

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**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**

Ángel Francesco Pomalaza Guillermo

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Ing. Jorge Aurelio Ticlla Rivera

AGRADECIMIENTOS

De manera especial agradezco a la Universidad Continental por el apoyo académico brindado durante de mi formación profesional; de igual manera agradezco al Ing. Jorge Aurelio Ticlla Rivera por la asesoría de la presente investigación, sobre todo por sus consejos técnicos, profesionales así también su paciencia y predisposición en todo momento.

Agradezco también a mis compañeros de trabajo, colegas ingenieros, colaboradores técnicos y personal calificado por la predisposición colaborativa para la realización de la parte experimental de la investigación, así también por su paciencia en todo momento.

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a mi familia, por su amor inquebrantable, ayuda, constancia y comprensión a lo largo de mi vida académica. A mi padre por sus consejos para forjar la persona que soy ahora y a mi madre por la enseñanza de los valores y principios que me sirven en el día a día. Gracias también a mi querido hermano que me apoya para conseguir mis objetivos y escalar esta nueva etapa.

ÍNDICE

Portada.....	i
Asesor	ii
Agradecimientos.....	iii
Dedicatoria	iv
Índice.....	v
Índice de figuras	viii
Índice de tablas	ix
Resumen	xi
Abstract.....	xii
Introducción.....	xiii
CAPÍTULO I.....	14
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	14
1.1. Planteamiento y formulación del problema	14
1.1.1. Planteamiento del problema.....	14
1.1.2. Formulación del problema	18
1.2. Objetivos	18
1.2.1. Objetivo general	18
1.2.2. Objetivos específicos.....	18
1.3. Justificación e importancia	18
1.3.1. Justificación práctica	18
1.3.2. Justificación metodológica.....	19
1.3.3. Justificación científica.....	19
1.3.4. Importancia.....	19
1.4. Hipótesis y variables	20
1.4.1. Hipótesis general.....	20
1.4.1.1. Hipótesis alterna	20
1.4.1.2. Hipótesis nula	20
1.4.2. Hipótesis específicas.....	20
1.4.2.1. Hipótesis alterna	20
1.4.2.2. Hipótesis nula	20
1.4.3. Operacionalización de las variables	21

CAPÍTULO II	22
MARCO TEÓRICO	22
2.1. Antecedentes de la investigación.....	22
2.1.1. Antecedentes encontrados en artículos científicos.....	22
2.1.2. Antecedentes encontrados en tesis.....	24
2.1.3. Antecedentes encontrados en artículos de divulgación.....	26
2.2. Bases teóricas	28
2.2.1. Fundamentos teóricos de la investigación.....	28
2.2.2. Fundamentos metodológicos de la investigación	55
2.3. Definición de términos.....	70
CAPÍTULO III	73
METODOLOGÍA	69
3.1. Método, tipo y nivel de la investigación.....	73
3.1.1. Métodos de la investigación	73
3.1.2. Tipo de la investigación	73
3.1.3. Nivel de la investigación	74
3.2. Diseño de la investigación	74
3.3. Población y muestra	76
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	76
3.4.1. Técnicas de recolección de datos	76
CAPÍTULO IV	78
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	74
4.1. Resultados de la investigación.....	78
4.1.1. Diseño de mezcla.....	74
4.1.1.1. Diseño de mezcla "A" con finos.....	75
4.1.1.2. Diseño de mezcla "B" sin finos.....	78
4.1.2. Probetas de concreto.....	81
4.1.2.1. Resistencia a la compresión	86
4.1.2.1.1. Diseño de mezcla "A" con finos	86
4.1.2.1.2. Diseño de mezcla "B" sin finos.....	88
4.1.2.2. Resistencia a la flexión	90
4.1.2.2.1. Diseño de mezcla "A" con finos	90
4.1.2.2.2. Diseño de mezcla "B" sin finos.....	92
4.2. Discusión de resultados	93

4.2.1. Resistencia a la compresión	97
4.2.1.1. Resistencia de concreto con 15% de vacíos	97
4.2.1.2. Resistencia de concreto con 20% de vacíos	98
4.2.1.3. Resistencia de concreto con 25% de vacíos	99
4.2.2. Resistencia a la flexión	100
4.2.2.1. Resistencia de concreto con 15% de vacíos	101
4.2.2.2. Resistencia de concreto con 20% de vacíos	102
4.2.2.3. Resistencia de concreto con 25% de vacíos	103
4.2.3. Análisis de resultados	104
Conclusiones.....	107
Recomendaciones.....	109
Referencias	110
Anexos	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Inundaciones de las calles de Huancayo	15
Figura 2. Promedio multianual de las precipitaciones para las estaciones del valle del Mantaro.	17
Figura 3. Concreto poroso.....	30
Figura 4. Filtración versus contenido de aire.....	44
Figura 5. Preparación del concreto poroso.....	45
Figura 6. Sección de una base permeable con una berma de asfalto.....	49
Figura 7. Caracterización del concreto poroso mediante el uso del módulo de ruptura y considerando el porcentaje de desgaste.	56
Figura 8. Esfuerzo de compresión vs. contenido de aire.....	58
Figura 9. Ensayos de laboratorio.....	77
Figura 10. Eje de vía típico de pavimento para el diseño del drenaje	94
Figura 11. Detalle de pavimento de concreto poroso de acuerdo con los cálculos.....	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de las variables de estudio.....	21
Tabla 2. Estándares de control del hormigón.....	27
Tabla 3. Límites de granulometría para el agregado fino.....	35
Tabla 4. Normas que regulan los aditivos según su función.....	36
Tabla 5. Clasificación de aditivos por las propiedades que modifican.....	36
Tabla 6. Clasificación y codificación de aditivos.....	45
Tabla 7. Requisitos para concretos expuestos a soluciones que contienen sulfatos.....	46
Tabla 8. Composición de agua de lluvia y mar.....	47
Tabla 9. Comparación de parámetros límite entre agua potabilizada y aguas de lluvia para concreto.....	48
Tabla 10. Valores recomendados del coeficiente de drenaje (Cd) para el diseño.....	50
Tabla 11. Elementos estructurales de pavimentos relacionados al concreto poroso.....	56
Tabla 12. Parámetros de los pavimentos espaciales.....	57
Tabla 13. Caracterización de agregados.....	59
Tabla 14. Características de los materiales.....	78
Tabla 15. Condiciones de diseño para 15% de vacío.....	79
Tabla 16. Volúmenes de materiales para 15% de vacíos.....	79
Tabla 17. Proporciones de materiales para 15% de vacíos.....	80
Tabla 18. Condiciones de diseño para 20% de vacíos.....	80
Tabla 19. Volúmenes de materiales para 20% de vacíos.....	80
Tabla 20. Proporciones de materiales para 20% de vacíos.....	81
Tabla 21. Condiciones de diseño para 25% de vacíos.....	81
Tabla 22. Volúmenes de materiales para 25% de vacíos.....	82
Tabla 23. Proporción de los materiales para 25% de vacíos.....	82
Tabla 24. Condiciones de diseño para 15% de vacíos.....	83
Tabla 25. Volúmenes de materiales para 15% de vacíos.....	83
Tabla 26. Proporción de los materiales para 15% de vacíos.....	83
Tabla 27. Condiciones de diseño para 20% de vacíos.....	84
Tabla 28. Volúmenes de materiales para 20% de vacíos.....	84

Tabla 29. Proporción de materiales para 20% de vacíos	84
Tabla 30. Condiciones de diseño para 25% de vacíos.....	85
Tabla 31. Volúmenes de materiales para 25% de vacíos	85
Tabla 32. Proporción de materiales para 25% de vacíos.	85
Tabla 33. Resistencia de concreto a la compresión para 15% de vacíos	86
Tabla 34. Resistencia de concreto a la compresión para 20% de vacíos	87
Tabla 35. Resistencia de concreto a la compresión para 25% de vacíos	88
Tabla 36. Resistencia de concreto a la compresión para 15% de vacíos	89
Tabla 37. Resistencia de concreto a la compresión para 20% de vacíos	89
Tabla 38. Resistencia de concreto a la compresión para 25% de vacíos	90
Tabla 39. Resistencia de concreto a la flexión para 15% de vacíos.....	91
Tabla 40. Resistencia de concreto a la flexión para 20% de vacíos.....	91
Tabla 41. Resistencia de concreto a la flexión para 25% de vacíos.....	92
Tabla 42. Resistencia de concreto a la flexión para 15% de vacíos.....	92
Tabla 43. Resistencia de concreto a la flexión para 20% de vacíos.....	93
Tabla 44. Resistencia de concreto a la flexión para 25% de vacíos.....	93
Tabla 45. Cuadro comparativo de la resistencia del concreto para 15% de vacíos	97
Tabla 46. Cuadro comparativo de la resistencia del concreto para 20% de vacíos	98
Tabla 47. Cuadro comparativo de la resistencia del concreto para 25% de vacíos	99
Tabla 48. Cuadro comparativo de la resistencia del concreto para 15% de vacíos	101
Tabla 49. Cuadro comparativo de la resistencia del concreto para 20% de vacíos	102
Tabla 50. Cuadro comparativo de la resistencia del concreto para 25% de vacíos	103

RESUMEN

La presente investigación tiene como **objetivo**: Determinar la influencia de la aplicación de pavimentos de concreto poroso en el control de la acumulación de precipitaciones pluviales en las calles de la provincia de Huancayo en el 2017. El **método** que se utilizó fue el deductivo analítico e hipotético; el método específico fue el observacional de corte preexperimental, el tipo de investigación es el aplicado o aplicativo, el nivel de la investigación es el correlacional y el diseño apropiado es el preexperimental de corte transversal. Los **resultados** obtenidos a través de las tres muestras de ensayo, tomando en consideración la resistencia a compresión, flexión y permeabilidad; en relación el porcentaje de vacíos y su volumen de infiltración se obtuvo de las mezclas de concreto portland permeables diseñadas con 15%, 20% y 25% de porosidad en un período de 7 días, en relación con la resistencia se presentaron en el siguiente orden 162.34; 151.06 y 141.63 kg/cm² y los resultados de la mezclas de concreto portland permeables con respecto a la resistencia de compresión con 15%, 20% y 25% en el período de 7 y 28 días. En el ensayo realizado la mezcla de concreto con un 15% de vacíos se observa que el concreto a los 7 días alcanza una resistencia de 162.34 kg/cm² y a los 28 días alcanza una resistencia de 242.30 kg/cm². En los resultados de los estudios realizados a las mezclas de concreto portland permeable diseñado con un porcentaje de vacíos de 20% de vacíos se observa que el concreto a los 7 días alcanza una resistencia de 151.06 kg/cm² y a los 28 días alcanza una resistencia de 230.67 kg/cm². En los resultados de los estudios realizados a las mezclas de concreto portland permeable diseñado con un porcentaje de vacíos de 25% de vacíos se observa que el concreto a los 7 días alcanza una resistencia de 141.63 kg/cm² y a los 28 días alcanza una resistencia de 213.34 kg/cm². Con lo que se concluye que la aplicación de concreto poroso influye significativamente en el control de la acumulación de precipitaciones pluviales en las calles de la provincia de Huancayo en el 2017, concluyendo que, a menor porcentaje de vacíos, la permeabilidad tiende a aumentar.

Palabras clave: concreto poroso, infiltración, permeabilidad

ABSTRACT

The main objective of this research is: To determine the influence of the application of porous concrete pavements in the control of the accumulation of rainfall in the streets of the province of Huancayo in 2017. The method used was the analytical deductive and hypothetical; the specific method was the pre-experimental observational method, the type of research is applied or applicative, the level of research is correlational, and the appropriate design is the pre-experimental cross-section. The results obtained through the three test samples, taking into consideration the resistance to compression, bending and permeability; Regarding the percentage of voids and their infiltration volume, it was obtained from the permeable Portland concrete mixtures designed with 15%, 20% and 25% porosity in a period of 28 days, in relation to the resistance they were presented in the following order 162.34; 151.06 and 141.63 kg / cm² and the results of the permeable Portland concrete mixtures with respect to the compression resistance with 15%, 20% and 25% in the period of 7 and 28 days. In the test carried out the concrete mix with 15% voids, it is observed that the concrete reaches a resistance of 162.34 kg/cm² after 7 days, and after 28 days it reaches a resistance of 242.30 kg / cm². In the results of the studies carried out on the permeable Portland concrete mixtures designed with a void percentage of 20% voids, it is observed that the concrete reaches a resistance of 151.06 kg / cm² after 7 days and after 28 days it reaches a resistance of 230.67 kg / cm². In the results of the studies carried out on the permeable Portland concrete mixtures designed with a void percentage of 25% voids, it is observed that the concrete reaches a resistance of 141.63 kg / cm² at 7 days and at 28 days it reaches a resistance of 213.34 kg / cm². With which it is concluded that the application of porous concrete significantly influences the control of the accumulation of rainfall in the streets of the province of Huancayo in 2017, concluding that, with a lower percentage of voids, the permeability tends to increase.

Keywords: infiltration, permeability, porous concrete

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas vigentes en la provincia de Huancayo, es la congestión vehicular debido a diferentes factores; entre ellas las torrenciales lluvias que se dan en la región, como se ha visto en los diferentes años estas torrenciales lluvias traen consecuencias tales como pérdidas económicas y sociales.

La presente investigación tiene el objetivo de brindar una solución viable y factible como es la aplicación de pavimentos de material de concreto poroso como alternativa de control de la acumulación de precipitaciones pluviales en la provincia de Huancayo, el siguiente estudio está compuesto de la siguiente manera:

El capítulo I presenta el planteamiento del problema, formulación del problema, los objetivos, justificación e hipótesis. Además, se explican temas metodológicos.

El capítulo II aborda los aspectos como las bases bibliográficas que se usaron para sustentar la investigación como son los antecedentes publicados en artículos científicos, en textos de divulgación y en tesis. Además, las bases teóricas como el concreto poroso, los materiales que lo componen y los procedimientos.

El capítulo III aborda los aspectos metodológicos como método, tipo, nivel de investigación y diseño de la investigación. Además de la población, muestras y las técnicas usadas en esta investigación para la recolección de datos.

El capítulo IV aborda los resultados de la investigación, en este caso la relación del porcentaje de vacíos con la resistencia del concreto poroso, y la interpretación de los resultados.

En la última sección de esta investigación se abordan las conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas que se usaron en la investigación

El autor

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

Las lluvias torrenciales provocan graves inundaciones que evidencian pérdidas materiales y humanas. Dicho escenario es considerado como un fenómeno natural de tipo atmosférico que cada año provoca inundaciones y deslizamientos de tierra en varias partes del mundo estacionalmente. Por otro lado, se pueden presentar fenómenos como anomalías que pueden ser considerados como eventos poco comunes, sin embargo, suele suceder que en ambos casos se observan reportes que evidencian consecuencias negativas para la población. (1)

La lluvia se mide en milímetros por metro cuadrado; su intensidad se clasifica según la intensidad media en milímetros para un metro cuadrado en una hora. Menos de dos milímetros por metro cuadrado en una hora es una lluvia débil; más de 60 milímetros, una lluvia torrencial. Pero ¿cuáles son las causas de las lluvias torrenciales?; a lo cual no se tienen más que dudas en el mayor de los casos.

Algunos de estos son provocados por huracanes, tifones o fenómenos climáticos (anomalías) como “El Niño”. (2).

El monzón de verano, que causa lluvias torrenciales en India y el sureste de Asia es causado principalmente por la diferencia entre la temperatura anual entre la tierra y el océano, además de que los vientos alisios que se producen en el noreste y el sureste convergen en una zona de baja presión conocida como Zona de Convergencia Intertropical, donde se produce un continuo aumento de los vientos húmedos, desde la superficie del mar se dirigen hacia las capas superiores de la atmósfera, donde el aire ya no puede contener tanta humedad, dando como resultado las fuertes precipitaciones. (3) Particularmente para la zona de estudio, las inundaciones por lluvias torrenciales se producen cada año con diferente intensidad, con mayor frecuencia entre los meses de noviembre y abril anualmente, que es la temporada de lluvias típica de la zona, la cual coincide con el verano estacional inversamente proporcional por la presencia de la Cordillera de los Andes, información que es proporcionada por el Centro Nacional de Estimación, prevención y reducción del riesgo de desastres. (4)

En el caso de Huancayo y Chilca, estos distritos constantemente poseen problemas debido a que el sistema de alcantarillado colapsa debido a la acumulación del agua pluvial, lo que provoca inundaciones en las propiedades cercanas a dichos embalses, además de causar riesgos de salud. El Servicio Nacional de Meteorología (Senamhi) considera que las lluvias continúan intensificándose año tras año, representando un problema para los pobladores.



Figura 1. Inundaciones de las calles de Huancayo

Como se puede observar en la imagen, las lluvias constantes hacen colapsar los desagües, lo que deteriora el pavimento acortando su tiempo de vida.

El promedio multianual brindado por el Senamhi muestra algunas de las provincias de Huancayo, se muestran así, los milímetros por cuadrado anual variando entre 121 mm hasta 5 mm lo cual indica que existen meses donde la lluvia baja drásticamente.

Los problemas a causa de los empozamientos de aguas pluviales en Huancayo van creciendo conforme se va urbanizando, así también el crecimiento poblacional no favorece este problema, ya que el diseño de las alcantarillas, desagües y cunetas no abastece para poder transportar el agua de las lluvias, causando problemas tanto estructurales y en la sociedad, trayendo molestias a los habitantes de las zonas afectadas, otro efecto muy influyente es el calentamiento global que causa cambios climáticos muy severos provocando lluvias muy intensas de manera muy frecuente en esta zona, la cual tendría que ser infiltrada de manera natural por el suelo, pero con la impermeabilización del mismo se ha perdido este procedimiento natural, y así se pierde el sustento de la recarga de acuíferos naturales los cuales son fuentes naturales de agua que posiblemente en el futuro sean la única fuente de este líquido tan esencial, es por esta razón que nace la implementación del concreto poroso como alternativa de reducción de este problema que va creciendo a lo largo de los años, causando dificultades a la población de Huancayo; de esta manera también se puede mantener las fuentes de agua naturales con la recarga de los acuíferos, aguas subterráneas y el reciclaje de las aguas de lluvia a través de su reutilización, lo cual permite el concreto poroso por su diseño permeable.

