	
	28 DÍAS	P3-F	107.65	120.72
		P3-G	133.79	
DISEÑO Nº 4 %vacíos = 20% CON FINOS = 20%	7 DÍAS	P4-A	38.22	34.18
		P4-B	30.14	
	14 DÍAS	P4-C	38.02	40.55
		P4-D	43.08	
	28 DÍAS	P4-E	53.60	57.75
		P4-F	61.89	
DISEÑO Nº 5 %vacíos = 10% CON FINOS = 10%	7 DÍAS	P5-A	111.44	107.22
		P5-B	103.00	
	14 DÍAS	P5-C	141.54	134.76
		P5-D	127.97	
	28 DÍAS	P5-E	175.25	177.98
		P5-F	180.72	

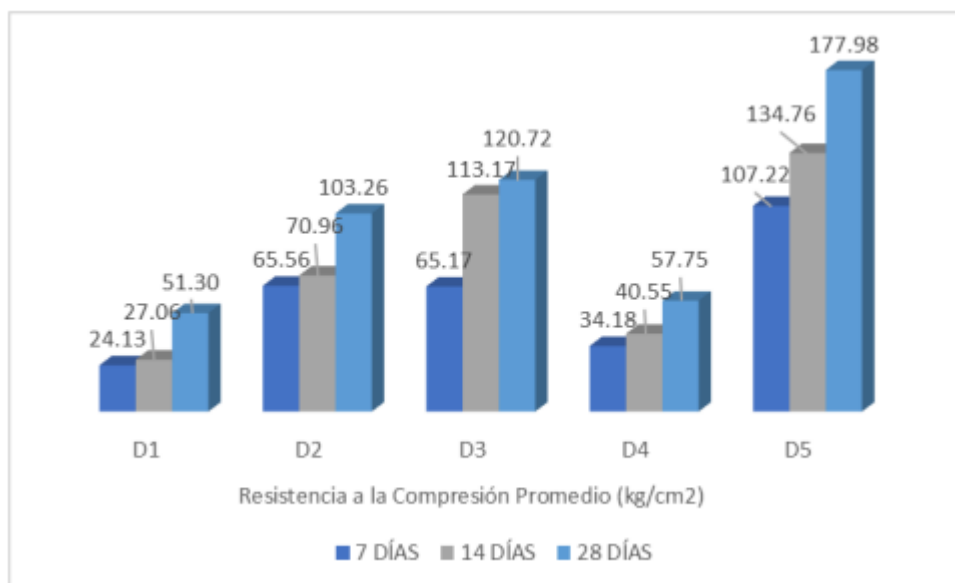
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5: Resumen de la Resistencia a la compresión en relación a la edad de ensayo

Edad de Ensayo	Resistencia a la Compresión Promedio (kg/cm2)				
	D1	D2	D3	D4	D5
7 DÍAS	24.13	65.56	65.17	34.18	107.22
14 DÍAS	27.06	70.96	113.17	40.55	134.76
28 DÍAS	51.30	103.26	120.72	57.75	177.98

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 7: Resistencia a la Compresión Promedio con respecto a los diseños

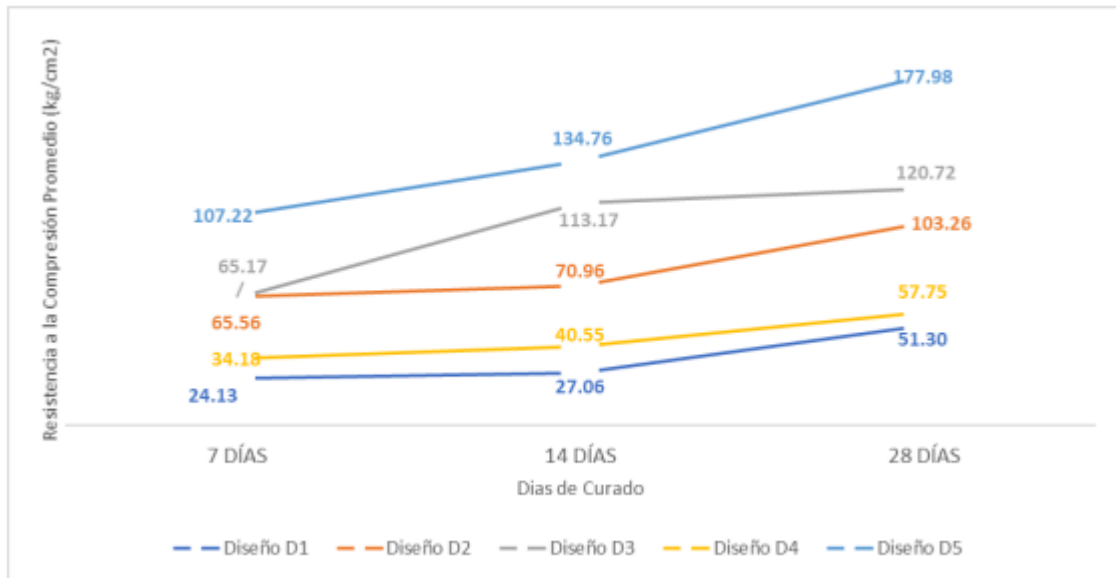


Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar en la tabla 3 y el Gráfico 6, la resistencia a la compresión aumenta progresivamente al pasar de los días de curado. Para los 7 días de curado, se observa que la más baja resistencia le corresponde al Diseño 1, esto es debido a que dicho diseño no posee agregado fino y por ende tiene poca resistencia. También se observa que la mayor resistencia a la compresión le corresponde al Diseño 5, la cual tiene 10% de agregado fino y por ende, tiene más agregado grueso y cemento la cual le brinda dicha resistencia. En los 14 días se observa que el mayor aumento de resistencia lo obtuvo el Diseño 3, casi el doble de su predecesora. En 28 días se logró una resistencia a la compresión de 177.98 kg/cm² por parte del Diseño 5, la cual es la máxima resistencia lograda de los diseños.

En el siguiente gráfico se mostrarán las resistencias promedio obtenidas con respecto a los días de curado.

Ilustración 8: Resistencia a la Compresión Promedio con respecto a los días de curado



Fuente: Elaboración Propia

6.3 Análisis de la Resistencia a la Flexión

Se realizó el ensayo de la determinación de la Resistencia a la Flexión de un concreto permeable en estado endurecido, donde se obtuvieron las cargas máximas que los especímenes soportaron al ensayarlos en la Prensa Hidráulica Digital. En la siguiente tabla se mostrará un resumen de las resistencias de flexión de cada uno de los especímenes ensayados.