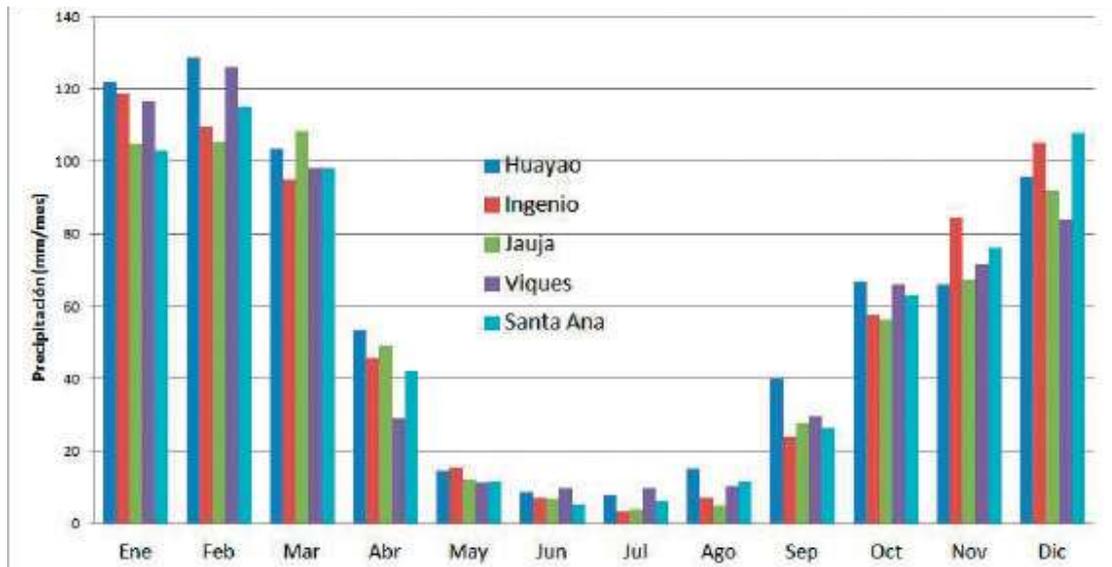


Figura 2. Promedio multianual de las precipitaciones para las estaciones del valle del Mantaro. Tomada de Senamhi

Asimismo, debido a la sedimentación, al arrastre de suelos, y desbordamiento de los ríos y la falta de mantenimiento de los cauces, se evidencia una predisposición a que estos ríos se tiendan a desbordar, por más que presente un menor caudal. Analizando el carácter estructural ejecutado por el ser humano para su desarrollo, se da una situación muy similar evidenciada en el colapso de la red de alcantarillado, el que, en su mayoría, está obsoleto en función de su período de diseño; producto de las fuertes lluvias que se registran en Huancayo y sus alrededores, y más si se habla de cambios climáticos muy severos; se evidencia un riesgo sanitario para la población en general, el Dr. Nico Rojas Hilario, a cargo de la oficina de Defensa Nacional de la Dirección Regional de Salud – Junín, los casos de enfermedades respiratorias y gastrointestinales incrementaron en un 40% encontrando una relación directa con dicho escenario problemático. “Lo lamentable es que hace más de 20 años los alcaldes no han hecho el mantenimiento de las tuberías de desagüe”. (5) Evidenciando una oportunidad de investigación que se adecúe a la realidad ya comprobada; el proponer alternativas sostenibles e innovadoras del diseño estructural del concreto, aplicado en la pavimentación de calles, en tentativa, apunta a la solución de dicha situación, de modo que la oportunidad es asumida en la presente investigación desde el enfoque inicial en el sector de estudio.

1.1.2. Formulación del problema

A) Problema general

- ¿En qué medida tiene efecto la relación del pavimento de concreto poroso como alternativa de control de drenaje en la acumulación de precipitaciones pluviales en la provincia de Huancayo en el año 2017?

B) Problemas específicos

- ¿Cuál es el porcentaje de porosidad óptimo para reducir la escorrentía pluvial en las calles de la provincia de Huancayo en el año 2017?
- ¿Cuál es la dosificación del concreto adecuada para reducir la escorrentía pluvial en las calles de la provincia de Huancayo en el año 2017?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Determinar en qué medida tiene efecto la relación del pavimento de concreto poroso como alternativa de control de drenaje en la acumulación de precipitaciones pluviales en la provincia de Huancayo en el año 2017.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar cuál es el porcentaje de porosidad óptimo para reducir la escorrentía pluvial en las calles de la provincia de Huancayo en el año 2017.
- Determinar cuál es la dosificación del concreto adecuada para reducir la escorrentía pluvial en las calles de la provincia de Huancayo en el año 2017.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación práctica

Se realizó la investigación con el objeto práctico de conocer la influencia del diseño de pavimentos con la alternativa innovadora de concreto poroso, es decir con una estructura no convencional, de modo que aquella pueda ser aplicada en el control de la acumulación de precipitaciones pluviales, o simplemente lluvias, de modo que se pueda plantear como una potencial solución a la acumulación de agua que acarrea a la formación y/o proliferación

de enfermedades, así también que genera congestión vehicular en ciudades con importante carga vehicular.

1.3.2. Justificación metodológica

En sentido a la aplicación de una alternativa innovadora que se oriente a la solución de la acumulación de agua relacionada al ineficiente sistema de drenaje de ciudades en vías de desarrollo, se pretendió aplicar un entorno metodológico que se enfoque en el desarrollo estructural original y ligado a la concepción de concreto con características de porosidad que faciliten a la infiltración propiamente dicha del recurso hídrico presente a causa de precipitaciones; la presente investigación se justifica en su metodología por el empleo de pruebas de permeabilidad y resistencia a la flexión, así como de comprensión simple asociado al concreto permeable, propiamente validadas en un entorno estandarizado que conlleve a obtener un diseño estructural óptimo.

1.3.3. Justificación científica

En sentido de la búsqueda de nuevos conocimientos, se planteó obtener información original y específica para el contexto local de estudio mediante la aplicación de un entorno científico basado en la observación y preexperimentación relacionada al diseño de alternativas que reflejen sostenibilidad en su aplicación de los concretos o pavimentos porosos que reflejan en gran medida una potencial solución a la acumulación de precipitaciones pluviales en entornos urbanísticos donde el sistema de drenaje ha colapsado.

1.3.4. Importancia

La importancia de la presente investigación se sostuvo por el hecho de generar una alternativa de diseño de pavimentos, a base de concreto poroso, innovador en el contexto local de estudio en sentido de sumar óptimamente a la solución del problema de ineficiencia de los drenajes implementados en la zona urbana y complementaria al asfaltado de las calles respecto de su período de diseño, el cual, en la ciudad de Huancayo, ya sobrepasó en muchas circunstancias el período estimado.

1.4. Hipótesis y variables

1.4.1. Hipótesis general

1.4.1.1. Hipótesis alterna

H_i : existe influencia significativa de la aplicación de pavimentos de concreto poroso en el control de la acumulación de precipitaciones pluviales en las calles de la provincia de Huancayo en el 2017.

1.4.1.2. Hipótesis nula

H_0 : no existe influencia significativa de la aplicación de pavimentos de concreto poroso en el control de la acumulación de precipitaciones pluviales en las calles de la provincia de Huancayo en el 2017.

1.4.2. Hipótesis específicas

1.4.2.1. Hipótesis alterna

H_a : si el porcentaje de porosidad aumenta se reducirá la escorrentía pluvial en las calles de la provincia de Huancayo en el 2017.

H_a : si la dosificación del concreto aumenta se reducirá la escorrentía pluvial en las calles de la provincia de Huancayo en el 2017.

1.4.2.2. Hipótesis nula

H_0 : si el porcentaje de porosidad no aumenta se reducirá la escorrentía pluvial en las calles de la provincia de Huancayo en el 2017.

H_0 : si la dosificación del concreto no aumenta se reducirá la escorrentía pluvial en las calles de la provincia de Huancayo en el 2017.

1.4.3. Operacionalización de las variables

Tabla 1.

Matriz de operacionalización de las variables de estudio

Variables	Tipo	Concepto	Categorías	Indicadores
Pavimento de concreto poroso	Dependiente	Es un tipo de pavimento que reúne características de porosidad que facilitan la infiltración y evitan la acumulación de agua	Concreto Recursos Condiciones de diseño	Pavimento no convencional Relación w/c; aditivos; resistencia a la compresión; aplicación sostenible del diseño
Control de drenaje en la acumulación de precipitaciones pluviales de Huancayo en el 2017	Independiente	Es el valor que proveen sistemas o diseños consecuentes a un concreto con propiedades de infiltración ideal	Precipitación efectiva Acumulación	mm/m ³ Escorrentía superficial Infiltración Aguas subterráneas

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes encontrados en artículos científicos

En el artículo titulado “*Concreto poroso: constitución, variables influyentes y protocolos para su caracterización*”, en la que plantearon como objetivo “la evaluación del uso potencial del concreto poroso en construcciones del Cantón Machala, donde el nivel de escorrentía superficial lo justifique”. (6) En sus resultados presentan que la granulometría es fundamental para concebir un concreto impermeable al tener una ausencia de “finos” casi en su totalidad, equivalente a un 40% de vacíos; de igual manera, aseguran que al tener una mayor dosis de cemento se reducirá el porcentaje de vacíos, en consecuencia, se perderá la capacidad de infiltración; la misma situación se da al tener una dosis de agua excesiva puesto que se generará una pasta sellante; respecto del pavimento permeable, consideran que se debe tener en cuenta que “el máximo tamaño de agregado está restringido a un tercio del grosor especificado del pavimento”. Concluyen que el concreto permeable o poroso constituye una alternativa viable para evitar inundaciones, así como representa un potencial de recarga de acuíferos en áreas donde el recurso hídrico sea minoritario; de igual manera para determinar las condiciones ideales de permeabilidad y/o porosidad, previamente caracterizadas, consideran que es necesario realizar ensayos de: “compresión, flexotracción, permeabilidad y porcentaje de vacíos de acuerdo a las normas ACI y ASTM”. (6)

En la investigación titulada “*Diseño de un concreto permeable para la recuperación de agua*”, con el objetivo de diseñar “un concreto permeable para su utilización en estaciones de lavado de autos, de manera que el agua pueda recuperarse para su tratamiento y reutilización o bien, descarga en los sistemas de alcantarillado con una menor carga de contaminantes”. (7) Llegaron al resultado principal que las condiciones de diseño adecuadas se evidencian tras 21 días, reflejando las propiedades de resistencia y permeabilidad adecuadas, teniendo en cuenta que se agregó como aditivo al humo de sílice al 15%, además de que el concreto fue hecho sin la necesidad de añadir algún agregado fino. Concluyen que el aditivo utilizado es el adecuado, a comparación de la utilización de cenizas volantes, además de que “a medida que se aumenta la concentración de humo de sílice aumenta la resistencia del concreto”, sin embargo, su proporción óptima aún sigue siendo objeto de estudio, al igual que los factores económicos en su desarrollo.

En la investigación titulada “*Permeabilidad y porosidad en concreto*” con el objeto de “cuantificar la permeabilidad y porosidad en concreto poroso y su variación con la resistencia a la compresión”. (8) Se llegó a resultados cuantitativos relacionados al valor necesario de hidratación del cemento (120 cal/g), así como el tamaño máximo de agregado resultante fue de 2” con una densidad de equivalente a 2000 kg/m³. Concluye que el grado de permeabilidad está relacionada y controlada por la propia porosidad del cemento en su estado de pasta; de igual manera que se obtuvo un valor de permeabilidad de 2.342 mm/s, mientras que la proporción ideal de cemento fue de 350 kg/m³ y en consecuencia un porcentaje real e ideal de vacíos de un 11%.

En la investigación titulada “*Relación entre la resistencia a la compresión y la porosidad del concreto evaluada a partir de parámetros ultrasónicos*” que tiene como objetivo general “evaluar la resistencia a la compresión y la porosidad en muestras de concreto empleando medidas de velocidad de pulso ultrasónico (VPU) y posteriormente establecer relaciones entre las propiedades estudiadas y la VPU”. (9) En sus resultados exponen que la relación de mezcla se mantuvo durante 28 días preservadas a condiciones ambientales y sin exponerlas al sol; de igual manera, consideran que el factor más importante a tener en cuenta es

la porosidad puesto que influye en el ingreso, o no, de agentes en la estructura del concreto tendiendo a variar la resistencia a la compresión, es decir, perjudicando la vida útil proyectada de la estructura fabricada. Concluyen puntualmente que al incrementar la relación agua/cemento se tiende por incrementar a la porosidad porcentualmente y se reduce la resistencia a la compresión.

En la investigación titulada "*El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana*", con el objeto de comparar dos tipos de concretos: uno sometido y elaborado en condiciones "sostenibles" y otro denominado como convencional. (10) En sus resultados y conclusiones muestra que existe una viabilidad respecto del empleo de materiales reciclados en un entorno de confección sostenible de materiales originales destinados al sector de la construcción, es decir, generar concreto con propiedades ideales respecto de la compresión y período de diseño considerando alternativas amigables con el medio ambiente; de igual manera considera que mediante la aplicación de la relación de agua/cemento con un valor igual a 0.50 se logró obtener un promedio de porosidad ideal (23.3%) y reflejó un mejor desempeño respecto a la compresión (95%). De manera complementaria señalan que "las mezclas confeccionadas con agregados reciclados presentan un costo muy parecido a la mezcla de referencia, dado que, si bien consumen más cemento, el costo del agregado reciclado es menor que el natural".

2.1.2. Antecedentes encontrados en tesis

En la tesis de posgrado titulada "*Estudio experimental de concretos permeables con agregados andesíticos*", donde se planteó el objetivo general de "sentar las bases para la fabricación de concretos permeables con agregados andesíticos con un porcentaje de vacíos que cumplan los requisitos de permeabilidad y resistencia". (11) Se concluye lo siguiente:

- Al tener un menor porcentaje de vacíos se evidencia un incremento de la resistencia ($15\% <> 195 \text{ kg/cm}^2$), así como también el peso volumétrico tiende a incrementarse, sin embargo, la permeabilidad tiende a disminuir. Complementariamente, considera que la presencia de vacíos, en términos

porcentuales, tiende a influir significativamente en las propiedades del concreto permeable.

- El peso volumétrico al realizar las mezclas teniendo en cuenta un 15% de vacíos fue de 1944 kg/cm^3 , mientras que con un 20% el peso fue de 1899 kg/cm^3 ; se evidenció que al tener un mayor porcentaje de vacíos el peso volumétrico fue menor, sin embargo, para los porcentajes empleados mencionan que se encontraron dentro del rango esperado.
- “La mezcla de concreto permeable más resistente se obtuvo utilizando una razón a/c de 0.35, utilizando agregados de $\frac{3}{4}$ ”, una porción de cemento de 350 kg/m^3 , incrementando un 10% de arena y un porcentaje de porosidad o vacíos de 15%”.

En la tesis titulada “*Tecnología del concreto permeable o ecológico en la construcción*”, en la que se buscó “plasmar los puntos principales relacionados con el concreto permeable, mediante la búsqueda exhaustiva de información”.

(12) Sus principales conclusiones fueron:

- “El uso de un pavimento permeable ayudaría en mucho a mantener el medio ambiente, ya que permite la recuperación de agua de lluvia a los mantos acuíferos que son las fuentes naturales de suministro de agua de las ciudades”. (12)
- La recarga de acuíferos permitiría reducir los costos por extracción de agua, dinamizando el alcance del recurso hídrico poblacional y de servicio agrícola.
- Existe mucha competitividad en el contexto de estudio respecto del producto elaborado, sin embargo, la oportunidad de mejora se refleja en la optimización de la resistencia frente al soporte de cargas de consideración. (12)

En la tesis titulada “*Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos f’c 175 kg/cm^2 en la ciudad de Puno*”, con el objetivo “evaluar la incidencia que tiene la incorporación de tiras de plástico (polipropileno) en las propiedades del concreto permeable f’c 175 kg/cm^2 diseñado para pavimento en la ciudad de Puno”. (13) En sus conclusiones mencionan que:

- La incorporación del “aditivo” empleado, es decir las tiras de polipropileno, ayudan en la mejora parcial de las propiedades del concreto poroso (permeable), en específico en la resistencia a la compresión.
- Las demás propiedades (porcentaje de vacíos y la permeabilidad) del concreto poroso presentaron una variación respecto de sus magnitudes con una tendencia inversamente proporcional.

2.1.3. Antecedentes encontrados en artículos de divulgación

En la investigación titulada “*Evaluación de los resultados de los ensayos a compresión del hormigo de obra*”, (14) donde realiza los estándares de comparación de concretos para evaluar el control del concreto aplicado en obra en base a la Normativa establecida por el ACI Comité 214, (15) donde se aprecia la tabla de los valores que debe cumplir los resultados en base al coeficiente de variación de los resultados obtenidos por los concretos sometidos a una prueba de laboratorio para calcular la resistencia que poseen a la compresión, de esta investigación se puede utilizar dicha tabla para evaluar los valores de concreto obtenidos, los cuales estarán dentro de los estándares de variaciones dentro de una misma mezcla aplicado en el control de obra, la cual menciona que los coeficientes de variación para los diferentes estándares de calidad, si son menores a 4 de coeficiente de variación se considera excelente, de 4 a 5 de coeficiente de variación se puede considerar buena, y así sucesivamente como se detalla en la tabla, dando el punto de inicio para la validación o aceptación de los resultados obtenidos en las pruebas que se realizaron para esta investigación. (14)

Tabla 2.
Estándares de control del hormigón

Clase de operaciones	Coeficiente de variación para los diferentes estándares de control			
	excelente	bueno	medio	pobre
Variación total:				
(I) construcción en general	inferior a 10,0	10,0 a 15,0	15,0 a 20,0	sobre 20,0
(II) control de laboratorio	inferior a 5,0	5,0 a 7,0	7,0 a 10,0	sobre 10,0
Variaciones dentro de una misma mezcla:				
(I) control en obra	inferior a 4,0	4,0 a 5,0	5,0 a 6,0	sobre 6,0
(II) control de laboratorio	inferior a 3,0	3,0 a 4,0	4,0 a 5,0	sobre 5,0

Nota: Estos estándares representan los promedios para cilindros de 28 días calculados a partir de un gran número de ensayos; cabe esperar diferentes valores para otros que sean distintos de los promedios.

Tomada de Evaluación de resultados (13)

En el artículo titulado “*Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad*”, (16) en la que plantearon como objetivo “determinar la influencia que tienen sobre la resistencia a la compresión uniaxial y la permeabilidad del concreto permeable los siguientes factores: relación agua/cemento, tipo de agregado grueso, contenido de vacíos y peso unitario de la mezcla”. En sus resultados exponen el ensayo propiamente de 8 ensayos estructurales que reflejaron las siguientes condiciones ideales de diseño: resistencia a la compresión cortante o uniaxial de 10.3 MPa (equivalente a 105 kg/cm²); a mayor tiempo de desarrollo y preservación se obtienen mejores valores porcentuales de resistencia, sin embargo, a una semana de preservación se obtuvo una resistencia ideal equivalente a 84%; respecto de la permeabilidad, en promedio fue 1.50 cm/s lo cual evidenció ser 150 veces el valor del concreto común utilizado en el contexto de su estudio. Concluyen que la relación agua/cemento recomendada y calculada fue de 4/1, así como la relación entre agregados fue menor a 10%; de igual modo, señalan que “las variables que afectan de forma positiva la resistencia del material lo hacen de forma negativa con la permeabilidad”. (16)

En el artículo de divulgación titulado “*La sustentabilidad y el concreto permeable*”, (17) donde señalan que el sistema de concreto poroso, el cual presenta un potencial de permeabilidad, favorece a la infiltración eficiente de agua proveniente de las precipitaciones, sin embargo, mantiene aún limitantes respecto de su capacidad estructural y por ende refleja una aplicación parcialmente limitada. Desde un entorno de sostenibilidad, consideran puntualmente que “el método provee la facilidad de convertir una alcantarilla convencional por otra denominada como sostenible puesto que representa un potencial de administrar la práctica de captación, almacenamiento e infiltración de las alcantarillas en el entorno natural; la práctica de este sistema incluye la reducción de las descargas de las alcantarillas, así como mejoras en la calidad del agua, reduciendo la suspensión de sólidos y químicos contaminantes”. (17)

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Fundamentos teóricos de la investigación

Concreto poroso o permeable

El concreto denominado como permeable o poroso es elaborado a base de agregado catalogado como “grueso”, agua, cemento y aditivos teniendo en cuenta una cantidad de arena en baja cantidad. Dichas consideraciones técnicas de fabricación evidencian un drenaje rápido del agua que se encuentra en contacto con dichos concretos por la presencia de poros o vacíos en la estructura, lo cual sirve como vías de escape. (16) Las condiciones ideales de fabricación son las siguientes según los autores citados: 1) relación agua/cemento (w/c) baja; 2) porcentaje de vacíos del 15 al 25% utilizando grava de 3/8” o 10 mm, o del 30 a 40% utilizando rocas de 1/2” o 12 mm. El concreto permeable se utiliza sin refuerzo, ya que su porosidad deja propenso al acero a la oxidación por el paso de elementos que deterioran el acero. Por tal motivo se debe tener una limpieza frecuente de este material para prevenir la obstrucción de los poros. Cabe mencionar que en Perú aún no se ha aplicado el concreto permeable debido a que varias empresas que proveen de concreto en el país aún están en una etapa de investigación de los materiales que debe contener y también establecer los estándares para el control de calidad adecuado debido a que los métodos utilizados para este concreto varían a la aplicación del concreto convencional. Como ejemplos, se puede mencionar a los países que ya utilizan

este concreto: 1) áreas de estacionamiento: dicha aplicación es la más común del concreto permeable para áreas de estacionamiento de vehículos livianos, la cual dio resultados aceptables por su rápida absorción de las lluvias; 2) carreteras: el pavimento permeable o poroso se viene usando para tránsito peatonal y vehicular. Esto debido a que funciona igual que cualquier pavimento de concreto, para esta aplicación la base es importante, ya que se debe evitar que ingrese limos o arena a los poros debido a que estos se obstruirán con facilidad; 3) cunetas de carreteras: el concreto poroso usado para el encausamiento de las aguas pluviales para su reutilización o fácil evacuación; 4) muros de contención: ya que el concreto poroso es ligero y posee drenaje; 5) patios, losas deportivas: en Europa se ha utilizado el concreto permeable para construcción de losas deportivas debido a su drenaje rápido y fácil de evacuar; 6) en invernaderos: ya que los poros proveen de eliminación rápida de las lluvias y evitan los empozamientos que generarían el crecimiento de hierbas a sus alrededores. (16)

Materiales utilizados en la elaboración del concreto poroso

Los materiales deben cumplir lo estipulado por el reporte del Comité ACI 522 522R-10, para poder ser aplicados en la elaboración del concreto poroso, tanto en cantidad y la calidad que se describen en las Normas ASTM establecidas para cada material (18):



Figura 3. Concreto poroso

Cemento

El cemento viene a ser un aglomerante hidráulico, debido a su reacción de fraguado en contacto con el agua. Al ser mezclado con agregados finos y grueso y agua, se genera una mezcla denominada concreta. Es así que, en términos generales, el cemento es un polvo muy fino que puede ser grisáceo o blanco dependiendo de su composición. Siendo un compuesto químico de una mezcla de silicatos y aluminatos de calcio, obtenidos a través del cocido de calcáreo, arcilla y arena.

De esta mezcla molida finamente a la cual se le adiciona agua, la cual creara una pasta y ira secando y solidificando progresivamente. La clasificación del cemento em base a las normas, ayuda a elegir el tipo adecuado para los diseños de mezclas, ya que las tablas y los procedimientos están en base a la relación agua-cemento para la dosificación general del concreto, de acuerdo al tipo de cemento elegido varia el diseño ya que existen tipos que cambian el tiempo de fraguado del concreto y su resistencia diferentes sustancias.

Se sabe muy bien que el cemento tiene varias clasificaciones, debido a su composición, por el uso, por la resistencia a alcanzar, etc. En general se pueden establecer dos tipos básicos de cemento: Dependiendo su origen como: origen arcilloso: obtenidos a partir de arcilla y piedra caliza en una proporción 1 a 4 aproximadamente; de origen puzolánico: con la integración de puzolana que puede ser tener un origen orgánico o volcánico principalmente; Las normas para la comercialización del cemento en nuestro país son: 1) La ASTM C 595 con especificación para Cementos Hidráulicos Adicionados (como ejemplo la escoria o puzolanas); 2) El ASTM C 150 para Cemento Portland (puro o normal); 3) La ASTM C 91 la cual detalla los estándares para los Cementos de Albañilería; 4) El ASTM C 1157 para Cementos Hidráulicos (en general). Se debe tomar en cuenta ya que en Perú los cementos hidráulicos adicionados o mezclados que son producidos en el país o importados deben cumplir con las características mínimas y estipuladas bajo la Norma COGUANOR NGO 41 001. La cual se rige a la Norma ASTM C 150 los Cementos Portland la cual no tiene ningún tipo de adición más que el *clinker* Portland y yeso.

Los cementos pueden clasificarse en: Cemento Portland Tipo I: para uso en general en las construcciones ya que su clasificación es general, 1) Cemento Portland Tipo IA: este cemento contiene aire incluido, muy parecido al tipo I, y es aplicado para la condición de aire incluido sea requerida; 2) Cemento Portland Tipo II: para su aplicación donde se requiera una resistencia a los sulfatos o una resistencia moderada al calor de hidratación; 3) Cemento Portland Tipo IIA: este cemento es similar al tipo dos por el aire incluido para condiciones que lo requieran; 4) Cemento Portland Tipo III: para concretos especiales que exijan una alta resistencia inicial; 5) Cemento Portland Tipo IIIA: cemento con las mismas características del tipo III pero con aire incluido; 6) Cemento Portland Tipo IV: este cemento especial para casos donde se quiera un bajo calor de hidratación; 7) Cemento Portland Tipo V: cemento con una resistencia alta a los sulfatos.

Los cementos hidráulicos adicionados están dentro de las especificaciones de la Norma ASTM C 595 que aparte del *clinker* Portland y el yeso de contienen adiciones como lo son la puzolana, escoria o escoria de alto

horno. Estos se clasifican según su contenido en: Tipo IS (cemento Portland con escoria de alto horno), el cual es de uso general en la construcción. En este tipo de cemento contiene como aditivo la escoria la cual podrá oscilar entre el 25 y 70 por ciento de escoria de alto horno dentro de la composición del cemento Portland: 1) cemento Portland puzolánico: se definen dos tipos, de acuerdo con lo que se solicite y puede ser según su resistencia a los sulfatos, moderado calor de hidratación o aire incluido o una combinación entre ellos.

El caso del cemento puzolánico debe oscilar su contenido de puzolana entre 15 a 40 por ciento del total, entre estos tenemos los siguientes tipos: a) Tipo IP: el cemento más común y más utilizado en construcciones en general; b) Tipo P: este cemento se utiliza siempre y cuando no se requiera alta resistencia a edades tempranas; 2) cemento de escoria Tipo S: combinación de cemento Portland y escoria; y si se le llega a adicionar con cal hidratada se forma un mortero para mampostería. El porcentaje de escoria para este cemento puede llegar o sobrepasar el 70% del total de su contenido; 3) cemento Portland modificado con puzolana Tipo I (PM): este cemento posee una resistencia leve a los sulfatos además posee aire incluido y moderado calor de hidratación de acuerdo con lo requerido para su aplicación. Estos cementos deben tener un porcentaje de puzolana menor al 15% de su contenido total; 4) cemento Portland modificado con escoria Tipo I (SM): cemento similar al tipo PM el cual tiene las mismas características de resistencia moderada a sulfatos, bajo calor de hidratación e incorporación de aire la diferencia sustancial es el que en vez del uso de la puzolana se usara escoria.

Este cemento posee un porcentaje de escoria menor al 25 por ciento de su composición para su estructura en general. Estos cementos están regidos bajo la Norma ASTM C 1157 la cual engloba todos los tipos de cementos hidráulicos, así sean puros, adicionados, modificados o normales, ya que la condición esencial para esta norma es que el cemento fragüe con la presencia del agua y pueda ser usado en general para construcciones o albañilería, sin importar su resistencia, composición o el uso que se le deba dar.

Dicha norma clasifica a los cementos en: 1) Tipo GU: cementos sin condiciones especiales y es de uso en general; 2) Tipo HE: para cementos que requieran una resistencia inicial alta o moderada. Tipo MS: con una resistencia moderada a los sulfatos; 3) Tipo HS: cementos que requieran una resistencia alta a los sulfatos en condiciones especiales; 4) Tipo MH: cementos que requieran un moderado calor de hidratación; 5) Tipo LH: para cementos de bajo calor de hidratación. Para el uso de concretos permeables debe ser según lo establecido en el Reporte ACI 522R-10, el cual es el cemento Portland que cumpla con las especificaciones establecidas en las Normas ASTM C 150, C 595 o C 1157. Debido que la cantidad del cemento que se adicionara para su composición del cemento permeable definirá su comportamiento ante las condiciones que se aplique o a su diseño en función a la cantidad de vacíos y resistencia que se desee alcanzar. Una pobre adición de cemento a este tipo de concretos tendrá una reacción negativa a la resistencia de diseño y no podrá alcanzar la resistencia mínima para su aplicación en estructuras hidráulicas o pavimentos y caso contrario una adición de cemento por encima de lo requerido tendrá una descompensación en la relación de vacíos que se requiere para su utilización por tal motivo el cemento y su cantidad afectaran positiva o negativa en su preparación y uso final. La cantidad del cemento a utilizar estará en función al tipo de agregado a utilizar y su granulometría.

Agregado grueso: su composición básica son gravas y piedra chancadas o trituradas, también en algunos casos se puede utilizar concreto de cemento hidráulico chancado, escoria de hornos de explosión, y para su consideración de este material deberá ser retenido a partir del tamiz 4, para su utilización debe ser de acuerdo con lo establecido en la Norma ASTM C 33 (Especificación Estándar para Agregados del Concreto). Donde especifica que cada material debe cumplir con una granulometría específica por cada tamiz, a parte de su composición no debe ser muy porosa ni alargada.

El tamaño del agregado dependerá del tipo de diseño que se requiera y su utilización en obra. Además de ello se establece los límites permisibles de sustancias perjudiciales que debe contener el agregado grueso a utilizar para la elaboración del concreto, así también a los ensayos que tendrán que pasar como

la abrasión. En el caso de concretos que serán usados en obras hidráulicas deberán agregados con una baja concentración de materiales perjudiciales a su deterioro rápido como sería el caso de sulfatos o silicatos. La humedad del agregado depende de su grado de saturación o de absorción y retención de líquidos los cuales son una variante al diseño, para ello se debe calcular el porcentaje de retención o humedad contenida por el agregado y su porcentaje de absorción para la corrección del uso del agua en el diseño.

Los agregados pueden encontrarse en cualquiera de los siguientes estados: 1) seco al horno: donde el agregado estará completamente seco y absorbente; 2) seco al aire: este tipo de agregados estarán secos por la parte superficial pero mantendrán agua en su interior; 3) húmedo: agregado con un contenido de agua por encima de lo normal pero no totalmente; 4) saturado y de superficie seca (seco saturado): esta condición es ideal pero muy poca probable de encontrar en obra ya que su secado es con equipo y no de manera natural, pero es el tipo de agregado que se usa en laboratorio para el diseño del concreto y es referencial. El peso unitario, el cual es la relación del peso del agregado con respecto a su volumen, especificado en la Norma ASTM C 29.

Al momento del cálculo del peso unitario se observa que existe una relación del grado de asentamiento y por el contenido de humedad, por tal motivo debe calcularse para el agregado seco apisonado y seco suelto. Para la elaboración del concreto poroso, los diámetros a ser usados deben ser de 3/4" y 3/8". Para ello estos agregados no deben tener las siguientes características tener forma alargada o aplanada y de preferencia que sean livianos. La superficie debe estar completamente limpia o libre de recubrimiento como polvo, arcilla u otro elemento que retenga líquidos o sea absorbente, afectando la cohesión de la pasta y su contenido de agua en el diseño según lo establecido en la Normas ASTM D 448 y C 33 / C 33M, para los agregados a ser utilizados.

Agregado fino: el agregado fino esta determinado o considerado como tal al material que pasa por el tamiz 4 hasta el tamiz 100 y se clasifica en arena también como canto rodado de rio o una combinación de ambas, según lo

establecido en la Norma ASTM C 33. A continuación se muestra una tabla con los límites que deben tener los agregados finos.

Tabla 3.
Límites de granulometría para el agregado fino

Tamiz	Porcentaje que pasa
3/8" (9,50 mm)	100%
No. 4 (4, 75 mm)	95 a 100%
No. 8 (2,36 mm)	80 a 100%
No. 16 (1,18 mm)	50 a 85%
No. 30 (600 µm)	25 a 60%
No. 50 (300 µm)	10 a 30%
No. 100 (150 µm)	2 a 10%

Tomada de ASTM Internacional

Los límites de los agregados finos tienen que cumplir los estándares establecidos por ASTM *International* y el porcentaje de agregado pasante por cada uno de los tamices establecidos por ASTM *International* para poder caracterizarse como agregado fino. Las características físicas del agregado grueso también influye en el agregado fino, esto cuando la forma del agregado es alargada, aplanada o de formas cúbicas y textura rugosa implicaran un mayor uso de arena fina para compensar esas deficiencias, así también el agua y la pasta para la elaboración de la mezcla, debido a la que al tener esa forma genera una mayor fricción ellas en comparación con los agregados de canto rodado y de textura lisa los cuales no generan dicha fricción ya que en su entorno llegan a compensar esa deficiencia. En el concreto permeable puede usarse el agregado fino ya que su adición genera mayor retención de agua, una mejor trabajabilidad, un incremento en la resistencia del concreto, pero también afectaría de manera significativa a la porosidad del concreto ya que la inclusión de mucho agregado fino baja considerablemente el porcentaje de vacíos de este concreto y afecta su condición de permeable ya que demora más su tiempo de absorción.

Aditivos: son productos adicionales al concreto en un porcentaje no mayores del 5 por ciento de la masa de cemento, como alternativa de mejora en el comportamiento del concreto en su estado fresco previos a su aplicación o

durante de la misma ayudando de manera muy positiva siempre y cuando sean adicionados de manera correcta. En resumen, los aditivos se emplean para aportarle propiedades benéficas al concreto fresco o endurecido tales como una mejora de las características de durabilidad, manejabilidad o resistencia del concreto. Los aditivos responden a las siguientes normas según su función.

Tabla 4.
Normas que regulan los aditivos según su función

FUNCIÓN	NORMA
Reducción de agua y reguladores de fraguado	ASTMC 494
Incorporadores de aire	ASTMC 260
Fluidificante	ASTMC 1017

Las normas que se deben tener en consideración para la elaboración del concreto poroso con la utilización de aditivos que darán mejores propiedades tanto físicas como mecánicas del concreto poroso son las que se presentan en la tabla 5.

Tabla 5.

Clasificación de aditivos por las propiedades que modifican

Aditivo	Descripción
ASTMC 260	Incorporador de aire. Se agregan al concreto durante su elaboración, con el fin de incorporar aire en él, mejorando su trabajabilidad y disminuyendo la segregación y el sangrado.
ASTMC 1017	Fluidificante. Proporcionan incremento en el revenimiento para producir un concreto fluido sin que este pierda su cohesión ni retrase su tiempo de fraguado.
ASTMC 494	<p>TIPO A. Aditivos reductores de agua: Se utilizan para disminuir la cantidad de agua de la mezcla incrementando así la resistencia del concreto, sin afectar su trabajabilidad.</p> <p>TIPO B. Aditivos retardantes: Se utilizan para retardar el fraguado del concreto aumentando así el tiempo de manejo antes de su colocación.</p> <p>TIPO C. Aditivos acelerantes: Se utilizan para acelerar el fraguado del concreto obteniendo la resistencia esperada a corta edad.</p> <p>TIPO D. Aditivos reductores de agua y retardantes: Producen los efectos del aditivo Tipo A y Tipo B.</p> <p>TIPO E. Aditivos reductores de agua y acelerantes: Producen los efectos del aditivo Tipo A y Tipo C.</p> <p>TIPO F. Aditivos reductores de agua de alto rango: Proporcionan una reducción de agua mayor de la que producen los aditivos reductores de agua.</p> <p>TIPO G. Aditivos reductores de agua de alto rango y retardantes: Proporcionan una reducción mayor de agua que los aditivos reductores de agua y se combinan con los efectos de los retardantes de fraguado.</p>

Estas clasificaciones de los aditivos según ASTM son de relevante importancia para el uso eficiente de dichos insumos, ya que el concreto poroso tiene particularidades únicas y especiales para su elaboración. En la aplicación de aditivos para el concreto permeable el Comité ACI 522, recomienda la adición de aditivos retardantes, los cuales deben estar acorde a las Normas ASTM 494. Estos son útiles especialmente cuando se trabaja en climas cálidos, ya que uno de los problemas de este concreto es la retención de agua por su ausencia o poca adición de material fino, así también para mejorar su trabajabilidad.

Agua: es esencial para la formación de la mezcla ya que su adición genera la adherencia de las partículas y le da la característica de la trabajabilidad. El agua vertida o adicionada debe oscilar entre el 10 al 25 por

ciento de la composición del concreto, y así también debe cumplir con lo solicitado en la norma ya que el agua con unos componentes no adecuados puede ocasionar una mala resistencia o cohesión de los agregados perjudicando esta mezcla la cual debe ser preferiblemente potable, limpia y libre de cantidades perjudiciales de ácidos, azúcar, aceite, metales, material orgánico, sales como cloruros o sulfatos, y otras sustancias que puedan ser dañinas. Para el concreto permeable el agua es un punto esencial para el diseño ya que tiene una alta relación a/c para darle una mejor fluidez al concreto, pero si no es controlable ocasionara una saturación de sus poros provocando una baja sustancial de su permeabilidad. Por el contrario, una baja relación a/c ocasionaría una mala adherencia de las partículas y esto disminuiría la trabajabilidad y ocasionaría problemas en la mezcla del concreto. Estos parámetros son sacados y determinados por el Comité ACI 522 la cual consolida que una relación a/c óptima esta entre los valores de 0,26 a 0,45, dando una apropiada adherencia entre materiales y una buena trabajabilidad.