Tabla 6: Especímenes ensayados con su respectiva resistencia a la flexión

DISEÑO	DÍAS	ESPECÍMENES	MR (Kg/cm2)	MR prom
DISEÑO Nº 1 %vacíos = 15% SIN FINOS	7 DÍAS	V1-A	9.36	9.85
		V1-B	10.35	
	14 DÍAS	V1-C	15.20	15.38
		V1-D	15.55	
	28 DÍAS	V1-E	22.02	22.35
		V1-F	22.68	
DISEÑO Nº 2 %vacíos = 15% CON FINOS = 20%	7 DÍAS	V2-A	21.56	19.89
		V2-B	18.22	
	14 DÍAS	V2-C	23.49	21.54
		V2-D	19.59	
	28 DÍAS	V2-E	31.87	30.29
		V2-F	28.71	
DISEÑO Nº 3 %vacíos = 10% CON FINOS = 20%	7 DÍAS	V3-A	21.33	22.73
		V3-B	24.13	
	14 DÍAS	V3-C	28.97	31.48
		V3-D	33.98	
	28 DÍAS	V3-E	26.56	32.50
		V3-F	38.44	
DISEÑO Nº 4 %vacíos = 20% CON FINOS = 20%	28 DÍAS	V4-A	11.45	17.08
		V4-B	22.72	
DISEÑO Nº 5 %vacíos = 10% CON FINOS = 10%	14 DÍAS	V5-A	30.12	29.94
		V5-B	29.76	
	28 DÍAS	V5-C	38.69	45.07
		V5-D	51.46	

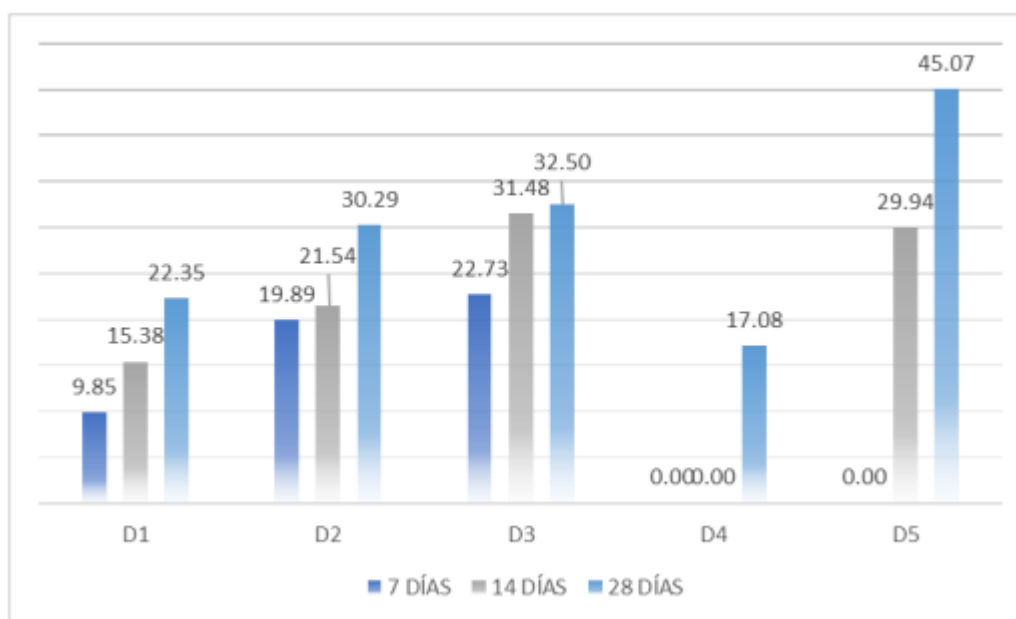
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7: Resumen de la Resistencia a la compresión en relación a la edad de ensayo

Edad de Ensayo	Resistencia a la Flexión Promedio (kg/cm2)				
	D1	D2	D3	D4	D5
7 DÍAS	9.85	19.89	22.73	-	-
14 DÍAS	15.38	21.54	31.48	-	29.94
28 DÍAS	22.35	30.29	32.50	17.08	45.07

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 9: Resistencia a la Compresión Promedio con respecto a los diseños



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar en la tabla 5 y el Gráfico 8, la resistencia a la flexión aumenta progresivamente al pasar de los días de curado. Para los 7 días de curado, se observa que la más baja resistencia le corresponde al Diseño 1, esto es debido a que dicho diseño no posee agregado fino y por ende tiene poca resistencia. En los 14 días se observa que la mayor resistencia a la flexión o Módulo de Rotura pertenece al Diseño 3 que es 31.48 kg/cm², cerca le sigue el Diseño 5 con 29.94 kg/cm². En 28 días se logró una resistencia a la flexión de 45.07 kg/cm² por parte del Diseño 5, la cual es la máxima resistencia lograda de los diseños.

6.4 Análisis de la Relación de Vacíos

Se realizó el ensayo de la determinación de la Densidad y Relación de Vacíos de un concreto permeable en estado endurecido, donde se aplicó el procedimiento normado. En la siguiente tabla se mostrará un resumen de lo calculado:

Tabla 8: Densidad y Relación de Vacíos de los especímenes

DISEÑO	ESPECÍMENES	CONTENIDO DE VACÍOS TEÓRICO	DENSIDAD (kg/m ³)		CONTENIDO DE VACÍOS	
			DENSIDAD	PROM	% VACÍOS	PROM
DISEÑO Nº 1 %vacíos = 15% SIN FINOS	P1-A	15.00%	1804.00	1800.42	29.55%	29.43%
	P1-B	15.00%	1796.84		29.31%	
	P1-C	15.00%	1789.05	1815.14	32.21%	31.64%
	P1-D	15.00%	1841.24		31.07%	
	P1-E	15.00%	1754.90	1934.74	33.45%	25.92%
	P1-F	15.00%	2114.59		18.39%	
DISEÑO Nº 2 %vacíos = 15% CON FINOS = 20%	P2-A	15.00%	1965.23	1911.16	21.13%	25.15%
	P2-C	15.00%	1857.09		29.18%	
	P2-E	15.00%	1989.05	2046.50	21.13%	18.87%
	P2-F	15.00%	2103.95		16.61%	
	P2-G	15.00%	2201.49	2183.40	15.67%	15.26%
	P2-H	15.00%	2165.30		14.85%	
DISEÑO Nº 3 %vacíos = 10% CON FINOS = 20%	P3-A	10.00%	1935.30	1991.41	23.80%	21.75%
	P3-C	10.00%	2047.52		19.69%	
	P3-D	10.00%	2079.85	2056.73	15.85%	17.61%
	P3-E	10.00%	2033.60		19.37%	
	P3-F	10.00%	2150.61	2095.10	12.02%	15.28%
	P3-G	10.00%	2039.59		18.54%	
DISEÑO Nº 4 %vacíos = 20% CON FINOS = 20%	P4-A	20.00%	2011.11	1989.50	22.28%	23.25%
	P4-B	20.00%	1967.90		24.23%	
	P4-C	20.00%	2128.80	2059.93	16.62%	21.36%
	P4-D	20.00%	1991.06		26.11%	
	P4-E	20.00%	1916.61	2012.04	28.64%	25.54%
	P4-F	20.00%	2107.47		22.44%	
DISEÑO Nº 5 %vacíos = 10% CON FINOS = 10%	P5-A	10.00%	2121.95	2114.07	15.44%	15.22%
	P5-B	10.00%	2106.19		14.99%	
	P5-C	10.00%	2233.12	2191.18	14.46%	16.04%
	P5-D	10.00%	2149.24		17.61%	
	P5-E	10.00%	2192.22	2143.24	16.21%	19.04%
	P5-F	10.00%	2094.26		21.87%	

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar, los porcentajes de vacíos no coinciden con el teórico y es porque cada espécimen es diferente y fue elaborado de diferente manera que los otros, algunas razones podrían ser el varillado, el diámetro del agregado grueso, contenido de finos, etc.

6.5 Análisis de la permeabilidad

Se realizó el ensayo de Permeabilidad o Infiltración de Agua mediante el Permeámetro de Carga Variable de Neithalath para concreto permeable en estado endurecido a 28 días de curado, donde se aplicó el procedimiento según el ACI 522R-10. En la siguiente tabla se mostrará un resumen de lo calculado:

Tabla 9: Permeabilidad de los especímenes

DISEÑO	ESPECÍMENES	K (cm/s)	K prom(cm/s)
DISEÑO Nº 1 %vacíos = 15% SIN FINOS	P1-E	1.18	0.91
	P1-F	0.64	
DISEÑO Nº 2 %vacíos = 15% CON FINOS = 20%	P2-G	0.30	0.23
	P2-H	0.15	
DISEÑO Nº 3 %vacíos = 10% CON FINOS = 20%	P3-F	0.28	0.27
	P3-G	0.26	
DISEÑO Nº 4 %vacíos = 20% CON FINOS = 20%	P4-E	0.60	0.54
	P4-F	0.47	
DISEÑO Nº 5 %vacíos = 10% CON FINOS = 10%	P5-E	0.14	0.20
	P5-F	0.26	

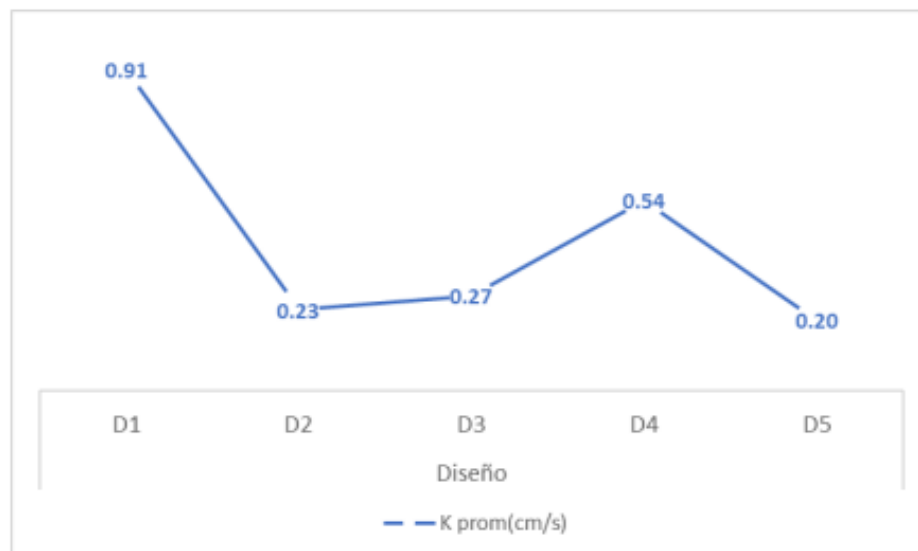
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10: Permeabilidad Promedio de los especímenes

K prom (cm/s)				
D1	D2	D3	D4	D5
0.91	0.23	0.27	0.54	0.20

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 10: Permeabilidad promedio con respecto al diseño de especímenes



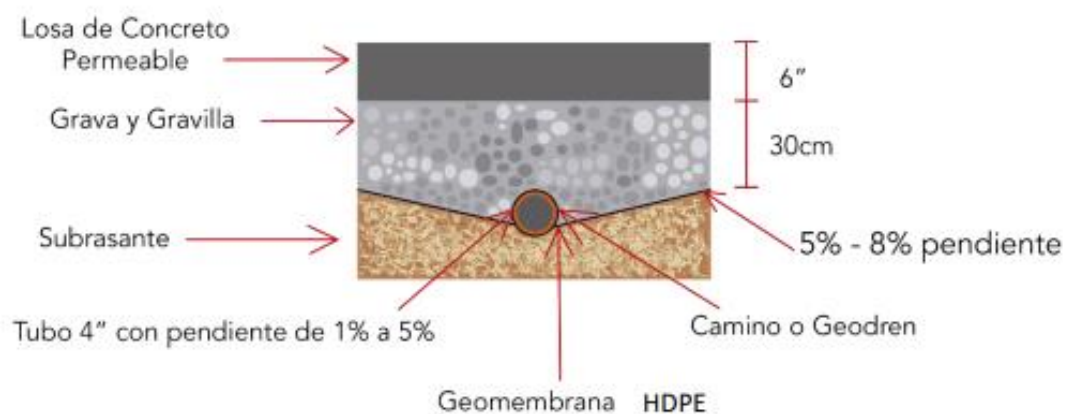
Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar en la tabla 8 y el Gráfico 9, la permeabilidad en el Diseño 1 es la más alta que las demás debido a que solo posee agregado grueso y por ende tiene más volumen de vacíos, lo cual drena el agua a través de su estructura. El que tiene menor permeabilidad es el Diseño 5, la cual posee finos y más cemento que los otros diseños, por ende, su volumen de vacíos es inferior a los demás y no permite que se drene el agua con facilidad.