Ensayos al concreto poroso

El concreto poroso fresco está determinado como aquel que esta recién preparado y tiene una plasticidad muy versátil y de fácil moldeamiento, esto es previo al estado de endurecimiento o fraguado y adopta una trabajabilidad idónea para este tipo de concretos. Estas propiedades del concreto fresco ya están determinadas y establecidas como tal en las Normas ASTM. Las cuales establecen los parámetros desde su estado fresco para su validación la cual es la primera toma de muestra y se rige bajo la Norma ASTM C 172. Esta norma establece que para validar la muestra debe estar libre o evitar el contacto de esta a factores externo que afecten su composición (luz solar, viento, vibraciones, etc.), y evitar que la muestra presente errores debido a estos factores las cuales arrojaran datos muy sesgados y puedan llevar a errores en los posteriores diseños. Se debe tener en cuenta que para el control de calidad del concreto permeable se deberá realizar los siguientes ensayos.

Revenimiento: el concreto permeable no cuenta con un asentamiento bien definido ya que su propia composición dificulta esto, pero se establecieron valores entre 0,8 y 2 pulgadas de asentamiento. Estos valores son solo

referenciales, debido a que, la Norma ASTM C 143 (Método de prueba estándar para el asentamiento de concreto de cemento hidráulico), no establece un parámetro para estos tipos de concreto por ello esa aproximación de los valores son referenciales de las diversas muestras que fueron tomadas en su elaboración por el comité del ACI

Peso unitario: Para poder calcular esto se debe basar en lo estipulado en la Norma ASTM C 1688 (Método de prueba estándar para determinar la densidad y el contenido de vacío del concreto permeable recién mezclado). El cual tiene una variación a lo que se establece en la Norma ASTM C 138 el cual menciona el método de Prueba Estándar para Determinar la Densidad (Peso Unitario), Contenido de Aire (Gravimétrico) del Concreto y el Rendimiento, para este ensayo en vez de la utilización de la varilla con punta redondeada, se utiliza el martillo de *Proctor* estándar (5 libras) y a diferencia del ensayo convencional que se hace en tres capas con 25 golpes en cada una, en este ensayo se añade el concreto en dos capas de igual grosor y se golpea con el martillo 20 veces por capa. El peso unitario se obtiene dividiendo el peso neto del concreto con el volumen del cilindro.

$$P.U. = \frac{PB - tara}{Vol}$$

Con este ensayo se puede obtener el porcentaje de vacíos en el concreto según la fórmula siguiente:

$$P.V. = \frac{T - D}{T} \times 100$$

Donde:

- T = Densidad teórica del concreto
- D = Densidad real del concreto

Como se aprecia en la figura la prueba de peso unitario se realiza de acuerdo con la ASTM C 1688, la cual detalla el correcto manejo de los materiales

a utilizar en este ensayo, así como el recipiente donde se vierte y la cantidad de golpes que se deben hacer para compactar con el martillo de *Proctor*.

Elaboración de probetas o cilindros: para este tipo de concreto aun no se tiene una forma o un procedimiento normado para estas pruebas ya que el concreto poroso no debe ser muy compactado para evitar la saturación de sus poros. Sin embargo, el subcomité ASTM C 09.49 en Concreto Permeable ha demostrado que uno de los métodos más aceptados es el de llenar los cilindros de 4 x 2 pulgadas en dos capas, consolidándolos por medio de 20 golpes por capa con el martillo de *Proctor* estándar (5 libras), en función a sus pruebas realizadas, pero también la utilización del método tradicional no es descartada.

Ensayos en laboratorio al concreto

Los principales ensayos del concreto endurecido son su resistencia a compresión y flexión, los cuales son estándares básicos para su desempeño en las estructuras a ser utilizados los cuales deben ser realizados por el personal adecuado y capacitado de acuerdo a la utilización que se dará o usara en el elemento diseñado los cuales son: 1) ensayos a compresión: para este ensayo se utilizara la misma metodología que para los concretos convencionales con los cilindros o probetas que serán sometidos, para esto se debe utilizar lo establecido en la Norma ASTM C 39 (prueba estándar para resistencia a compresión de probetas cilíndricas de concreto). Para la toma de las muestras lo convencional es tomar un testigo el cual tenga una altura de 30 cm y un ancho de su base de 15 cm, para ser ensayados según lo especificado en la norma mencionada.

Si la relación longitud/diámetro (L/D) es igual o menor a 1,75, el esfuerzo a la compresión debe ser afectado por un factor de corrección establecido en la norma; 2) ensayo a flexión: esta resistencia está basada en la Normas ASTM C 78 (cargada en los puntos tercios) o ASTM C 293 (cargada en el punto medio), el cual establece el parámetro de ensayo el cual es aplicado a concretos convencionales y puede ser aplicado para el concreto poroso ya que las estructuras donde serán usados deben cumplir con la misma normativa. Este ensayo se aplica la carga a vigas de 6 x 6 pulgadas y luz de mínimo tres veces el espesor: se determina el ancho promedio, el peralte y la localización de la

línea de falla, con el promedio de tres medidas, una en el centro y dos sobre las aristas del espécimen. Para determinar el módulo de ruptura, primero se debe observar el lugar donde ocurrió la falla al realizar el ensayo. Si la fractura se presenta en el tercio medio de la luz, el módulo de ruptura se calcula de la siguiente manera:

$$R = \frac{P \times L}{b \times d^2}$$

Donde:

- R = módulo de ruptura de espécimen
- P = carga máxima aplicada
- L = distancia entre apoyos
- b = ancho promedio del espécimen
- d = peralte promedio del espécimen

En cambio, si la ruptura se presenta fuera del tercio medio de la luz, en no más del 5 por ciento de su longitud, se calcula el módulo de ruptura de la manera siguiente:

$$R = \frac{3P \times a}{b \times d^2}$$

Donde:

- a = distancia promedio entre la línea de fractura y el apoyo más cercano en la superficie de la viga.

Si la fractura llegara a estar fuera del tercio medio del claro en más del 5 por ciento el resultado obtenido será eliminado.

- **Permeabilidad**

Se comprende por el término que es la capacidad de un cuerpo deje pasar un líquido a través del mismo, sin afectar el orden estructural o su composición al paso por el compuesto, un ejemplo claro sería el aire o la luz. Al ver esta cualidad al material se puede deducir que su estructura presenta poros los cuales están conectados entre sí dejando pasar un elemento a través de él. En nuestro entorno podemos apreciar que las áreas urbanas están pavimentadas con

asfalto o concreto, estos elementos no son permeables y hacen que el agua de lluvia se empoce y no se infiltre ocasionando charcos. Esto provoca que la escorrentía pluvial ocurra rápidamente en áreas urbanas ya que no tienen un sistema que ayude con su disminución ocasionando grandes acumulaciones de agua por el tiempo de la precipitación. Una solución a este problema es la aplicación del concreto poroso por agua pluvial es el concreto permeable que está compuesto principalmente de cemento, agregado grueso, agua, aditivos y poco o ningún agregado fino, lo cual permite el paso de agua a través de él. A través de sus poros el concreto permite el paso del agua a través de él y también retiene los componentes sólidos evitando las obstrucciones del sistema de drenaje por la presencia de los mismos, dando lugar a que estos puedan ser recolectados fácilmente durante su limpieza y mantenimiento; cuando se usa concreto poroso, una de sus ventajas sería que el agua de lluvia se filtra al suelo, recargando el nivel freático en vez de ser conducido hasta un buzón o generando un empozamiento que causara molestias a los habitantes de la zona; el concreto permeable, al funcionar como un tamizador de los componentes sólidos arrastrados por las lluvias. (19)

Sin embargo, el concreto permeable presenta algunas desventajas como un mayor mantenimiento frente a los concretos convencionales ya que sus poros deben ser correctamente limpiados para tener una vida útil mayor; la aplicación de este concreto permeable ha sido utilizado en Estados Unidos por casi 40 años, de igual manera en Australia y Europa, sin embargo, como una alternativa que ayuda al medio ambiente. Para determinar la permeabilidad del concreto permeable, existen dos métodos. Uno se encuentra descrito en la Norma ASTM C 701 "Método estándar para prueba de infiltración en el concreto permeable". (19)

Para esta prueba se requiere del siguiente equipo:

- 1) anillo de infiltración (diámetro 12 pulgadas y altura 2 pulgadas;
- 2) balanza;
- 3) cinco galones de agua;
- 4) cronómetro;
- 5) sellador.

Se debe cerciorar que no exista agua en la superficie del concreto cuando se haga la prueba. Al colocar el anillo de infiltración en la superficie, se le debe aplicar el sellador en la orilla para evitar que el agua encuentre salida en la parte inferior del anillo. Para determinar el agua necesaria en el ensayo, se debe hacer una prueba previa agregando 8 libras de agua, determinando el tiempo que se necesita para que no quede agua libre en la superficie. Si el tiempo es menor a 30 segundos, se utilizarán 40 libras de agua para la prueba definitiva, de otra manera se utilizarán 8 libras. (19)

- **Porosidad**

Se entiende la porosidad como una propiedad física que permite a un material dejar pasar fluidos, aire o la luz solar, la cual relaciona un porcentaje de vacíos así como al volumen unitario del material a someter o variar respecto de su porosidad. La mencionada propiedad se relaciona con el material agregado que se utiliza para confeccionar estructuras o pavimentos. El citado autor también considera que “una partícula porosa es mucho menos dura que una partícula compacta o maciza, lo cual afecta no solo las propiedades mecánicas como la adherencia y la resistencia a la compresión y flexión sino también propiedades de durabilidad como la resistencia al congelamiento y deshielo, estabilidad química y resistencia a la abrasión”. De igual manera, se consolida a la porosidad como una de sus propiedades más resaltantes ya que estos están relacionados con el tamaño del agregado. Al usar agregados de mayor diámetro se evitará que los poros se obstruyan, ya que esta porosidad está estrechamente relacionada a la infiltración del agua a través de la estructura del concreto, lo cual es uno de los principales propósitos de este concreto. Para un mejor aprovechamiento de este concreto debe tener por lo menos 15 por ciento de vacíos para lograr una infiltración aceptable y rápida. Para una porosidad de 20-25 por ciento se ha reportado un coeficiente de permeabilidad aproximado de 0,01 metros por segundo. Según lo normado en el Comité ACI 522, mediante sus ensayos, que la relación de la porosidad del concreto con la infiltración son directamente proporcionales a mayor porosidad mayor infiltración. (20)

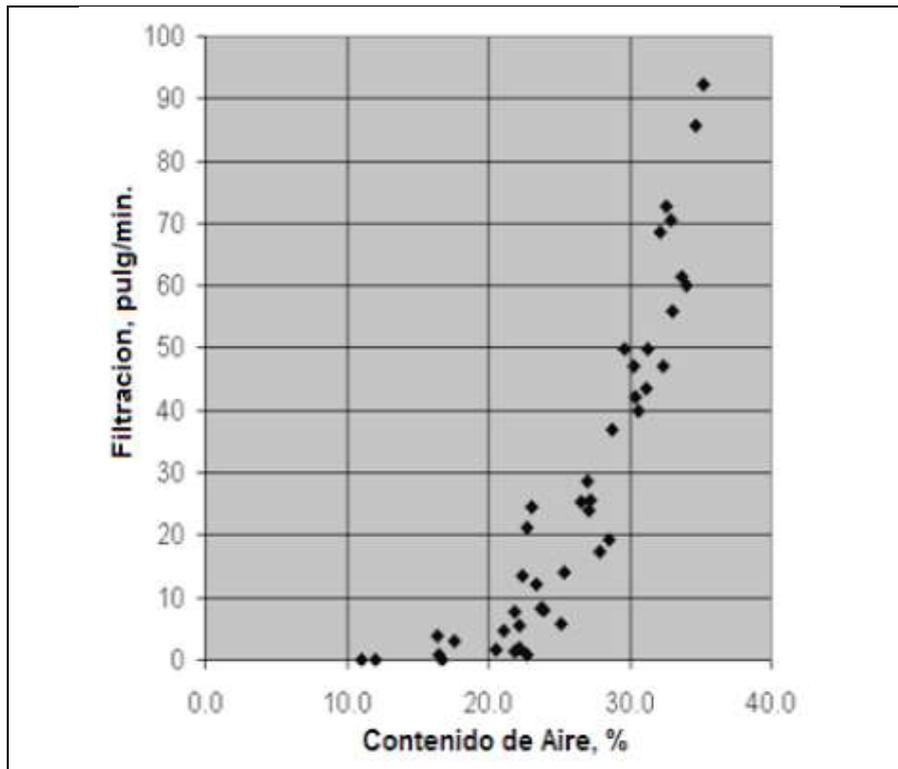


Figura 4. Filtración versus contenido de aire. Tomada del Comité ACI 522

Como muestra la figura adjunta a mayor porcentaje de vacíos la infiltración será mayor y viceversa. Un problema típico en este tipo de concreto es que al aumentar la porosidad la resistencia de este presenta una baja significativa, por tal motivo al momento del diseño se debe encontrar un equilibrio entre estos ya que si se incrementa uno el otro se ve afectado inversamente y no podrá trabajar ni ser aplicado en estructuras de pavimentos donde es importante su resistencia. otra característica especial del concreto poroso, al tener poroso de tamaños considerables, es muy eficaz en la absorción acústica. De ahí que su aplicación puede ser usado para reducir el sonido generado por la interacción llanta-pavimento en carreteras. Este efecto se logra debido a la alteración de la generación de ruido minimizando el bombeo del aire entre el neumático y el pavimento, los poros absorben el sonido mediante la fricción interna entre las moléculas de aire y la superficie del poro.

- Adición de aditivos

Los aditivos que se utilizan a nivel estructural tienden por ser materiales distintos a los compuestos necesarios o comunes de los pavimentos o del

producto de concreto; por lo general tienden a ser mezclas codificadas (ver tabla 6) que tienden a optimizar el nivel de resistencia de las estructuras. (20)

Tabla 6.
Clasificación y codificación de aditivos

Aditivo	Clasificación por código
Reductor de agua	A
Retardante de fraguado	B
Acelerante de fraguado	C
Reductor de agua y retardador	D
Reductor de agua y acelerante	E
Reductor de agua de alto rango	F
Reductor de agua de alto rango y retardante	G

Tomada de Caracterización del concreto permeable (21)

El tiempo de vida de estos concretos esta supeditado a las condiciones ambientales a las cuales sea expuesto. Existe evidencia que en otros países el concreto permeable puede llegar a tener un tiempo de vida de 20 a 30 años, con adecuado mantenimiento, pero esto es variable de acuerdo con los diferentes factores. Los agentes que podrían afectar de manera negativa a la durabilidad del concreto poroso son las a temperaturas extremas y a la exposición prolongada de químicos tales como sulfatos y ácidos. Por otro lado, su base debe ser de material que no sea fácilmente removido por el agua o impermeabilizado para evitar que esta sea dañada por el agua, por ejemplo, grava, lo que crea un incremento en su durabilidad al ser tener una estructura la cual infiltra el agua de manera rápida



Figura 5. Preparación del concreto poroso

Composición del agua de lluvia

El concreto permeable estará en constante contacto con el agua y en este caso está diseñado para reciclar el agua proveniente de las lluvias las cuales poseen una estructura química a base de sulfatos, cloruros, sodio, magnesio, entre otras; de las cuales las más significativas son las de sulfatos, que condicionan el uso del cemento para el diseño óptimo y ser resistente ante sus agentes corrosivos que afectan y reducen la resistencia del concreto y su tiempo de vida, es por tal motivo que se debe verificar dicho compuesto y su concentración en la zona de su aplicación para obtener la mejor resistencia y tiempo de vida del concreto, es de esta manera que se toma en consideración lo establecido en la norma ACI 318S-05, p. 62; que muestra una tabla con los límites permisibles de acuerdo a la concentración de los sulfatos para tomar un tipo de concreto a utilizar en el diseño de mezcla, que se muestra a continuación:

Tabla 7.
Requisitos para concretos expuestos a soluciones que contienen sulfatos

Exposición a sulfatos	Sulfato acuoso (SO ₄) en suelo, porcentaje en peso	Sulfato (SO ₄) en el agua, ppm	Tipo de Cemento	Concreto de peso normal, relación máxima agua-material cementante en peso*	Concreto de peso normal y ligero, f' _c mínimo, MPa*
Insignificante	0.00 ≤ SO ₄ < 0.10	0 ≤ SO ₄ < 150	—	—	—
Moderada [†]	0.10 ≤ SO ₄ < 0.20	150 ≤ SO ₄ < 1 500	II, IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS), I(SM)(MS)	0.50	28
Severa	0.20 ≤ SO ₄ < 2.00	1 500 ≤ SO ₄ < 10 000	V	0.45	31
Muy severa	SO ₄ > 2.00	SO ₄ > 10 000	V más puzolana [‡]	0.45	31

* Cuando se consideran las ambas Tablas 4.3.1 y 4.2.2, se debe usar la menor relación máxima agua-material cementante aplicable y el mayor f'_c mínimo.

[†] Agua de mar

[‡] Puzolana que se ha determinado por medio de ensayos o por experiencia que mejora la resistencia a sulfatos cuando se usa en concretos que contienen cemento tipo V.

Tomada de ACI 318S-05

El agua de lluvia contiene las siguientes concentraciones de acuerdo con estas referencias de donde se hicieron estudios de las aguas de lluvias afectadas por el efecto invernadero, el cual es un problema que recae en estos tiempos y se muestran a continuación:

De la página *Tiloom*, se hizo una comparación acerca de la composición del agua de lluvia con el agua de mar que contiene polvo de suelo, mostrando mayor concentración de calcio, la misma página sugiere que dicha composición puede cambiar de un lugar a otro, mostrando inclusive proporciones de plomo y químicos debido a la contaminación del lugar.

Otro efecto es que el ozono se mezcla con el agua de lluvia consiguiendo deteriorar materiales como el concreto al igual que es un contaminante a la salud. Si en el ambiente se queman combustibles fósiles y gas, esto genera ozono. El ozono es un compuesto que debería elevarse; sin embargo, cuando llueve puede mezclarse con el agua de lluvia y entrar en contacto con el ser humano y las diversas construcciones. En los humanos una de las reacciones es la muestra de problemas respiratorios y asma. Si se utiliza agua de lluvia para la mezcla de concreto, el ozono, al intentar escapar puede causar una aceleración en la erosión.

Tabla 8.
Composición de agua de lluvia y mar

Concentración (mmol/L)	Agua de mar	Agua de lluvia
Na	485	13
K	10.6	5
Mg	55.1	5
Ca	10.7	16
NH ₄	2 x 10 ⁻⁶	6
Cl	566	11
SO ₄	29.3	21
NO ₃	5 x 10 ⁻⁶	5
HCO ₃	2.4	21

Tomada de www.tiloom.com

Sin embargo, hay investigadores que han aprovechado las aguas de lluvia para la mezcla del concreto. Por ejemplo, “El concreto elaborado con aguas de lluvia como aporte ambiental desde la construcción”, donde se muestran estudios realizados en el agua de lluvia para la utilización de estas para la mezcla de concreto y así mejorar su reciclaje.