6.6 Propuesta de Diseño de Pavimento Rígido

Se propone un diseño de Pavimento Rígido Permeable, la cual es presentada mediante la siguiente figura:

Ilustración 11: Propuesta de Pavimento Propuesto



Fuente: Elaboración Propia

Donde:

- Losa de Concreto Poroso, de 6 pulgadas de espesor o de 15 centímetros.
- Base de Grava o gravilla, que son materiales granulares que permiten la infiltración de agua a través de ellos. Dicha base tendrá de espesor 30 centímetros y con una pendiente con respecto a la sub base de 5 a 8%.
- Geomembrana HDPE, es un geosintético para la contención de desechos líquidos o sólidos. Está hecho de polímeros como el

polietileno de alta intensidad (HDPE). Colocado debajo de la base a una pendiente de entre 5 a 8%, la cual permite que el agua corra hasta el tubo de drenaje sin desechos.

- Tubo de 4" con una línea de pequeñas aberturas en su superficie. Colocado con una pendiente de 1 a 5% para que fluya el agua.
- Camino o Geodren, es la abertura donde está colocado el tubo de 4".
- Subrasante, la cual puede ser un suelo natural o afirmado.

CAPÍTULO VII: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1 Contraste de Hipótesis

Los resultados de la investigación fueron contrastados con la hipótesis de esta, las cuales se pueden resumir de la siguiente manera:

7.1.1 Hipótesis General

Diseñando un Pavimento Rígido Poroso según la Norma ACI 522R-10, se mejora la evacuación del drenaje pluvial.

Tabla 11: Contraste de Variables con la Hipótesis General

Variables	Contraste con la Hipótesis General
Resistencia a la Compresión	Si cumple
Resistencia a la Flexión	Si cumple
Contenido de Vacíos	Si cumple
Infiltración de Agua	Si cumple

Fuente: Elaboración Propia

Lograr la consistencia adecuada para el hormigón poroso no fue sencillo, ya que se trata de una mezcla de consistencia seca con otras particularidades tales como, escasa o nula presencia de agregado fino, agregado grueso de igual tamaño, relación pasta/agregado baja.

7.1.2 Hipótesis Específicas

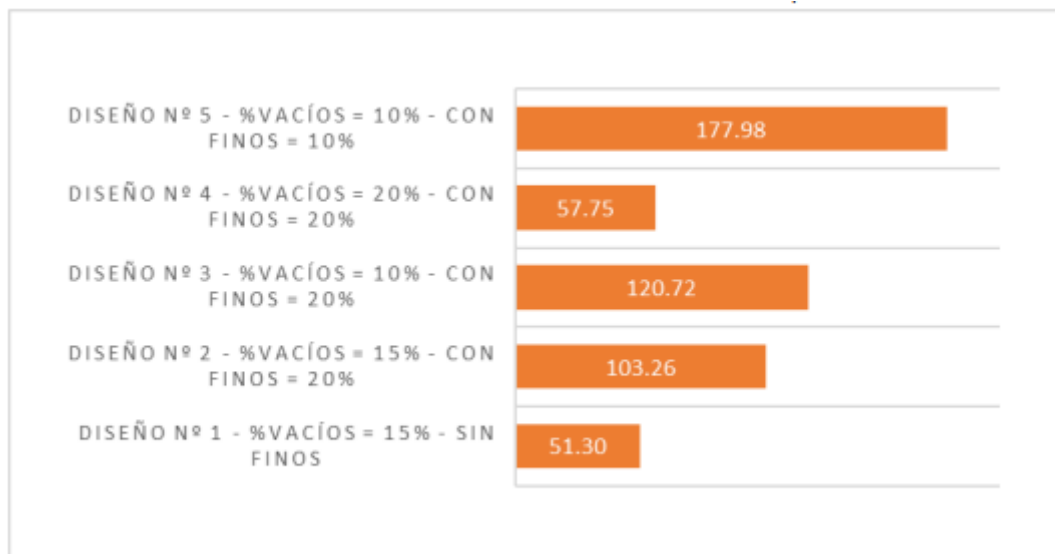
Determinando la resistencia a la compresión según la Norma NTP 339.034, se diseña un Pavimento Rígido Poroso.

Tabla 12: Resultados de Resistencia a la Compresión

Diseño	f'c (kg/cm ²)
DISEÑO N° 1 - %vacíos = 15% - SIN FINOS	51.30
DISEÑO N° 2 - %vacíos = 15% - CON FINOS = 20%	103.26
DISEÑO N° 3 - %vacíos = 10% - CON FINOS = 20%	120.72
DISEÑO N° 4 - %vacíos = 20% - CON FINOS = 20%	57.75
DISEÑO N° 5 - %vacíos = 10% - CON FINOS = 10%	177.98

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 12: Resultados de Resistencia a la Compresión



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la Tabla 10 y el Gráfico 10, el diseño óptimo para la elaboración de un pavimento rígido poroso, debido que al determinar la resistencia a la compresión de dicho diseño a 28 días de curado tuvo como resultado 177.98 kg/cm², cumpliendo la resistencia mínima para un pavimento especial (175 kg/cm²) y por lo tanto, cumpliendo la hipótesis específica.

7.1.3 Determinación de la resistencia a la flexión

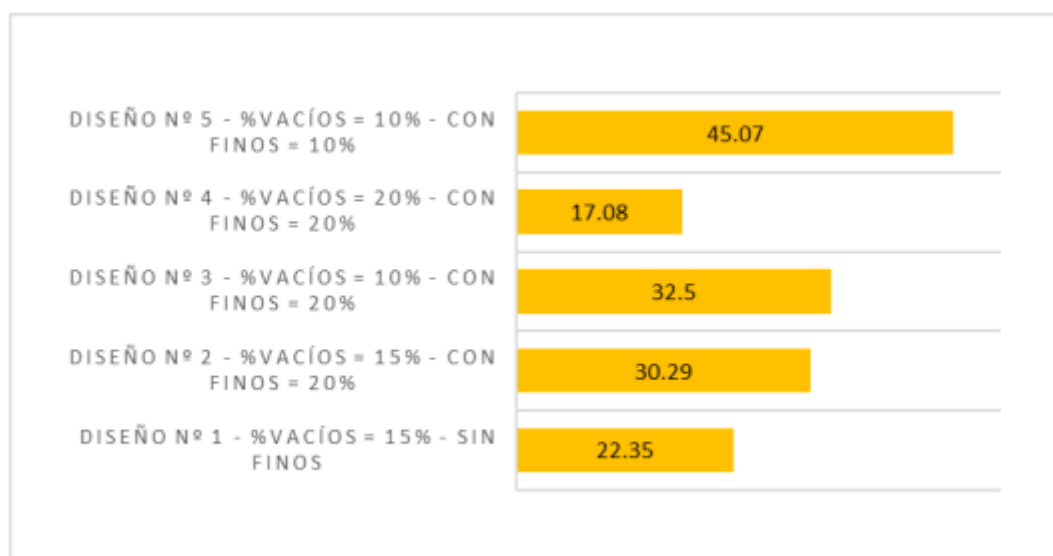
Resultados de diseño a la flexión

Tabla 13: Resultados de Resistencia a la Flexión

Diseño	MR (kg/cm2)
DISEÑO N° 1 - %vacíos = 15% - SIN FINOS	22.35
DISEÑO N° 2 - %vacíos = 15% - CON FINOS = 20%	30.29
DISEÑO N° 3 - %vacíos = 10% - CON FINOS = 20%	32.5
DISEÑO N° 4 - %vacíos = 20% - CON FINOS = 20%	17.08
DISEÑO N° 5 - %vacíos = 10% - CON FINOS = 10%	45.07

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 13: Resultados de Resistencia a la Flexión



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la Tabla 11 y el Gráfico 11, el diseño óptimo para la elaboración de un pavimento rígido poroso, debido que al determinar la resistencia a la flexión de dicho diseño a 28 días de curado tuvo como resultado un módulo de rotura de 45.07 kg/cm², cumpliendo la resistencia mínima para un pavimento en vías locales (34 kg/cm²) y por lo tanto, cumpliendo la hipótesis específica.

7.2 Discusión de resultados

Se comenzó a realizar la discusión de todos los resultados que se obtuvieron tras la realización de los distintos ensayos a especímenes de Concreto Poroso, se procedió a debatir con los resultados de investigaciones anteriores y con teorías relacionadas al tema.

El diseño realizado del Concreto Poroso con gradaciones de 1/2" y 3/8", genero resultados positivos dentro de un marco para su uso en estructuras de pavimentos rígidos, será muy importante poner énfasis analizar el comportamiento de la Resistencia a la Compresión, Resistencia a la Flexión y la Permeabilidad puesto que el objetivo general de la presente Tesis fue realizar un mezcla optima de concreto poroso que cumpla con propiedades mecánicas e hidráulica aceptables para su aplicación en una estructura de pavimento rígido.

Los resultados a compresión de la etapa experimental, en principio no fueron los esperados. Luego, a partir de la serie K, se logró un aumento importante en los valores de resistencia a compresión, llegando a 32 MPa a la edad de 28 días para dicha serie. En la etapa experimental se lograron valores de resistencia a compresión dentro de valores típicos a pesar de la disminución de la cantidad de cemento por metro cúbico de hormigón y el aumento de la relación pasta/agregado. Además, se observó que mejoró la resistencia a compresión en las mezclas que contenían agregado fino.

La determinación de la resistencia a tracción por flexión generalmente está sujeta a importante variabilidad, por lo que es común medir la resistencia a compresión y usar relaciones empíricas para estimar su valor.

Al no existir una relación simple entre la resistencia del hormigón a la compresión y su resistencia a la tracción, los esfuerzos de los investigadores se han orientado hacia la determinación de una aceptable correlación entre estos dos tipos de solicitaciones.

7.3 Resistencia a Tracción por Flexión

Al realizar este ensayo se presentó como complicación el modo de compactación de la probeta prismática, ya que es muy difícil replicar en laboratorio la compactación de campo utilizada para pavimentos. En consecuencia, se decidió para la serie G compactar a las probetas por impacto y por vibración.

Los valores de resistencia a tracción obtenidos en las series G y N fueron acordes a los indicado por la bibliografía analizada, siendo en algunos casos superiores. El valor de la serie GV no se consideró a los fines del análisis de resultados ya que se observó segregación de la mezcla luego del compactado.

CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

- Los diseños que no tienen agregado fino son los que tienen poca resistencia a la compresión y flexión. Este es el caso del Diseño 1 propuesto, que tuvo una resistencia a la compresión y a la flexión a los 28 días de 51.3 kg/cm² y MR = 22.35 kg/cm².
- Los diseños que poseen agregado fino son superiores en cuanto a soportar esfuerzos se refiere, pero obstruyen los vacíos. En ese sentido, los agregados finos disminuyen la permeabilidad, pero ayudan al concreto a ganar resistencia.
- Los diseños con alto contenido de vacíos tienen una buena permeabilidad, como el caso del Diseño 1 que posee una permeabilidad de 0.91 cm/s, pero tienen baja resistencia.
- El requisito mínimo de resistencia a la compresión para pavimentos especiales (aceras o veredas, pasajes peatonales y ciclovías) según la norma C.E 010 – Pavimentos Urbanos, es de 175 kg/cm², por lo que el Diseño 5 si cumple con la resistencia a los 28 días (177.98 kg/cm²).
- El requisito mínimo de módulo de rotura para pavimentos en vías locales según la norma C.E 010 – Pavimentos Urbanos, es de MR = 34 122 kg/cm², por lo que el Diseño 5 si cumple con el módulo de rotura a los 28 días (45.07 kg/cm²).
- El coeficiente de permeabilidad de un concreto permeable posee un rango entre 0.20 y 0.54 cm/s, por lo que el Diseño 5 pertenece a dicho rango, obteniendo un coeficiente de permeabilidad de 0.20 cm/s.

8.2 Recomendaciones

- Realizar un varillado correctamente para la elaboración de las probetas para los ensayos normalizados de compresión y de flexión, debido a que influye en el resultado de los esfuerzos, ya que no genera una superficie de contacto adecuada para ensayarlo en la prensa.
- Incluir agregado fino a los diseños, debido a que aumenta la resistencia de compresión y de flexión. Se puede utilizar porcentajes de agregado fino tales como 10 y 20% con respecto a la cantidad de agregado grueso, según la norma ACI 522R-10.
- Verificar que el contenido de cemento esté en los rangos adecuados que brinda la norma ACI 522R-10, ya que influye en los resultados de compresión y de flexión.
- Verificar que los equipos de laboratorio estén operativos y calibrados, ya que de lo contrario el no cumplir con los días de rotura, puede perjudicar los resultados esperados.
- Emplear aditivos retardantes de fragua, debido a que la mezcla de concreto permeable recién hecha tiende a secarse con mucha rapidez.
- 124 6) Tener conocimientos de mecánica de fluidos para la elaboración del permeámetro de carga variable.
- Se recomienda también a las autoridades políticas, a tomar conciencia de las decisiones que van a tomar en lo que respecta a la elección del tipo de pavimento ya que esto constituye un hecho fundamental para realizar una buena inversión.
- La presente tesis comprende solo la determinación de la resistencia a la rotura y permeabilidad, por lo que se recomienda realizar otros ensayos para la determinación de sus demás propiedades y sus posibles aplicaciones en otras estructuras.