Dicho estudio concluye con que la lluvia posee niveles bajos con respecto a sulfatos (tabla 9) que son aprovechables para el concreto Tipo I, conocido comercialmente, sin generar problemas.

Tabla 9.**Comparación de parámetros límite entre agua potabilizada y aguas de lluvia para concreto**

Parámetro	Aguas Lluvia (mg/L)	Agua Potabilizada (mg/L)	NTC 3459 (mg/L)
Sulfatos	5,00	12,00	1 000
Cloruros	16,30	19,50	1 000
Sólidos totales	28,50	32,00	50 000
Sólidos disueltos	27,00	1,00	2 000
pH	5,10	6,80	≥ 5
Turbiedad	4,20 NTU	0,10 NTU	NA

Tomada de El concreto elaborado (22)**Pavimento y sistema de drenaje**

El concreto poroso, al filtrarse agua de lluvia, debe tener un drenaje adecuado para evitar cualquier daño a estructuras cercanas y de esta manera redirigir el agua para su reutilización, a lo largo de estas líneas se utiliza el diseño previamente planteado de una filtración penetrable que soporta este tipo de pavimentos. (23) sin quitarle lo esencial para el diseño de un pavimento que es la base a través de las capas cumpliendo para la sub rasante un 95% de compactación el cual sino cuenta con el suelo adecuado deberá ser mejorado con material de préstamo con un espesor mínimo de 25 mm, así también para la sub base debe cumplir con un CBR mayor al 30% (resistencia al esfuerzo cortante de un suelo), para posterior a ello colocar la capa protectora de geotextil la cual asegura que no exista infiltraciones ya que arriba de ella está la capa de infiltración la cual consiste en material permeable de con agregados de 2"-4" para la evacuación del agua y también se propone un plan de evacuación para los carriles de las vías de Huancayo, en vista de las directrices de AASHTO 93, (24) que establece los parámetros para el diseño del drenaje que no modifican la estructura interna de la construcción ya que lo debilita y quita las propiedades de soportar esfuerzos y mantener la capacidad de ayudar al pavimento, para esto los desagües deben vaciar rápidamente el agua y, por lo tanto, tener el tiempo de contacto más breve con el suelo; como resultado de esto se propone una configuración de una capa porosa que vacía la cantidad de agua razonable,

después de eso una capa de canal posterior que elimina cualquier humedad pendiente y luego simplemente la restante, que se vaciará a la filtración cerca del asfalto que atraparé el agua a través de un embudo de recolección debajo de la estructura de drenaje filtrada o drenaje francés, que atrapa el agua y evita filtraciones mientras se protege bajo una capa de geotextil para mantenerse alejada de la filtración y la desintegración de estructuras que lo abarcan, dicho marco propuesto por la exploración se demuestra de la siguiente manera:

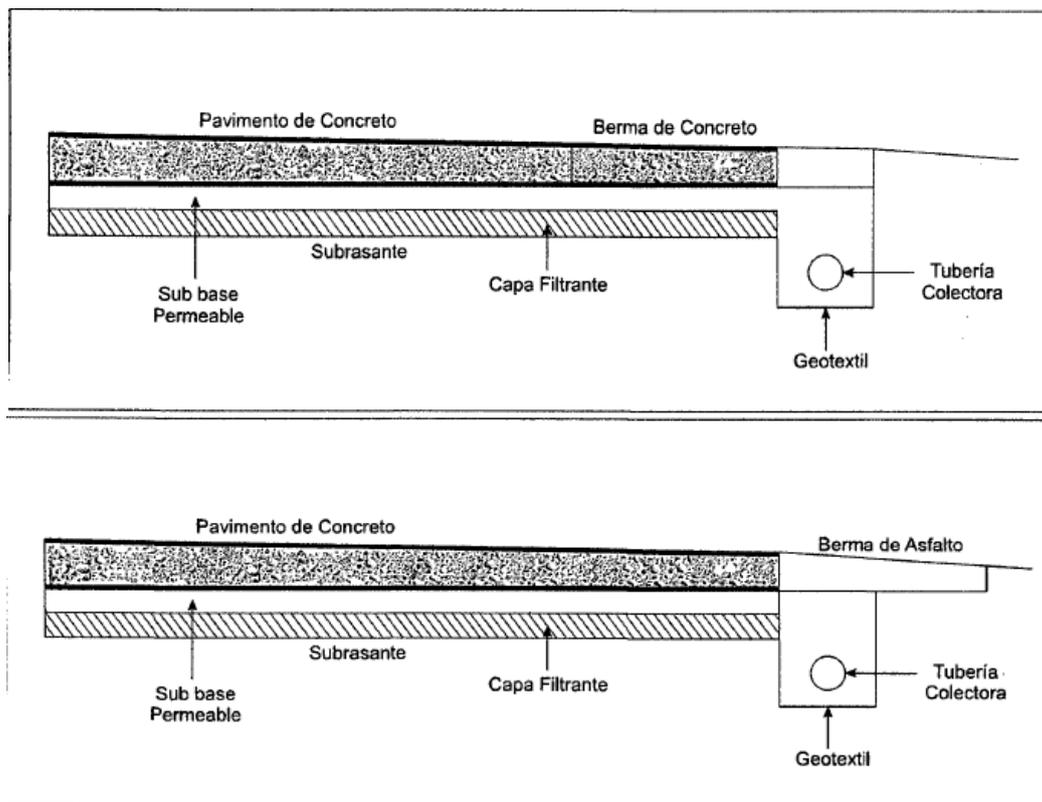


Figura 6. Sección de una base permeable con una berma de asfalto
Tomada de Evaluación y determinación del índice de condición del pavimento rígido (23)

Lo que requiere una inversión de dos horas para una calificación excelente según la oportunidad ideal para que la tierra descargue la mitad de su agua filtrada, y deformaciones de la subrasante, a partir de este diseño, la idea de aplicarlo es prevenir el problema del empozamiento de agua pluvial de las calles de Huancayo, así también reutilizar el agua luego de su paso por un tratamiento superior para uso doméstico.

La cual muestra todo lo expuesto anteriormente y cumple los parámetros establecidos por la Metodología del AASTH 93 (24) cumpliendo con los valores

recomendados del coeficiente de drenaje (Cd) para su diseño, establecida por la siguiente tabla:

Tabla 10.
Valores recomendados del coeficiente de drenaje (Cd) para el diseño

Cd	Tiempo transcurrido para que el suelo libere el 50 % de su agua libre	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación.			
		< 1%	1 - 5 %	5 - 25 %	> 25 %
Calificación					
Excelente	2 horas	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Bueno	1 día	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Regular	1 semana	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Pobre	1 mes	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy pobre	Nunca	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

Tomada de Guía AASTHO (24)

En función a la tesis en referencia y al Reglamento Nacional de Edificaciones en el capítulo de OS.060 Drenaje Pluvial Urbano, se diseñó una propuesta de drenaje alternativo para la evacuación del agua acumulada por el drenaje pluvial del área planteada como estudio, donde se menciona que para el diseño debe ser utilizado el Método racional cuando el área de diseño es menor a 13 km², establecida en la siguiente formula:

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{360}$$

Donde:

Q: es el caudal en m³/s

C: es el coeficiente de escorrentía pluvial

i: intensidad de lluvia en mm/h

A: área de diseño en ha

Así también, para el cálculo de las cunetas se utiliza el método de Manning, según lo propuesto por la normativa peruana, que menciona lo siguiente:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

Donde:

V: es la velocidad en m/s

n: es el coeficiente de Manning

R: es el radio hidráulico m

S: es la pendiente m/m

Del mismo modo, para el cálculo del diámetro de la tubería, se parte de la formula clásica de caudal que es la multiplicación del área por el volumen:

$$Q = A.V$$
$$D = \sqrt{\frac{4.Q}{\pi.V}}$$

Entonces, se calcula el diámetro de la troncal y los ramales del drenaje pluvial.

De igual manera, para el cálculo de la intensidad de la lluvia será extraído para un periodo de 10 años, que es el límite de diseño según el Reglamento Nacional de Edificaciones, que pone el rango de diseño de 2 a 10 años; y es extraído de la gráfica de IDF (intensidad, duración y frecuencia) de la lluvia, construida a partir de los datos extraídos de la estación pluviométrica de Senamhi ubicada en la estación de Santa Ana, de donde se sacara el tiempo de concentración determinada por el método California, como parte del método racional:

$$t_c = \left(\frac{0.871xL^3}{H} \right)^{0.385}$$

Donde:

t_c: es el tiempo de concentración en h

L: es la longitud de recorrido en km

H: es el desnivel máximo en m

Que dará un valor en función al resultado obtenido y encontrado en la tabla de IDF, para este cálculo se usa el método de Gumbel, calculando los datos proyectados a un tiempo de retorno dado:

Donde cada uno de los términos anteriores significa:

$$\bar{X} = X - \frac{\Delta X}{\Delta n} \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) + Y_N \right]$$

Donde:

X: precipitación máxima diaria en 24 horas correspondiente al período de retorno T.

ΔX : desviación típica de los datos de precipitaciones máximas disponibles.

X: promedio de los datos de precipitaciones máximas diarias disponibles.

$Y_n, \Delta n$: factores que dependen del número de datos disponibles.

Sistema de mantenimiento de drenaje

Se ofrece un acercamiento al funcionamiento óptimo de un pavimento, donde el adecuado mantenimiento es importante debido a que el concreto poroso debe tener un mantenimiento constante para mantener la vida útil de su estructura y obtener el mejor aprovechamiento de este durante su vida útil, a causa de la filtración del agua de lluvia que provoca una disminución que será constante a lo largo de los años, esto es un resultado de la recolección de desechos; por lo tanto, se recomienda que las tasas de penetración permanezcan consistentemente más altas que el poder de precipitación, a lo largo de estas líneas, incluso sin apoyo, debería haber una filtración adecuada para las ocasiones de lluvia. (25)

Por otro lado, se hizo un acercamiento del mantenimiento necesario que es como el del asfalto regular, sin embargo, a diferencia de este último, en lugar de limpiarlo, debe succionarse el sedimento. Al ejecutar esta actividad se eliminan los sedimentos y ciertas basuras que bloquean la filtración de la escorrentía para su posterior reutilización. Este mantenimiento debe ser

realizado cada cierto tiempo, como lo indica la medida de los sedimentos transportados por la brisa, los vehículos, las personas a pie, etc. (26)

Además, teniendo en cuenta los sistemas y las contemplaciones fundamentales para un mantenimiento adecuado, depende del diseño de mantenimiento planteado, que reúne a diferentes creadores e investigaciones y da a conocer las sugerencias básicas de las cuales algunas serán tomadas por las condiciones climáticas de Huancayo:

Inspección y monitoreo: la inspección de este concreto es fundamental y debe darse al menos cada dos meses durante el primer año y posterior a ello una vez cada año como mínimo.

Remoción de sedimentos y mantención del rendimiento del sistema: uno de los principales problemas que presenta son la acumulación de sedimentos por ello estos deben ser removidos al menos una vez al año para prevenir la obstrucción de los poros del sistema. El pretratamiento de entrada puede ser realizado periódicamente y debe limpiarse cuando la acumulación de sedimentos sea mayor al 10% de la capacidad disponible. Dicho proceso debe realizarse manualmente o mediante bombeo por tramos para ver que el sistema sigue funcionando para ello las cajas de inspección para hacer pruebas periódicas.

Barrido y aspirado: el barrido de las superficies del pavimento de concreto poroso debe ser constante al igual que el aspirado que debe ser realizado dos veces al año como mínimo y para ello debe ser realizado con una unidad de limpieza comercial. Es un error típico pensar que los sistemas de lavado o sistemas de aire comprimido sería una forma de limpieza ideal pero no es así y no debe realizarse. La mejor forma de hacer mantenimiento es por medio del aspirado de los sedimentos siempre y cuando estos estén secos y no húmedos para su rápida limpieza. Por ningún motivo se recomienda llevar a cabo limpieza a través de lavado con agua a presión o barridos por medio de aire comprimido, pues estas dos prácticas pueden remover los materiales de la capa

de transición y generar vacíos, afectando la resistencia de la estructura a los esfuerzos.

Control de vehículos pesados: los vehículos pesados están prohibidos para este tipo de pavimento poroso ya que su peso o uso prolongado por estos vehículos podrían ocasionar una falla prematura al pavimento y la obstrucción de sus poros.

Ubicación: la zona donde se aplique este sistema estará supeditada al grado de contaminación que experimente ya que la vida útil estará en función al mantenimiento que se le dé, por ejemplo, una zona de alta contaminación (por zonas en construcción, zonas donde la basura no sea un problema social, etc.) y deberá tener un mantenimiento cada 2 meses, para zonas de baja contaminación (como zonas residenciales o parqueaderos) su mantenimiento será cada 20 meses aproximadamente. De esto podemos concluir que el tiempo de vida útil también depende de la ubicación y el mantenimiento que se le dé de acuerdo con las indicaciones mencionadas.

Educación: la educación de las personas que usaran este sistema influenciara en su prolongación de vida útil, esto puede ser mediante carteles de advertencia y concientización ya que este sistema favorece a sus habitantes y al medio ambiente.

Obstrucción completa: cuando se dé este caso la utilización de una máquina de barrer ha sido de mucha utilidad, en el Reino Unido y Francia se utiliza este sistema mediante un chorro de lavado y barredora de succión los cuales son más eficaces que un cepillo y barredora de succión en la limpieza de sedimentos.

La implantación de estoperoles en calles aledañas como una medida de reducir la cantidad de sedimentos que pueden traer los carros en las llantas, lo cual con una leve vibración y el sobresalto que produce sacude ligeramente el carro haciendo caer dichas partículas en su trayecto, esto beneficia en el mantenimiento del pavimento de concreto poroso.

2.2.2. Fundamentos metodológicos de la investigación

Condiciones de diseño del concreto poroso

- Prueba de permeabilidad

El fenómeno de migración del fluido o de los líquidos, para obtener la tasa de infiltración, se calculará de la siguiente manera (8):

$$i = \frac{KM}{D^2t}$$

Donde:

- i = tasa de infiltración en pulgadas/hora
- K = constante de permeabilidad, que según la Norma ASTM C 1701, para el concreto permeable es 126,870 in x segundo / libra x hora
- M = masa del agua utilizada en libras
- D = diámetro del anillo en pulgadas
- t = tiempo que tarda el agua en filtrarse en segundos

- Prueba de resistencia a la flexión

La presente prueba se relaciona a la comprobación de la resistencia de los materiales y estructuras que tienen frente a la tracción en contacto con el concreto. Respecto del módulo de rotura, este se da en específico a los 28 días, a lo cual las vigas deben corresponder a una medida estándar de 6" x 6" y mínimo 21" (15 x 15 x 53 en cm); a partir de ello es oportuno compactar el concreto por el método de vibrocompresión y proceder a curarlos, de modo que el mencionado módulo de rotura se encuentre entre 10% a 20%. De igual manera, se considera que: "el módulo de rotura determinado por la viga cargada de los puntos tercios es más bajo que el módulo de rotura determinado por la viga cargada en el punto medio, en algunas ocasiones hasta en un 15%". (27)

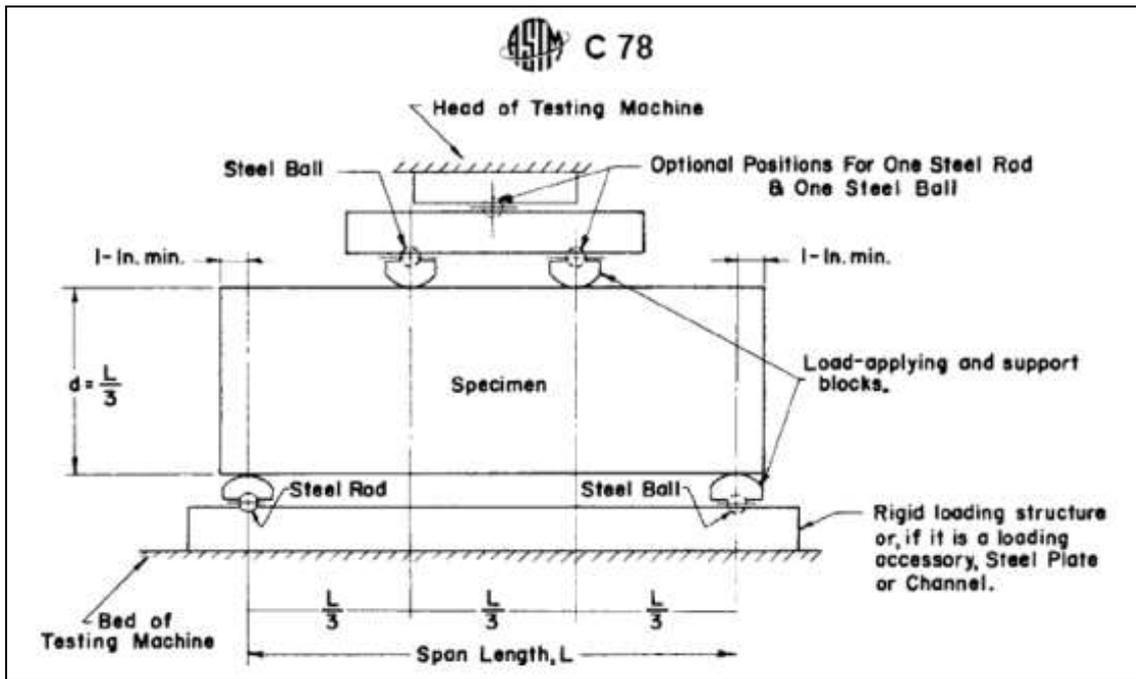


Figura 7. Caracterización del concreto poroso mediante el uso del módulo de ruptura y considerando el porcentaje de desgaste. Tomada de Caracterización del concreto permeable (21) (p. 128)

Según la Norma de Pavimentos Urbanos CE.010, propuesto por Sencico (28) menciona que existe una reacción de pandeo de los pavimentos hechos de concreto a cargas repetidas en los ejes, de modo que se producen fuerzas propiamente de compresión y flexión. Complementariamente, se señala que la resistencia a la flexión que presente el concreto es la que controla directamente el diseño de los pavimentos. Respecto de las características de los pavimentos en función de su diseño, estas se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 11. Elementos estructurales de pavimentos relacionados al concreto poroso

Elemento	Tipo de pavimento		
	Flexible	Rígido	Adoquines
Subrasante	95% de compactación: suelos granulares – <i>Proctor</i> modificado; suelos cohesivos – <i>Proctor</i> estándar		
	Espesor compactado:		
	<ul style="list-style-type: none"> • 250 mm – vías locales y colectoras • 300 mm – vías arteriales y expresas 		
Subbase	CBR <> 40% 100% compactación <i>Proctor</i> modificado		CBR <> 30% 100% compactación <i>Proctor</i> modificado
Base	CBR <> 80% 100% compactación <i>Proctor</i> modificado	N.A.	CBR <> 80%; 100% compactación <i>Proctor</i> modificado
Imprimación / capa de apoyo	Penetración de la imprimación <> 5 mm	N.A.	Cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40 mm
Vías locales	50 mm	150 mm	60 mm

Espesor de la capa de rodadura	Vías colectoras	60 mm		80 mm
	Vías arteriales	70 mm		NR
	Vías expresas	80 mm	200 mm	NR
Material	Vías locales			
	Vías colectoras	Concreto asfáltico	MR <> 3.4 MPa (34 kg/cm ²)	f'c <> 38 MPa (380 kg/cm ²)
	Vías arteriales			
	Vías expresas			

Tomada de Norma CE.010 (28)

De igual manera, se establecen parámetros especiales respecto de los pavimentos denominados como “especiales” y constituidos por concreto; entre dicho grupo se encuentran las siguientes estructuras (28): 1) aceras o veredas; 2) pasajes peatonales; 3) ciclovías; dichos parámetros en esencia se exponen en la siguiente tabla. De manera final, “los parámetros que se deben de tener para el diseño del concreto para pavimentos de acuerdo con el uso que se le dará para el reglamento marca las bases a considerar”. (28)

Tabla 12.
Parámetros de los pavimentos especiales

Elemento	Tipo de pavimento		
	Aceras o Veredas	Pasajes Peatonales	Ciclo vías
Subrasante	95% de compactación: suelos granulares – <i>Proctor</i> modificado – suelos cohesivos – <i>Proctor</i> estándar		
	Espesor compactado: 150 mm		
Base	CBR: 30%		CBR: 60%
Espesor de la capa de rodadura	Asfáltico	30 mm	
	Concreto de cemento Portland	100 mm	
	Adoquines	40 mm (se deberán apoyar sobre una cama de arena fina, de espesor entre 25 y 40 mm)	
Material	Asfáltico	Concreto asfáltico	
	Concreto de cemento Portland	f'c <> 17.5 MPa (175 kg/cm ²)	
	Adoquines	f'c <> 32 MPa (320 kg/cm ²)	N. R.