CAPÍTULO IX: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ESTUDIO EXPERIMENTAL DE CONCRETOS PERMEABLES CON AGREGADOS. (M.I. CARLOS JAVIER MENDOZA ESCOBEDO).
- GABRIEL GÓMEZ CORTÉS. PERMEABILIDAD DEL CONCRETO Y SU VALORACIÓN. INSTITUTO AMERICANO DEL CONCRETO, SECCIONAL COLOMBIA, 2004.
- GALLIGO ESTEVEZ, J.M.; RODRÍGUEZ GARCÍA, F. PERMEABILIDAD DEL HORMIGÓN: INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN Y MÉTODOS DE ENSAYO.
- ESTUDIO DE DOSIFICACIONES EN LABORATORIO PARA PAVIMENTOS POROSOS DE HORMIGÓN. JAVIER CASTRO, HERNÁN DE SOLMINIHAC, CARLOS VIDELA, BONIFACIO FERNÁNDEZ. PURDUE UNIVERSITY, ESTADOS UNIDOS, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE, CHILE – 2009.
- SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE “SUDS” COMO ALTERNATIVA DE CONTROL Y REGULACIÓN DE LAS AGUAS LLUVIAS EN LA CIUDAD DE PALMIRA, GEINNER MARTÍNEZ CANDELO, UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA – 2013.
- PAVIMENTOS POROSOS UTILIZADOS COMO SISTEMAS ALTERNATIVOS AL DRENAJE URBANO, ALEJANDRA TRUJILLO LÓPEZ Y DIANA PAOLA QUIROZ LASPRILLA, PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA – 2013.
- LOS SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE: UNA ALTERNATIVA A LA GESTION DEL AGUA DE LLUVIA, SARA PERALES MOMPALER, IGNASIO ANDRES-DOMENECH, UNIVERSIDAD POLOTECNICA DE VALENCIA – 2008.

- DISEÑO HIDRÁULICO DE LOSAS EN PAVIMENTO POROSO RÍGIDO COMO ESTRUCTURAS COMPLEMENTARIAS AL DRENAJE PLUVIAL DE BOGOTÁ, ÁNGELA MARÍA POLANCO ANDRADE, ÁNGELA MARÍA SÁNCHEZ VEGA, PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA – 2012.
- CONTROL DE ESCORRENTÍAS URBANAS MEDIANTE PAVIMENTOS PERMEABLES: APLICACIÓN EN CLIMAS MEDITERRÁNEOS, GARCÍA HABA EDUARDO, UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA – 2011.
- BENITES Bustamante, Juan. Características Físicas y Mecánicas del Concreto Permeable usando Agregados de la Cantera Río Jequetepeque y El Aditivo Chemaplast. Tesis (Título Profesional). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2014.
- FELIPE Moujir, Yalil y FELIPE Castañeda, Luis. Diseño y Aplicación de Concreto Poroso para Pavimentos. Tesis (Título Profesional). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2014.
- FLORES Quispe, Cesar y PACOMPIA Calcina Iván. Diseño de Mezcla de Concreto Permeable con Adición de Tiras de Plástico para Pavimentos F'c 175 Kg/Cm² en la ciudad de Puno. Tesis (Título Profesional). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2015.
- GUIZADO Barrios, Agneth y CURI Grados, Elvis. 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 (Título Profesional). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2017.
- TRUJILLO López, Alejandra y QUIROZ Lasprilla, Diana. Pavimentos Porosos Utilizados como Sistemas Alternativos al Drenaje Urbano. Tesis (Título Profesional). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2013.

ANEXOS

ANEXO 1

FICHA TÉCNICA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL A. GRUESO

CONTENIDO DE HUMEDAD

NTP 339.185 | ASTM C 566

Tesis: PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO, UTILIZANDO CONCRETO POROSO PARA EL CONTROL DEL DRENAJE PLUVIAL EN LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE PROVINCIA DE PICOTA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Tesistas: Hidalgo Saurin, Luis Alfonso
Cardenas Pezo, German Rene

Datos de la Muestra		
Muestra	:	Piedra
Procedencia	:	Cantera de Musa
Profundidad	:	Desconocida

Descripción de la Muestra		
Nº de la Tara	:	-
Peso del Suelo húmedo (gr.)	:	3021.00
Peso de la tara (gr.)	:	339.50
Peso de la tara + Suelo húmedo (gr.)	:	3360.50
Peso de la tara + Suelo seco (gr.)	:	3331.00
Peso del agua (gr.)	:	29.50
Peso del suelo seco (gr.)	:	2991.50
Contenido de humedad (%)	:	0.99

ANEXO 3

FICHA TÉCNICA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL A. FINO

CONTENIDO DE HUMEDAD

NTP 339.185 | ASTM C 566

Tesis: PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO, UTILIZANDO CONCRETO POROSO PARA EL CONTROL DEL DRENAJE PLUVIAL EN LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE PROVINCIA DE PICOTA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Tesistas: Hidalgo Saurin, Luis Alfonso
Cardenas Pezo, German Rene

Datos de la Muestra		
Muestra	:	Arena
Procedencia	:	Cantera de Musa
Profundidad	:	Desconocida

Descripción de la Muestra		
Nº de la Tara	:	7-B
Peso del Suelo húmedo (gr.)	:	50.00
Peso de la tara (gr.)	:	28.22
Peso de la tara + Suelo húmedo (gr.)	:	78.22
Peso de la tara + Suelo seco (gr.)	:	77.91
Peso del agua (gr.)	:	0.31
Peso del suelo seco (gr.)	:	49.69
Contenido de humedad (%)	:	0.62

ANEXO 4

FICHA TÉCNICA DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL A. GRUESO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