Tomada de Norma CE.010 (28)

- Prueba de compresión simple

Según la Norma de Pavimentos Urbanos CE.010, propuesto por Sencico, (28) para la prueba de compresión, en función de la resistencia estructural de los pavimentos, se emplean cilindros hechos de concreto, a los que se somete una

fuerza denominada como carga axial a una velocidad determinada hasta que la muestra testigo soporte una determinada carga; puntualmente señala que “el cálculo de la resistencia a la compresión se establece mediante el cociente entre la carga máxima alcanzada durante el período de ensayo y la sección transversal de área del espécimen”. Igualmente, la resistencia a compresión varía entre los 2,8 mega Pascales hasta 28 mega Pascales. La resistencia a compresión del concreto poroso está relacionado al diseño de mezcla y al esfuerzo que se le aplicara en la compactación. En resumen, la calidad de materiales es de vital importancia, la proporción en que se usen y el esfuerzo de compactación que apliquen para la elaboración del concreto. Esto ocasiona una variación inversamente proporcional entre la resistencia y el porcentaje de vacíos que tenga el concreto; el Comité ACI 522 muestra esta relación en la figura adjunta.

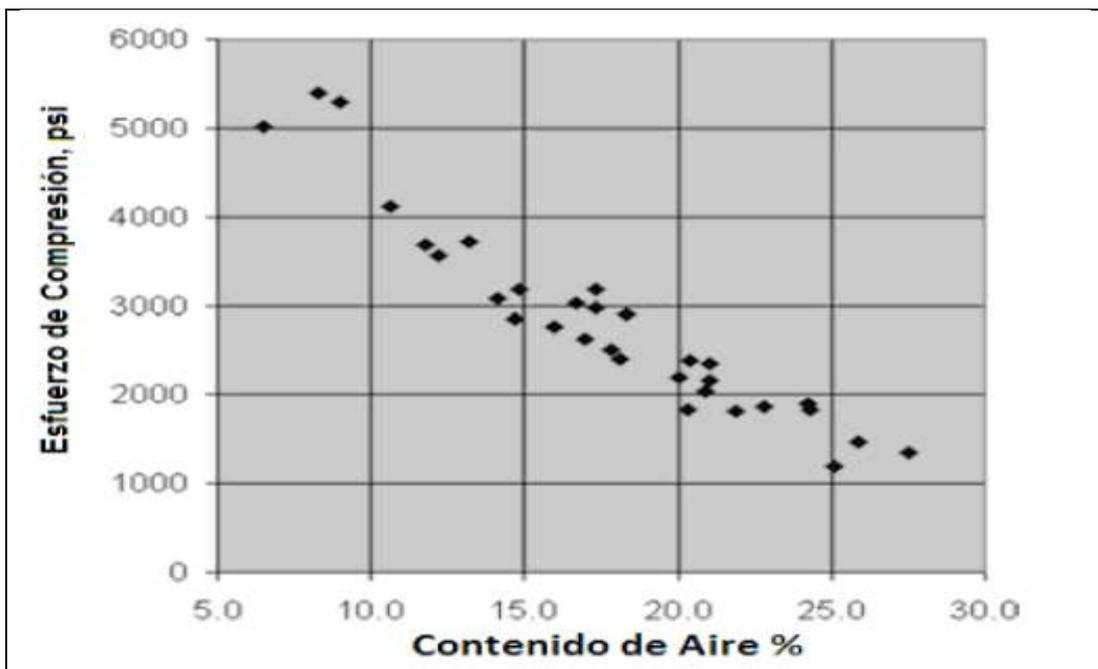


Figura 8. Esfuerzo de compresión vs. contenido de aire. Tomada de Comité ACI 522

Como se muestra en la figura anterior la relación que existe en una relación inversa entre esfuerzo de compresión vs. contenido de aire, puesto que a mayor cantidad de huecos causados por el contenido de aire reduce la resistencia a la compresión, lo que viene a ser un problema en que se debe tener mucho cuidado, ya que el concreto poroso tiene un porcentaje de aire incorporado de hasta el 25% de contenidos de aire. Además se comprobó que un incremento en el tamaño del agregado grueso llega a afectar la resistencia

del concreto reduciéndola. Aunque la relación agua / cemento (a/c) es importante en la resistencia a compresión del concreto convencional, esto no sucede en el concreto poroso donde la relación alta (a/c), ocasionara que el concreto sea más fluido, saturando los poros o vacíos; y al utilizar una relación baja (a/c), la adherencia de los materiales puede verse afecta más si no se utiliza fino ya que la trabajabilidad es importante en este tipo de concreto. La dosificación adecuada para la mezcla del cemento puede variar por el tipo de agregado y según la aplicación que se le dará, ya que deberá ser establecida de acuerdo los agregados y el tipo de cemento dependerá del elemento estructural donde se aplicará.

- Características de los materiales de mezcla

Para la ejecución del proceso de mezcla (basado en el cálculo) es necesario considerar los datos presentados en la tabla siguiente. (16)

Tabla 13.

Caracterización de agregados

Características	Datos / Componentes
Peso específico	Arena fina, agregado grueso, cemento, agua
Tamaño de agregado grueso	-
Peso unitario suelto	Arena fina, agregado grueso
Peso unitario compactado	Arena fina, agregado grueso
Porcentaje de adsorción	-
Porcentaje de humedad	-

Tomada de Diseño de mezclas (16)

En el Perú no existe un método o norma que establezca “el diseño de mezclas de concreto poroso” por lo que se consideró de la investigación titulada “*Laboratory study of mixture proportioning for previous concrete pavement*”, cuyo trabajo propone una dosificación a partir de las pruebas que aplicaron deduciendo de estas una ecuación que analiza el comportamiento de la realización de 18 mezclas de concreto poroso a diferentes relaciones agua / cemento las cuales oscilan entre los valores de 0,29 y 0,41 y su relación existente entre el contenido de vacíos.

Para un volumen unitario de agregado, la densidad de la mezcla puede obtenerse sumando la masa de los componentes y dividiéndola por el volumen unitario, obteniéndose una densidad teórica, la cual se detalla en la siguiente

ecuación:

$$\text{Densidad teórica}(Dt) = \frac{A + C + M}{1}$$

Donde:

- A es masa del agregado.
- C es la masa del cemento.
- W es la masa del agua.

Deduciendo al mezclar todos estos componentes se deduce que los vacíos serán rellenados por la pasta y estas se adherirán al agregado ocasionando un esponjamiento de la mezcla incrementando su volumen final de la mezcla.

Para esta investigación se decidió evaluar el comportamiento del concreto tomando dos tipos de diseño, la mezcla con “A” con la incorporación de finos y la mezcla “B” con la ausencia de material fino, de acuerdo con lo establecido en la investigación que se tomó como referencia. Así también se tomó la norma ACI 522 R, como base para establecer los parámetros de validación de los datos obtenidos en la investigación, puesto que aun no existe un procedimiento establecido de ensayos que se apliquen al concreto poroso.

Diseño de mezcla “A” con finos

- Para la realización del cálculo de mezcla se necesitarán los siguientes datos:
 - Peso específico:
 - Arena fina
 - Agregado grueso
 - Cemento
 - Agua
 - Tamaño del agregado grueso
 - Peso unitario suelto
 - Arena fina
 - Agregado grueso

- Peso unitario compactado
 - Arena fina
 - Agregado grueso
- Porcentaje de absorción
- Porcentaje de humedad

- Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño de las probetas experimentales son las siguientes (29):

- Las probetas deberán ser diseñadas de modo que resistan un valor de 21 MPa o 210 kg/cm².
- La relación de agua y cemento será de 0.5.
- Para el diseño “A” con presencia de finos se utilizará una relación de cemento 1:1.
- Los porcentajes vacíos para esta investigación serán de 15%, 20% y 25%.

1) Realizar cálculos respecto de factor de compactación y de la porosidad del material agregado respecto de su volumen; para ello se aplican las siguientes fórmulas:

$$\text{Compactación: } volumen_{grava} + volumen_{vacíos de la grava} = 1m^3 \dots (1)$$

$$\text{Vol. de vacíos: } volumen_{vacíos de la grava} = 1m^3 - volumen_{grava} \dots (2)$$

Donde:

$$volumen_{grava} = \frac{masa}{densidad} \dots (3)$$

Reemplazando la ecuación (2) en (3), se obtiene:

$$volumen_{vacíos de la grava} = 1 - \frac{\text{Peso unitario compactado}_{grava}}{Densidad_{grava}} \dots (4)$$

2) Según lo expuesto por los autores antes mencionados, los agregados inicialmente contienen un elevado porcentaje de vacíos, y al agregarle un

volumen de pasta de cemento, esta pasta solo llenará parcialmente los vacíos, quedando un porcentaje de vacíos en la mezcla, el cual es considerablemente inferior al porcentaje de vacíos inicial, pero en la práctica, cuando los materiales se mezclan y el concreto es compactado, la pasta de cemento no solo llenará los vacíos entre los agregados sino que también se introducirá entre las partículas del agregado, separándolas e incrementando el volumen original, por lo que el volumen será mayor por efecto de un esponjamiento de la mezcla. Lo cual también es mencionado en una investigación de la universidad de Purdue (31) donde se calcula el factor de compactación (FC).

$$\text{Factor de Compactación} = \frac{\text{Densidad real}}{\text{Densidad teórica}} \dots (5)$$

Reemplazando en la ecuación (4), para obtener:

$$\text{Porosidad}_{\text{Esqueleto granular}} = \left(1 - \frac{\text{Peso unitario compactado}_{\text{Grava}} \times \text{FC}}{\text{Densidad real}_{\text{Grava}}} \right) \dots (6)$$

3) A partir de ello es necesario relacionar el factor de compactación con la retención del agua y el cemento propiamente, teniendo en cuenta la siguiente fórmula:

$$F. \text{ de Compactación} = -3.37 * (a/c)_2 + 3.49 * (a/c) + 0.11$$

4) Complementariamente, el volumen de vacíos de la grava pasará a denominarse porosidad del esqueleto granular; así como el volumen de vacíos de la mezcla se denominará porcentaje de vacíos del diseño.

5) A partir de lo anterior es posible obtener los valores para continuar con el diseño de mezcla, para ello se utiliza la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Volumen}_{\text{Mezcla}} &= \text{vol.}_{\text{pasta}} + \text{vol.}_{\text{grava}} + \text{vol.}_{\text{vacíos de la mezcla}} = 1 \text{ m}^3 \\ \text{Vol.}_{\text{pasta}} &= 1 - (\text{vol.}_{\text{grava}} + \text{vol.}_{\text{vacíos de la mezcla}}) \end{aligned}$$

Despejando de la ecuación el volumen de la grava:

$$Vol_{.grava} = 1 - Vol_{.vacío\ de\ la\ grava}$$

Entonces, reemplazando:

$$Vol_{.pasta} = Vol_{.vacío\ de\ la\ grava} - Vol_{.vacíos\ de\ la\ mezcla}$$

Donde, cambiando los términos:

- Volumen de vacíos de la grava = porosidad del esqueleto granular
- Volumen de vacíos de la mezcla = porcentaje de vacíos del diseño

Siendo posible deducir que:

$$Vol_{.pasta} = porosidad_{.esqueleto\ granular} - \% \text{ de vacíos de diseño}$$

- 6) Se procederá, entonces, con el cálculo del cemento, para ello se tomará en consideración la siguiente fórmula:

$$Peso_{.cemento} = \frac{volumen_{pasta}}{\left(\frac{1}{Densidad_{cemento}} + \frac{a/c}{Densidad_{agua}} \right)}$$

- 7) Para el cálculo de la arena fina, la cual depende del volumen del cemento por metro cúbico de concreto, ya que para el diseño se tomó la relación inicial, de esta manera se calculará el volumen de arena.

$$Vol_{.cemento} = \frac{Peso_{cemento}}{Densidad_{cemento}}$$

Debido a esto se deduce que:

$$Peso_{cemento} = Peso_{arena}$$

Reemplazando:

$$Vol_{arena} = \frac{Peso_{arena}}{Densidad_{arena}}$$

- 8) Para el cálculo del agua se tomará en cuenta la relación existente de agua y cemento que se tomó al inicio para el diseño de esta investigación, la cual es 0.50.

$$a/c = \frac{Peso_{cemento}}{Peso_{agua}}$$

- 9) Para el cálculo del volumen del agregado por metro cúbico de concreto se utiliza la fórmula:

$$Volumen_{AG} = 1 - (vol_{cemento} + vol_{agua} + vol_{vacíos})$$

Mediante la ecuación mostrada, se calcula el volumen de la grava con:

$$Peso\ seco_{AG} = vol_{AG} \times densidad_{AG}$$

- 10) Para las correcciones debido al contenido de agua en los agregados se utiliza la siguiente fórmula para la arena y el agregado grueso:

$$Peso\ húmedo_{AG} = Peso\ seco_{AG} \left(1 + \frac{\%humedad_{AG}}{100} \right)$$

Una vez obtenido el peso húmedo procedemos al cálculo del volumen húmedo de los agregados por metro cúbico de concreto.

$$Vol.\ Húmedo_{AG} = \frac{Peso.\ húmedo}{Densidad_{AG}}$$

Para la corrección de la cantidad de agua de mezclado por la humedad de los agregados se utiliza la siguiente fórmula:

$$Ajuste\ Agua_{AG} = Peso\ seco_{AG} \left(\frac{\%Humedad_{AG}}{100} \pm \frac{\%Absorción_{AG}}{100} \right)$$

De esta manera se corrige el agua en el diseño con la ecuación (25), para el diseño de mezcla, y conocer las proporciones idóneas de materiales a utilizar en la preparación del concreto poroso.

$$Agua\ Efectiva_{AG} = Ajuste\ Agua_{AG} - cantidad\ de\ agua\ de\ mezclado$$

11) Como último paso para el cálculo de los aditivos a utilizar se tomará en cuenta las siguientes recomendaciones del fabricante:

- Para el Plastiment® HE-98, la dosis recomendada es de 2.5 cm³ a 6 cm³ por kilogramo de cemento, para este proyecto se tomó la dosis de 4cm³ por kilogramo de cemento por ser un valor intermedio.
- Para el Sika® ViscoCrete®-1110 PE, 1% - 2 % cm³ por kilogramo de cemento, para la investigación se consideró el valor de 1.5% cm³ por kilogramo de cemento.

Diseño de mezcla “B” sin finos

Para la realización del cálculo de mezcla se necesitan los siguientes datos:

- Peso específico:
 - Agregado grueso
 - Cemento
 - Agua
- Tamaño del agregado grueso
- Peso unitario suelto
 - Agregado grueso
- Peso unitario compactado

- Agregado grueso
- Porcentaje de absorción
- Porcentaje de humedad

- **Parámetros de diseño**

Los parámetros de diseño de las probetas experimentales de acuerdo con la investigación “Diseño y aplicación de concreto poroso para pavimentos” (29) son las siguientes:

- Las probetas deberán ser diseñadas de modo que resistan un valor de 21 MPa o 210 kg/cm².
- La relación de agua y cemento será de 0.4 debido a la ausencia de la presencia de arena fina lo que le da mayor consistencia al concreto y trabajabilidad, y de esta manera asegurar la resistencia del concreto.
- Para el diseño “A” con presencia de finos se utiliza una relación de cemento 1:1, por los buenos resultados que se obtuvieron en el estudio titulado.
- Los porcentajes vacíos para esta investigación serán de 15%, 20% y 25%.

1) Para iniciar con el cálculo del diseño de mezcla se calcula el volumen de mortero, como primer paso, para ello, se realiza la ecuación.

$$Vol_{pasta} = porosidad_{esqueleto\ granular} - \% \text{ de vacíos de diseño}$$

A partir de esta fórmula se calcula el peso del cemento:

$$Peso_{cemento} = \frac{volumen_{pasta}}{\left(\frac{1}{Densidad_{cemento}} + \frac{a/c}{Densidad_{agua}} \right)}$$

Y así se calcula el volumen del cemento por metro cúbico de concreto:

$$Vol_{cemento} = \frac{Peso_{cemento}}{Densidad_{cemento}}$$

- 2) Se procede con el cálculo del contenido de agua, la cual parte de la relación agua cemento (0.40) la cual fue tomada en consideración para el inicio de este ítem.

$$a/c = \frac{\text{Peso}_{\text{cemento}}}{\text{Peso}_{\text{agua}}}$$

- 3) El tercer paso es el cálculo del volumen seco de la grava por metro cúbico de concreto con la ecuación.

$$\text{Volumen}_{AG} = 1 - (\text{vol}_{\text{cemento}} + \text{vol}_{\text{agua}} + \text{vol}_{\text{vacíos}})$$

A partir de esto se calcula el peso seco de la grava con la ecuación.

$$\text{Peso seco}_{AG} = \text{vol}_{AG} \times \text{densidad}_{AG}$$

- 4) Ahora se procede con el cálculo de la grava húmeda para hacer las correcciones correspondientes al diseño por humedad, a partir de la siguiente ecuación.

5)

$$\text{Peso húmedo}_{AG} = \text{Peso seco}_{AG} \left(1 + \frac{\% \text{humedad}_{AG}}{100} \right)$$

Una vez obtenido el peso húmedo se procede al cálculo del volumen húmedo de los agregados por metro cúbico de concreto.

$$\text{Vol. Húmedo}_{AG} = \frac{\text{Peso}_{\text{húmedo}}}{\text{Densidad}_{AG}}$$

Para la corrección de la cantidad de agua de mezclado por la humedad de los agregados se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Ajuste Agua}_{AG} = \text{Peso seco}_{AG} \left(\frac{\% \text{Humedad}_{AG}}{100} \pm \frac{\% \text{Absorción}_{AG}}{100} \right)$$

- 10) Como último paso para el cálculo de los aditivos a utilizar se toma en cuenta

las recomendaciones del fabricante.

- Para el Plastiment® HE-98, la dosis recomendada es de 2.5 cm³ a 6 cm³ por kilogramo de cemento, para este proyecto se tomó la dosis de 4 cm³ por kilogramo de cemento por ser un valor intermedio.
- Para el Sika® ViscoCrete®-1110 PE, 1% - 2 % cm³ por kilogramo de cemento, para la investigación se consideró el valor de 1.5% cm³ por kilogramo de cemento.

- **Elaboración de probetas**

Según la Norma de Pavimentos Urbanos CE.010, (28) las probetas de ensayo de resistencia deben guardar las siguientes consideraciones de diseño: 1) respecto del molde: debe ser de un material no absorbente e incompatible con el cemento (PVC, acero o hierro forjado); 2) deben ser recubiertos por agentes que permitan el movimiento entre el concreto y la pared; 3) deben ser de 60 cm de largo y con los extremos boleados. Las pruebas de ensayo deben ser cilindros propiamente de concreto fraguado y vaciado en posición vertical de altura dos veces del diámetro del contenedor, sin exceder las 2" de agregado añadido.

- **Disminución del nivel freático como consecuencia de impermeabilización de calles y avenidas**

Disminución del nivel freático es una consecuencia debido a la impermeabilización de calles y avenidas. Este crecimiento desmedido es uno de los problemas que afecta al crecimiento de las cuencas, modificando su ciclo hidrológico, esto debido a la impermeabilización y compactando el suelo, alterando el recorrido natural del agua ocasionando la contaminación de estas. El incremento de la población en las ciudades se volvió un evidente problema originando la alteración del medio ambiente y su hidrología. Esto conlleva que el agua de las lluvias sea un problema en las zonas urbanas. Al observar una cuenca urbanizada se aprecia que en ella se acumulara un mayor volumen de agua, disminuyendo la infiltración y la humedad en el suelo, esto ocasionara que el agua que no puede ser absorbida se vea reflejada en la superficie y ocasionando inundaciones esto debido al incremento de la magnitud del caudal provocada por la precipitación constante en esa zona. Todo esto debido a la

impermeabilización de los suelos con los pavimentos. Por otro lado, el crecimiento desmedido de una urbanización modifica el recorrido de la escorrentía conduciéndola a concentrarse aumentando su velocidad. Todo esto al no poder infiltrarse en el suelo disminuye significativamente el nivel freático del agua subterránea que es el principal reserva de agua dulce que podemos tener en el país, ya que estas aguas captadas en los pavimentos se contaminan y no ayudan al incremento del nivel freático natural.

- Escorrentía derivada de la impermeabilización de calles y avenidas, y sus consecuencias

El crecimiento de las zonas urbanas donde antes eran cuencas ha provocado que las lluvias ocasionan un aumento de la escorrentía pluvial al no tener una zona donde desfogar y muchas veces son dirigidas a buzones para su eliminación, pero estos al no tener el mantenimiento debido colapsan y ocasiona las inundaciones de estas zonas, especialmente cuando se presentan grandes precipitaciones.

Para solucionar este problema ocasionado por las escorrentías pluviales, se utiliza un sistema de evacuación de las aguas captadas a través de desagües, pero eso solo traslada el problema, generando caudales cada vez mayores y contribuyendo a un mayor impacto de las aguas pluviales en las zonas urbanas. también se da el caso que el diseño de una urbanización funciona por un periodo de tiempo, pero cuando va creciendo la ciudad este sistema queda obsoleto. De ahí que nace el problema de las inundaciones de las calles mezclando el agua de lluvia con las aguas negras de los desagües ocasionando un foco de contaminación perjudicial para los habitantes y el medio ambiente. Es importante mencionar que el aumento de escorrentía provoca la elevación de erosión y transporte de sedimentos, lo que significa incremento de sólidos en inundaciones. El problema actual, esta dado por que las aguas de las lluvias no solo acarrear contaminantes obtenidos en la atmósfera, sino que a su paso o recorrido arrastra basura y erosiona los suelos.

2.3. Definición de términos

- **ACI:** *American Concrete Institute*, este instituto del concreto es el encargado de normar las especificaciones y características de los concretos en general.
- **ACI 522.1-08:** especificaciones para pavimentos de concreto permeable, tanto en su elaboración y sus restricciones que tiene para su elaboración.
- **ASTM:** *American Society for Testing and Materials*, sociedad americana de pruebas y materiales, normal los instrumentos que son utilizados en los ensayos de laboratorio de concreto.
- **AASHTO:** *American Association of State Highway and Transportation Officials*, Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes, órgano que establece normas, publica especificaciones y hace pruebas de protocolos y guías usadas en el diseño y construcción de autopistas en todo los Estados Unidos.
- **Capacidad de carga:** resistencia que muestra el pavimento frente a una carga que se transporta a lo largo de su superficie, proveyendo de resistencia ante el fisuramiento del mismo.
- **Cemento Portland:** es un cemento hidráulico que, al ser mezclado con agregados, agua tiene la propiedad de conformar una masa sólida y duradera denominada concreto.
- **Clinker:** es un componente principal del cemento. Su nombre es a causa de su color gris.
- **Escorrentía pluvial:** almacenamiento de agua proveniente de las precipitaciones que no son absorbidos sino transportados por fuentes impermeables.
- **FHA:** Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas.

- **Infiltración:** absorción del agua a través de su estructura del suelo hacia el interior de la tierra.
- **Litósfera:** capa a la corteza terrestre que es sólida, conformada por el relieve continental y oceánico.
- **Litología:** rama de la geología que estudia a las rocas: de acuerdo con el tamaño de grano, de las partículas y sus características físicas y químicas.
- **Nivel freático:** es el agua subterránea el cual se encuentra al nivel donde la presión de agua de un acuífero es igual a la presión atmosférica.
- **Puzolana:** material con alto contenido de silicio o silicio aluminio de origen natural o industrial, que una vez pulverizado en presencia de agua reacciona con el hidróxido de calcio del cemento formando a temperatura ambiente compuestos con propiedades hidráulicas permanentemente insolubles y estables.
- **Pavimento:** superficie de concreto sobre la cual transitan automóviles y sirve de medio de transporte entre dos puntos alejados.
- **Presión hidrostática:** la presión que genera un fluido por su peso ejerciendo presión sobre la superficie del lugar donde está contenido y sobre cualquier objeto sumergido en él.
- **Permeabilidad:** capacidad de un cuerpo para dejar pasar cantidades de agua promedio a través de su estructura por unos pequeños orificios llamados poros.
- **Resistencia a la compresión:** es un ensayo técnico para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión.
- **Resistencia a la flexión:** respecto de la prueba como tal de dicha resistencia, que “es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada” (*National Ready Mixed Concrete Association*).

- **Superficie de rodadura:** es la capa que se coloca sobre la base; su objetivo principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para evitar filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores.
- **Zona vadosa:** zona del agua subterránea donde los poros del suelo pueden contener aire o agua, también conocida como zona de aeración o no saturada.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo y nivel de la investigación

3.1.1. Métodos de la investigación

A) Método general

El método de investigación que se aplicó en la investigación fue el deductivo, debido a que la información se analizó desde lo general a lo específico, es decir, se tuvo en cuenta ideas y aplicaciones del concreto poroso en otros contextos para llegar a la aplicación específica en el lugar de estudio a nivel preexperimental respecto de su diseño; asimismo, se complementó por la validación de una afirmación hipotética desde el punto de vista estadístico, de modo que se refleje consistencia y representatividad como aporte científico. (30)

B) Método específico

Asimismo, se sugiere utilizar un método específico adecuado, en relación con el método general planteado, que fue el observacional de corte preexperimental. La observación propiamente del fenómeno en estudio y el análisis de su influencia mediante la variación inicial respecto de una variable en estudio coadyuvó a la obtención de información adecuada, de modo que la investigación refleje representatividad y genere un potencial de aplicación a nivel inicial del concreto poroso. (30)

3.1.2. Tipo de la investigación

El tipo de investigación adecuado es el básico, puesto que se buscó, de manera potencial, la influencia que poseen las variables una sobre la otra. De tal

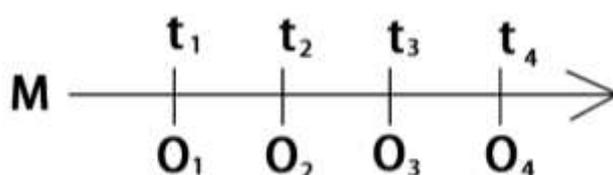
modo que se puedan explicar ciertas interrogantes como la relación que pueden poseer las variables de estudio.

3.1.3. Nivel de la investigación

El nivel de la investigación adecuado para la presente es el correlacional-descriptivo, ya que se planteó el análisis de la influencia de la aplicación a escala del diseño del pavimento poroso y determinar el grado de mejora respecto a la problemática expuesta. La relación fue netamente causal, de modo que se evidencie la manipulación de una de las variables adecuadamente.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño apropiado para la presente es el experimental prospectivo longitudinal. Se tomaron datos en un momento determinado de las condiciones de precipitación de la ciudad, así como lo necesario para el diseño apropiado del pavimento poroso, de modo que se evidencie la transversalidad; asimismo, el desarrollar un preexperimento evidenció óptimamente el entorno metodológico ya que solo se llevará a cabo la prueba a escala a laboratorio o a nivel de gabinete (ensayo estructural de pavimentos), de modo que se originen nuevas ideas del conocimiento a posterior en investigaciones complementarias.



M: muestra del estudio

t_1 a t_2 : momentos que se hacen las observaciones

O_1 a O_4 : observación o mediciones de las variables de estudio

Para la elaboración de pavimentos de concreto poroso se tienen que seguir 6 fases básicas para poder alcanzar los requisitos para alcanzar sus propiedades físicas y mecánicas.

Fase 1. Caracterización de agregados

En esta fase se empieza caracterizando los agregados necesarios para la elaboración del concreto poroso, ya que debe cumplir los estándares que establece la norma del ACI 522, para alcanzar su más óptimo rendimiento del concreto cumpliendo con sus propiedades físicas y mecánicas esenciales para su aplicación en los pavimentos que deben cumplir con la granulometría del uso 87, para el cual se tomaron muestras representativas del agregado que se extrae de la cantera para poder ver si cumple dentro de dicho uso.

Fase 2. Diseño de mezcla

El diseño de mezcla dependió del tipo de suelo con el cual se contaba y la absorción que este poseía ya que el diseño de los concretos porosos está basado en el porcentaje de vacíos que posee, puesto que si se tiene un suelo con poca absorción se deberá diseñar un concreto con una porosidad baja, para que de esta manera se pueda mejorar su absorción lenta, pero eficaz; y de manera contraria si es suelo es muy granular para poder absorber de manera más rápida; de esta manera los porcentajes varían desde 15% hasta 25% de vacíos.

Fase 3. Preparación de la mezcla

En esta fase se preparó la mezcla del concreto poroso ya con los resultados del tipo de suelo y del agregado los que fueron necesarios para la elaboración del diseño de mezcla, así con esos datos se pudo elaborar dicha mezcla con los porcentajes de vacíos que requiera cada tipo de pavimento y posteriormente el vertido en las probetas para someterlos a pruebas de ensayos ya sea de compresión o flexión, así también el de permeabilidad.

Fase 4. Ensayos y simulación

En esta parte una vez que se tengan las probetas de concreto será necesario someterlo a diversos ensayos para verificar lo que se planteó anteriormente, ya sea en el diseño de mezcla con respecto a su resistencia, flexión y permeabilidad los cuales podrán darnos datos confiables sobre estos requerimientos que son parte de las propiedades físicas y mecánicas del concreto poroso para poder ser aplicado en los pavimentos de alto tráfico o resistencia a la capacidad de rodadura, también se somete a un simulador de

condiciones parecidas a las que se encontrará en el terreno donde se aplicará, para poder ver la capacidad de infiltración que tendrá en el campo natural, tomando una muestra de suelo y acomodándola debajo de una losa de concreto, todo dentro de un recipiente de vidrio para poder apreciar la infiltración que se tendrá y tomar tiempo y capacidad de infiltración.

3.3. Población y muestra

La investigación al ser de tipo descriptiva los ensayos en laboratorio determinarán la validación de resultados, es así como solo se tomó en cuenta doce ensayos necesarios que están estipulados en la norma técnica de construcción de pavimentos de concreto.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

La investigación tuvo un proceso para la recolección de datos de modo prolectivo; asimismo los tres ensayos fundamentales para la aceptación de un pavimento de concreto poroso, y son los siguientes:

- Módulo de ruptura a la compresión: este ensayo muestra la resistencia del concreto a cargas de gravedad y su comportamiento para el control de deformaciones.
- Resistencia a la flexión: este ensayo permite lograr una deformación ideal del pavimento evitando su fallo ante fuerzas de tracción.
- Permeabilidad: este ensayo permite medir el coeficiente de permeabilidad según el porcentaje de vacíos y su volumen de infiltración.



Figura 9. Ensayos de laboratorio

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de la investigación

4.1.1 Diseño de mezcla

Para esta parte de la investigación se aplicaron las ecuaciones que fueron deducidas en la metodología, para saber las proporciones de los materiales que se utilizaron, para ello en la tabla siguiente se muestran las características de los materiales a utilizar, de acuerdo con los datos obtenidos en el laboratorio.

Tabla 14.
Características de los materiales

Materiales	Propiedades				
	Peso específico	Peso unitario suelto	Peso unitario compactado	% Absorción	% Humedad
Cemento Andino I	3150				
Arena fina	2575	1775	1914	2.594	5.26
Grava de 1/2"	2620	1368	1514	0.2	1.313
Agua	1000				

Y con estos datos se pueden calcular las proporciones para 1 m³ de concreto, de acuerdo con los dos planteamientos que se propusieron del diseño de mezcla "A" con finos y el diseño de mezcla "B" sin finos, para después ser sometidos a pruebas de compresión y flexo compresión, para definir si están dentro del rango que solicita la normativa peruana. "Norma CE.010 Pavimentos Urbanos".

4.1.1.1 Diseño de mezcla “A” con finos

Este diseño estará en función de tres tipos de porcentaje de vacíos, de los cuales podremos conocer el comportamiento de la resistencia del concreto, en función al porcentaje de vacíos.

Tabla 15.
Condiciones de diseño para 15% de vacío

Resistencia de diseño	210 kg/cm ²
Relación agua cemento	0.5
Porcentaje de vacíos	15 %
Relación arena cemento	1:1

a) Diseño de mezcla “A” con finos y 15% de vacíos

Como datos para el diseño del concreto tenemos:

Tabla 16.
Volúmenes de materiales para 15% de vacíos

Paso	Descripción	Resultado	UND
Uso de los pasos del 1 al 11	Porosidad esqueleto granular	0.41	m ³
	Factor de compactación	1.0125	u
	Volumen de pasta	0.26	m ³
	Peso del cemento	318.06	kg/m ³
	Volumen cemento	0.10	m ³
	Volumen de arena	0.12	m ³
	Volumen de agua	0.16	m ³
	Volumen de grava	0.47	m ³
	Peso seco de la arena	309.00	kg/m ³
	Peso seco de la grava	1231.40	kg/m ³
	Peso húmedo de la arena	325.25	kg/m ³
	Peso húmedo de la grava	1247.57	kg/m ³
	Volumen húmedo de la arena	0.13	m ³
	Volumen húmedo de la grava	0.48	m ³
	Ajuste de agua de la arena	8.24	L
	Ajuste de agua de la grava	13.71	L
	Ajuste de agua en mezcla	138.05	L
	Volumen de agua para la mezcla	0.14	m ³

Con los datos hallados en la tabla anterior, se deducen los volúmenes para el diseño de mezcla para aplicar en campo.

Tabla 17.
Proporciones de materiales para 15% de vacíos

Material	P. E. (kg/m ³)	Peso seco (kg/m ³)	Volumen seco (kg/m ³)	Peso húmedo (kg/m ³)	Volumen húmedo (kg/m ³)
Cemento	3150	318.06	0.10	318.06	0.10
Arena	2575	309.00	0.12	325.25	0.13
Grava	2620	1231.40	0.47	1247.57	0.48
Agua	1000	160.00	0.16	138.05	0.14
Aire		0.00	0.15	0	0.15
Plastiment® HE-98	1170	1.49	0.001	1.49	0.001
Sika® ViscoCrete®-1110 PE	1060	0.49	0.0005	0.49	0.0005
Total			1.00		1.00

b) Diseño de mezcla “A” con finos y 20% de vacíos

Como datos para el diseño del concreto tenemos:

Tabla 18.
Condiciones de diseño para 20% de vacíos

Resistencia de diseño	210 kg/cm ²
Relación agua cemento	0.5
Porcentaje de vacíos	20 %
Relación arena cemento	1:1

De los datos mostrados se halla lo siguientes, aplicando los pasos que fueron expuestos en la metodología:

Tabla 19.
Volúmenes de materiales para 20% de vacíos

Paso	Descripción	Resultado	UND
Uso de los pasos del 1 al 11	Porosidad esqueleto granular	0.41	m ³
	Factor de compactación	1.0125	u
	Volumen de pasta	0.21	m ³
	Peso del cemento	256.89	kg/m ³
	Volumen cemento	0.08	m ³
	Volumen de arena	0.1	m ³
	Volumen de agua	0.13	m ³
	Volumen de grava	0.49	m ³
	Peso seco de la arena	257.50	kg/m ³
	Peso seco de la grava	1283.80	kg/m ³
	Peso húmedo de la arena	271.04	kg/m ³
	Peso húmedo de la grava	1300.66	kg/m ³
	Volumen húmedo de la arena	0.11	m ³
	Volumen húmedo de la grava	0.5	m ³
	Ajuste de agua de la arena	6.86	L
	Ajuste de agua de la grava	14.29	L
	Ajuste de agua en mezcla	108.85	L
Volumen de agua para la mezcla	0.11	m ³	

Con los datos hallados en la tabla anterior, se deducen los volúmenes para el diseño de mezcla para aplicar en campo.