NTP 339.185 | ASTM C 566

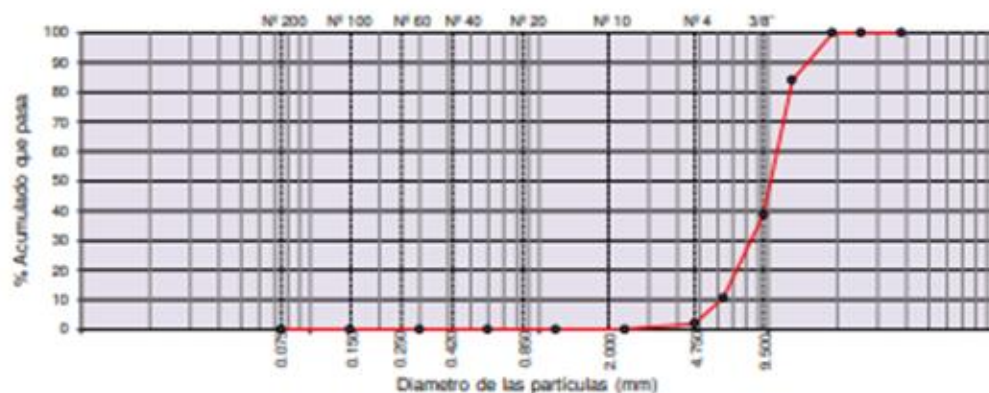
Tesis: PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO, UTILIZANDO CONCRETO POROSO PARA EL CONTROL DEL DRENAJE PLUVIAL EN LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE PROVINCIA DE PICOTA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Tesistas: Hidalgo Saurin, Luis Alfonso
Cardenas Pezo, German Rene

Tamiz	Abert. (mm)	Peso ret. (g)	% Ret.	% Ret. Acum.	% Q' Pasa	ASTM C-33
2 1/2"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00	
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	100
1"	25.40	480.00	16.00	16.00	84.00	90 a 100
3/4"	19.05	1360.00	45.33	61.33	38.67	20 a 55
1/2"	12.70	840.00	28.00	89.33	10.67	0 a 10
3/8"	9.53	260.00	8.67	98.00	2.00	0 a 5
1/4"	6.35	60.00	2.00	100.00	0.00	
Nº 4	4.75	0.00	0.00	100.00	0.00	
Nº 8	2.36	0.00	0.00	100.00	0.00	
Nº 16	1.18	0.00	0.00	100.00	0.00	
Nº 30	0.60	0.00	0.00	100.00	0.00	
Nº 50	0.30	0.00	0.00	100.00	0.00	
Nº 100	0.15	0.00	0.00	100.00	0.00	
Nº 200	0.075	0.00	0.00	100.00	0.00	
< Nº 200		0.00	0.00	100.00	0.00	
TOTAL		3000.00	100.00			

Datos generales	
Datos de la Muestra	
Muestra :	Piedra
Procedencia :	Cantera de Musa
Profundidad :	Desconocida
Huso :	5
TMN :	
ASTM D 2488	
"Descripción e identificación de suelos"	
% Grava =	100.00
% Arena =	0.00
% Finos =	0.00
ASTM D 2216	
Humedad Natural (%) =	0.99
ASTM D 4318-(05)	
"Límite de Atterberg"	
Límite Líquido (%) =	N.P
Límite Plástico (%) =	N.P
Ind. de Plasticidad (%) =	N.P

Clasificación	
S.U.C.S	GP
AASHTO	A-1-a (0)
GP: Grava mal graduada	



ANEXO 5

FICHA TÉCNICA DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL A. FINO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

NTP 339.185 | ASTM C 566

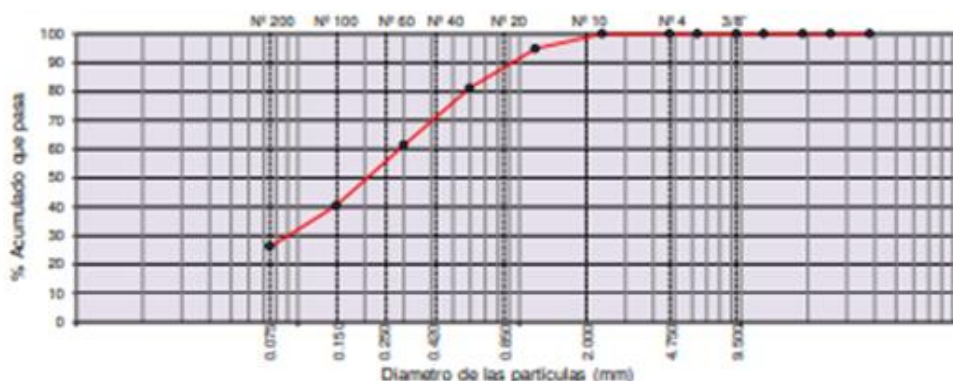
Tesis: PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO, UTILIZANDO CONCRETO POROSO PARA EL CONTROL DEL DRENAJE PLUVIAL EN LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE PROVINCIA DE PICOTA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Tesistas: Hidalgo Saurin, Luis Alfonso
Cardenas Pezo, German Rene

Tamiz	Abert. (mm)	Peso ret. (g)	% Ret.	% Ret. Acum.	% Q' Pasa	ASTM C-33
2 1/2"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00	
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00	100
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00	
Nº 4	4.75	25.62	5.12	5.12	94.88	95 a 100
Nº 8	2.36	68.78	13.76	18.88	81.12	80 a 100
Nº 16	1.18	99.37	19.87	38.75	61.25	50 a 85
Nº 30	0.60	104.53	20.91	59.66	40.34	25 a 60
Nº 50	0.30	71.04	14.21	73.87	26.13	5 a 30
Nº 100	0.15	73.62	14.72	88.59	11.41	0 a 10
Nº 200	0.075	35.64	7.13	95.72	4.28	0 a 5
< Nº 200		21.40	4.28	100.00	0.00	
TOTAL		500.00		100.00		

Datos generales	
Datos de la Muestra	
Muestra :	Arena
Procedencia :	Cantera de Musa
Profundidad :	Desconocida
Huso :	-
TMN :	Nº 4
ASTM D 2488	
"Descripción e identificación de suelos"	
% Grava =	5.12
% Arena =	90.60
% Finos =	4.28
ASTM D 2216	
Humedad Natural (%) =	0.62
ASTM D 4318-(05)	
"Limite de Atterberg"	
Limite Líquido (%) =	N.P
Limite Plástico (%) =	N.P
Ind. de Plasticidad (%) =	N.P

Clasificación	
S.U.C.S	SP
AASHTO	A-3
SP: Arena pobremente graduada	



ANEXO 6

FICHA TÉCNICA DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL A. GRUESO

DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (PESO ESPECÍFICO) Y ABSORCIÓN

NTP 339.185 | ASTM C 566

Tesis: PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO, UTILIZANDO CONCRETO POROSO PARA EL CONTROL DEL DRENAJE PLUVIAL EN LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE PROVINCIA DE PICOTA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Tesistas: Hidalgo Saurin, Luis Alfonso
Cardenas Pezo, German Rene

Datos de la Muestra		
Muestra	:	Piedra
Procedencia	:	Cantera de Musa
Profundidad	:	Desconocida

Descripción de la Muestra - Densidad		
Peso de la tara (gr.)	:	349.00
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr.)	:	3021.00
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire (gr.)	:	3033.50
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	:	1927.00
Gravedad Especifica	:	2.73
Densidad (kg./m3)	:	2730.23

Descripción de la Muestra - Porcentaje de Absorción		
Peso de la tara (gr.)	:	349.00
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr.)	:	3021.00
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire (gr.)	:	3033.50
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	:	1927.00
Porcentaje de Absorción	:	0.41%

Descripción de la Muestra - Densidad Relativa		
Peso de la tara (gr.)	:	349.00
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr.)	:	3021.00
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire (gr.)	:	3033.50
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	:	1927.00
Gravedad Especifica	:	2.76
Densidad Relativa (kg./m3)	:	2761.43

ANEXO 7

FICHA TÉCNICA DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL A. FINO

DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (PESO ESPECÍFICO) Y ABSORCIÓN

NTP 339.185 | ASTM C 566

Tesis: PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO, UTILIZANDO CONCRETO POROSO PARA EL CONTROL DEL DRENAJE PLUVIAL EN LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE PROVINCIA DE PICOTA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Tesistas: Hidalgo Saurin, Luis Alfonso
Cardenas Pezo, German Rene

Datos de la Muestra		
Muestra	:	Arena
Procedencia	:	Cantera de Musa
Profundidad	:	Desconocida

Descripción de la Muestra - Densidad		
Peso de Picnómetro (gr.)	:	198.57
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr.)	:	496.79
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire (gr.)	:	499.42
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	:	303.64
Gravedad Especifica	:	2.54
Densidad (kg./m ³)	:	2537.49

Descripción de la Muestra - Porcentaje de Absorción		
Peso de Picnómetro (gr.)	:	198.57
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr.)	:	496.79
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire (gr.)	:	499.42
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	:	303.64
Porcentaje de Absorción	:	0.53%

Descripción de la Muestra - Densidad Relativa		
Peso de Picnómetro (gr.)	:	198.57
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr.)	:	496.79
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire (gr.)	:	499.42
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	:	303.64
Gravedad Especifica	:	2.57
Densidad Relativa (kg./m ³)	:	2572.04

ANEXO 8

FICHA TÉCNICA DEL PESO UNITARIO DEL A. GRUESO

PRECIO UNITARIO

NTP 339.185 | ASTM C 566

Tesis: PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO, UTILIZANDO CONCRETO POROSO PARA EL CONTROL DEL DRENAJE PLUVIAL EN LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE PROVINCIA DE PICOTA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Tesistas: Hidalgo Saurin, Luis Alfonso
Cardenas Pezo, German Rene

Datos de la Muestra		
Muestra	:	Piedra
Procedencia	:	Cantera de Musa
Profundidad	:	Desconocida

Descripción de la Muestra - Peso Unitario Suelto		
Peso de la tara (gr.)	:	7245.00
Volumen de la tara (cm3)	:	9358.00
Peso de la tara (kg.)	:	7.245
Volumen de la tara (m3)	:	0.009358
Peso de la tara + Suelo (kg.)	:	21.02
Peso Unitario del Suelo (kg./m3)	:	1472.00

Descripción de la Muestra - Peso Unitario Compactado		
Peso de la tara (gr.)	:	7245.00
Volumen de la tara (cm3)	:	9358.00
Peso de la tara (kg.)	:	7.245
Volumen de la tara (m3)	:	0.009358
Peso de la tara + Suelo (kg.)	:	22.24
Peso Unitario del Suelo (kg./m3)	:	1602.37

ANEXO 9

FICHA TÉCNICA DEL PESO UNITARIO DEL A. FINO

PRECIO UNITARIO

NTP 339.185 | ASTM C 566

Tesis: PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO, UTILIZANDO CONCRETO POROSO PARA EL CONTROL DEL DRENAJE PLUVIAL EN LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE PROVINCIA DE PICOTA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Tesistas: Hidalgo Saurin, Luis Alfonso
Cardenas Pezo, German Rene

Datos de la Muestra		
Muestra	:	Arena
Procedencia	:	Cantera de Musa
Profundidad	:	Desconocida

Descripción de la Muestra - Peso Unitario Suelto		
Peso de la tara (gr.)	:	2726.00
Volumen de la tara (cm3)	:	2758.00
Peso de la tara (kg.)	:	2.726
Volumen de la tara (m3)	:	0.002758
Peso de la tara + Suelo (kg.)	:	7.48
Peso Unitario del Suelo (kg./m3)	:	1723.71

Descripción de la Muestra - Peso Unitario Compactado		
Peso de la tara (gr.)	:	2726.00
Volumen de la tara (cm3)	:	2758.00
Peso de la tara (kg.)	:	2.726
Volumen de la tara (m3)	:	0.002758
Peso de la tara + Suelo (kg.)	:	7.82
Peso Unitario del Suelo (kg./m3)	:	1846.99

ANEXO 10

CLASIFICACIÓN REQUERIDA PARA EL AGREGADO GRUESO

Tesis: PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO, UTILIZANDO CONCRETO POROSO PARA EL CONTROL DEL DRENAJE PLUVIAL EN LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE PROVINCIA DE PICOTA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Tesistas: Hidalgo Saurin, Luis Alfonso
Cardenas Pezo, German Rene

HUSO	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMIRES NORMALIZADOS													
		100 mm (4 in.)	90 mm (3 ½ in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2 ½ in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1 ½ in.)	25 mm (1 in.)	19 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ 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 ½ 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 ½ a 1 ½ 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 ½ a ¾ in.)	-	-	-	-	100	95 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
467	37.5 mm a 4.75 mm (1 ½ 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 ½ 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 (¾ a 3/8 in.)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	-
67	19 mm a 4.75 mm (¾ 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 (½ 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