Tabla 20.
Proporciones de materiales para 20% de vacíos

Material	P. E. (kg/m ³)	Peso seco (kg/m ³)	Volumen seco (kg/m ³)	Peso húmedo (kg/m ³)	Volumen húmedo (kg/m ³)
Cemento	3150	256.89	0.08	256.89	0.08
Arena	2575	257.50	0.10	271.04	0.11
Grava	2620	1283.80	0.49	1300.66	0.50
Agua	1000	130.00	0.13	108.85	0.11
Aire		0.00	0.20	0	0.20
Plastiment® HE-98	1170	1.20	0.001	1.49	0.001
Sika® ViscoCrete®-1110 PE	1060	0.41	0.0004	0.49	0.0004
Total			1.00		1.00

c) Diseño de mezcla “A” con finos y 25% de vacíos

Como datos para el diseño del concreto tenemos:

Tabla 21.
Condiciones de diseño para 25% de vacíos

Resistencia de diseño	210 kg/cm ²
Relación agua cemento	0.5
Porcentaje de vacíos	25 %
Relación arena cemento	1:1

De los datos mostrados se halla lo siguiente, aplicando los pasos que fueron expuestos en la metodología:

Tabla 22.
Volúmenes de materiales para 25% de vacíos

Paso	Descripción	Resultado	UND
Uso de los pasos del 1 al 11	Porosidad esqueleto granular	0.41	m ³
	Factor de compactación	1.0125	u
	Volumen de pasta	0.16	m ³
	Peso del cemento	195.73	kg/m ³
	Volumen cemento	0.06	m ³
	Volumen de arena	0.08	m ³
	Volumen de agua	0.1	m ³
	Volumen de grava	0.51	m ³
	Peso seco de la arena	206.00	kg/m ³
	Peso seco de la grava	1336.20	kg/m ³
	Peso húmedo de la arena	216.84	kg/m ³
	Peso húmedo de la grava	1353.74	kg/m ³
	Volumen húmedo de la arena	0.08	m ³
	Volumen húmedo de la grava	0.52	m ³
	Ajuste de agua de la arena	5.49	L
	Ajuste de agua de la grava	14.87	L
Ajuste de agua en mezcla	79.64	L	
Volumen de agua para la mezcla	0.08	m ³	

Con los datos hallados en la tabla anterior, se deducen los volúmenes para el diseño de mezcla para aplicar en campo.

Tabla 23.
Proporción de los materiales para 25% de vacíos

Material	P. E. (kg/m ³)	Peso seco (kg/m ³)	Volumen seco (kg/m ³)	Peso húmedo (kg/m ³)	Volumen húmedo (kg/m ³)
Cemento	3150	195.73	0.06	195.73	0.06
Arena	2575	206.00	0.08	216.84	0.08
Grava	2620	1336.20	0.51	1353.74	0.52
Agua	1000	100.00	0.10	79.64	0.08
Aire		0.00	0.25	0	0.25
Plastiment® HE-98	1170	0.92	0.001	1.49	0.001
Sika® ViscoCrete®-1110 PE	1060	0.33	0.0003	0.49	0.0003
Total			1.00		0.99

4.1.1.2 Diseño de mezcla “B” sin finos

Este diseño estará en función de tres tipos de porcentaje de vacíos, de los cuales se conoce el comportamiento de la resistencia del concreto, en función al porcentaje de vacíos.

a) Diseño de mezcla “B” sin finos y 15% de vacíos

Como datos para el diseño del concreto tenemos:

Tabla 24.**Condiciones de diseño para 15% de vacíos**

Resistencia de diseño	210	kg/cm ²
Relación agua cemento	0.4	
Porcentaje de vacíos	15	%

De los datos mostrados se halla lo siguiente, aplicando los pasos que fueron expuestos en la metodología:

Tabla 25.**Volúmenes de materiales para 15% de vacíos**

Paso	Descripción	Resultado	UND
Uso de los pasos del 1 al 5	Factor de compactación	0.9668	u
	Porosidad esqueleto granular	0.44	m ³
	Volumen de pasta	0.29	m ³
	Peso del cemento	404.2	kg/m ³
	Volumen cemento	0.13	m ³
	Volumen de agua	0.16	m ³
	Volumen de grava	0.56	m ³
	Peso seco de la grava	1467.20	kg/m ³
	Peso húmedo de la grava	1486.46	kg/m ³
	Volumen húmedo de la grava	0.57	m ³
	Ajuste de agua de la grava	16.33	L
	Ajuste de agua en mezcla	143.67	L
	Volumen de agua para la mezcla	0.14	m ³

Con los datos hallados en la tabla anterior, se deducen los volúmenes para el diseño de mezcla para aplicar en campo.

Tabla 26.**Proporción de los materiales para 15% de vacíos**

Material	P. E. (kg/m ³)	Peso seco (kg/m ³)	Volumen seco (kg/m ³)	Peso húmedo (kg/m ³)	Volumen húmedo (kg/m ³)
Cemento	3150	404.2	0.13	404.2	0.13
Grava	2620	1467.20	0.56	1486.46	0.57
Agua	1000	160	0.16	143.67	0.14
Aire		0	0.15	0	0.15
Plastiment® HE-98	1170	1.89	0.002	1.49	0.002
Sika® ViscoCrete®-1110 PE	1060	0.64	0.0006	0.49	0.006
Total			1.00		1.00

b) Diseño de mezcla “B” sin finos y 20% de vacíos

Como datos para el diseño del concreto:

Tabla 27.

Condiciones de diseño para 20% de vacíos

Resistencia de diseño	210	kg/cm ²
Relación agua cemento	0.4	
Porcentaje de vacíos	20	%

De lo mostrado se pueden hallar los siguientes datos aplicando los pasos que fueron expuestos en la metodología:

Tabla 28.

Volúmenes de materiales para 20% de vacíos

Paso	Descripción	Resultado	UND
Uso de los pasos del 1 al 5	Factor de compactación	0.9668	u
	Porosidad esqueleto granular	0.44	m ³
	Volumen de pasta	0.24	m ³
	Peso del cemento	334.51	kg/m ³
	Volumen cemento	0.11	m ³
	Volumen de agua	0.13	m ³
	Volumen de grava	0.56	m ³
	Peso seco de la grava	1467.20	kg/m ³
	Peso húmedo de la grava	1486.46	kg/m ³
	Volumen húmedo de la grava	0.57	m ³
	Ajuste de agua de la grava	16.33	L
	Ajuste de agua en mezcla	113.67	L
	Volumen de agua para la mezcla	0.11	m ³

Con los datos hallados en la tabla anterior, se deducen los volúmenes para el diseño de mezcla para aplicar en campo.

Tabla 29.

Proporción de materiales para 20% de vacíos

Material	P. E. (kg/m ³)	Peso seco (kg/m ³)	Volumen seco (kg/m ³)	Peso húmedo (kg/m ³)	Volumen húmedo (kg/m ³)
Cemento	3150	334.51	0.11	334.51	0.11
Grava	2620	1467.20	0.56	1486.46	0.57
Agua	1000	130	0.13	113.67	0.11
Aire		0	0.20	0	0.20
Plastiment® HE-98	1170	1.57	0.001	1.49	0.001
Sika® ViscoCrete®-1110 PE	1060	0.53	0.0005	0.49	0.006
Total			1.00		1.00

c) Diseño de mezcla “B” sin finos y 25% de vacíos

Como datos para el diseño del concreto:

Tabla 30.**Condiciones de diseño para 25% de vacíos**

Resistencia de diseño	210	kg/cm ²
Relación agua cemento	0.4	
Porcentaje de vacíos	25	%

De los datos mostrados se halla lo siguiente, datos aplicando los pasos que fueron expuestos en la metodología:

Tabla 31.**Volúmenes de materiales para 25% de vacíos**

Paso	Descripción	Resultado	UND
Uso de los pasos del 1 al 5	Factor de compactación	0.9668	u
	Porosidad esqueleto granular	0.44	m ³
	Volumen de pasta	0.19	m ³
	Peso del cemento	264.82	kg/m ³
	Volumen cemento	0.08	m ³
	Volumen de agua	0.11	m ³
	Volumen de grava	0.56	m ³
	Peso seco de la grava	1467.20	kg/m ³
	Peso húmedo de la grava	1486.46	kg/m ³
	Volumen húmedo de la grava	0.57	m ³
	Ajuste de agua de la grava	16.33	L
	Ajuste de agua en mezcla	93.67	L
	Volumen de agua para la mezcla	0.09	m ³

Con los datos hallados en la tabla anterior, se deducen los volúmenes para el diseño de mezcla para aplicar en campo.

Tabla 32.**Proporción de materiales para 25% de vacíos.**

Material	P. E. (kg/m ³)	Peso seco (kg/m ³)	Volumen seco (kg/m ³)	Peso húmedo (kg/m ³)	Volumen húmedo (kg/m ³)
Cemento	3150	264.82	0.08	264.82	0.08
Grava	2620	1467.20	0.56	1486.46	0.57
Agua	1000	110	0.11	93.67	0.09
Aire		0	0.25	0	0.25
Plastiment® HE-98	1170	1.24	0.001	1.49	0.001
Sika® ViscoCrete®-1110 PE	1060	0.42	0.0004	0.49	0.006
Total			1.00		1.00

4.1.2 Probetas de concreto

Luego de calcular los diferentes diseños de mezcla para cada uno de los casos, se procedió a la aplicación en campo de lo calculado en gabinete, obteniendo los siguientes resultados para cada caso.

4.1.2.1. Resistencia a la compresión

Para esta prueba se tomará en cuenta los establecidos en el manual de ensayo de materiales del MTC y en el reglamento nacional “Norma CE.010 Pavimentos Urbanos”. Para medir la resistencia de las probetas de concreto, los cuales fueron ensayados en laboratorio.

4.1.2.1.1. Diseño de mezcla “A” con finos

a) Con 15% de vacíos

Resultados de las probetas sometidas a compresión, con 7 y 28 días de edad, como se puede apreciar en la siguiente tabla, con un diseño para 15% de vacíos en las probetas.

Tabla 33.
Resistencia de concreto a la compresión para 15% de vacíos

Resistencia de concreto				
Muestra	7 días		28 días	
	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	MPa
1	164.35	16.27	245.67	24.30
2	161.61	16.00	241.57	23.89
3	161.66	16.00	241.64	23.90
4	162.70	16.11	243.20	24.05
5	161.63	16.00	241.60	23.89
6	162.70	16.11	238.80	23.62
7	163.92	16.23	245.02	24.23
8	161.53	15.99	241.45	23.88
9	165.05	16.34	246.71	24.40
10	161.59	16.00	241.53	23.89
11	161.61	16.00	241.57	23.89
12	159.78	15.82	238.83	23.62
Promedio	162.34	16.07	242.30	23.96
Desviación estándar	1.476	0.146	2.460	0.243
Coficiente de Variación	0.91%	0.91%	1.02%	1.02%

b) Con 20% de vacíos

Resultados de las probetas sometidas a compresión, con 7 y 28 días de edad, como se puede apreciar en la siguiente tabla, con un diseño para 20% de vacíos en las probetas.

Tabla 34.
Resistencia de concreto a la compresión para 20% de vacíos

Muestra	7 días		28 días	
	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	MPa
1	152.46	16.85	231.01	23.10
2	150.37	16.62	240.85	24.09
3	150.41	16.62	227.89	22.79
4	151.38	16.73	231.55	23.16
5	150.39	16.62	227.86	22.79
6	151.38	16.73	235.84	23.58
7	152.52	16.85	228.78	22.88
8	150.29	16.61	227.72	22.77
9	153.57	16.97	232.68	23.27
10	150.35	16.61	227.80	22.78
11	150.37	16.62	235.45	23.55
12	149.27	16.49	220.58	22.06
Promedio	151.06	16.69	230.67	23.07
Desviación estándar	1.234	0.136	5.188	0.519
Coefficiente de Variación	0.82%	0.82%	2.25%	2.25%

c) Con 25% de vacíos

Resultados de las probetas sometidas a compresión, con 7 y 28 días de edad, como se puede apreciar en la siguiente tabla, con un diseño para 25% de vacíos en las probetas.

Tabla 35.

Resistencia de concreto a la compresión para 25% de vacíos

Muestra	7 días		28 días	
	kg/cm2	MPa	kg/cm2	MPa
1	142.49	13.54	206.51	22.74
2	145.53	13.83	217.53	23.95
3	138.98	13.20	209.87	23.11
4	141.48	13.44	225.56	24.83
5	140.55	13.35	210.09	23.13
6	139.50	13.25	218.90	24.10
7	142.54	13.54	213.06	23.46
8	140.46	13.34	209.96	23.12
9	143.52	13.63	214.53	23.62
10	141.50	13.44	215.79	23.76
11	144.50	13.73	211.50	23.29
12	138.50	13.16	206.75	22.76
Promedio	141.63	13.45	213.34	23.49
Desviación estándar	2.185	0.208	5.501	0.606
Coeficiente de Variación	1.54%	1.54%	2.58%	2.58%

4.1.2.1.2. Diseño de mezcla “B” sin finos

a) Con 15% de vacíos

Resultados de las probetas sometidas a compresión, con 7 y 28 días de edad, como se puede apreciar en la siguiente tabla, con un diseño para 15% de vacíos en las probetas.

Tabla 36.

Resistencia de concreto a la compresión para 15% de vacíos

Muestra	7 días		28 días	
	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	MPa
1	155.51	15.08	234.89	23.25
2	153.37	14.88	235.96	23.36
3	153.42	14.88	236.03	23.37
4	154.41	14.98	232.58	23.03
5	153.40	14.88	235.99	23.36
6	154.41	14.98	237.56	23.52
7	155.57	15.09	239.34	23.69
8	153.30	14.87	235.84	23.35
9	156.64	15.19	230.89	22.86
10	153.35	14.88	229.80	22.75
11	153.37	14.88	235.96	23.36
12	151.08	14.65	232.50	23.02
Promedio	153.99	14.94	234.78	23.24
Desviación estándar	1.445	0.140	2.786	0.276
Coeficiente de Variación	0.94%	0.94%	1.19%	1.19%

b) Con 20% de vacíos

Resultados de las probetas sometidas a compresión, con 7 y 28 días de edad, como se puede apreciar en la siguiente tabla, con un diseño para 20% de vacíos en las probetas.

Tabla 37.

Resistencia de concreto a la compresión para 20% de vacíos

Muestra	7 días		28 días	
	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	MPa
1	147.74	14.33	234.89	23.25
2	145.71	14.13	224.16	22.19
3	145.75	14.14	224.23	22.20
4	146.69	14.23	232.58	23.03
5	145.73	14.14	224.19	22.20
6	146.69	14.23	225.68	22.34
7	147.79	14.34	227.37	22.51
8	145.63	14.13	224.05	22.18
9	148.81	14.43	230.89	22.86
10	145.68	14.13	229.80	22.75
11	145.71	14.13	224.16	22.19
12	144.64	14.03	232.50	23.02
Promedio	146.38	14.20	227.88	22.56
Desviación estándar	1.196	0.116	4.041	0.400
Coeficiente de Variación	0.82%	0.82%	1.77%	1.77%

c) Con 25% de vacíos

Resultados de las probetas sometidas a compresión, con 7 y 28 días de edad, como se puede apreciar en la siguiente tabla, con un diseño para 20% de vacíos en las probetas.

Tabla 38.

Resistencia de concreto a la compresión para 25% de vacíos

Muestra	7 días		28 días	
	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	MPa
1	132.19	12.82	234.89	23.25
2	130.37	12.65	200.57	19.86
3	130.41	12.65	200.62	19.86
4	131.25	12.73	232.58	23.03
5	130.39	12.65	200.60	19.86
6	131.25	12.73	201.92	19.99
7	132.23	12.83	203.44	20.14
8	130.30	12.64	200.47	19.85
9	133.14	12.91	230.89	22.86
10	130.35	12.64	229.80	22.75
11	130.37	12.65	200.57	19.86
12	129.41	12.55	232.50	23.02
Promedio	130.97	12.70	214.07	21.19
Desviación estándar	1.070	0.104	16.008	1.585
Coefficiente de Variación	0.82%	0.82%	7.48%	7.48%

4.1.2.2. Resistencia a la flexión

Para este ensayo se tomaron muestras de viguetas para someterlas a cargas, para medir su resistencia a la flexión y el comportamiento que tendrán los pavimentos, el cual debe estar dentro del estándar de la normativa peruana “Norma CE.010 Pavimentos Urbanos” y también la recomendación del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en la sección de suelos y pavimentos.

4.1.2.2.1. Diseño de mezcla “A” con finos

a) Con 15% de vacíos

Resultados de las probetas sometidas a flexocompresión, con 28 días de edad, como se puede apreciar en la siguiente tabla, con un diseño para 15% de vacíos en las probetas.

Tabla 39.

Resistencia de concreto a la flexión para 15% de vacíos

Resistencia de concreto		
Muestra	28 días	
	kg/cm ²	MPa
1	37.59	3.72
2	36.85	3.65
3	37.65	3.72
4	37.32	3.68
5	36.85	3.65
6	37.49	3.72
Promedio	37.29	3.69
Desviación estándar	0.359	0.035
Coeficiente de Variación	0.96%	0.96%

b) Con 20% de vacíos

Resultados de las probetas sometidas a flexocompresión, con 28 días de edad, como se puede apreciar en la siguiente tabla, con un diseño para 20% de vacíos en las probetas.

Tabla 40.

Resistencia de concreto a la flexión para 20% de vacíos

Resistencia de concreto		
Muestra	28 días	
	kg/cm ²	MPa
1	35.98	3.78
2	35.87	3.77
3	34.35	3.61
4	34.89	3.66
5	35.24	3.70
6	34.89	3.66
Promedio	35.20	3.70
Desviación estándar	0.628	0.066
Coeficiente de Variación	1.78%	1.78%

c) Con 25% de vacíos

Resultados de las probetas sometidas a flexocompresión, con 28 días de edad, como se puede apreciar en la siguiente tabla, con un diseño para 25% de vacíos en las probetas.

Tabla 41.

Resistencia de concreto a la flexión para 25% de vacíos

Resistencia de concreto		
Muestra	28 días	
	kg/cm ²	MPa
1	35.62	3.52
2	34.51	3.41
3	34.74	3.44
4	36.75	3.63
5	35.14	3.47
6	34.87	3.45
Promedio	35.27	3.49
Desviación estándar	0.818	0.081
Coefficiente de Variación	2.32%	2.32%

4.1.2.2.2. Diseño de mezcla “B” sin finos

a) Con 15% de vacíos

Resultados de las probetas sometidas a flexocompresión, con 28 días de edad, como se puede apreciar en la siguiente tabla, con un diseño para 15% de vacíos en las probetas.

Tabla 42.

Resistencia de concreto a la flexión para 15% de vacíos

Resistencia de concreto		
Muestra	28 días	
	kg/cm ²	MPa
1	34.69	3.64
2	34.21	3.59
3	34.22	3.59
4	33.72	3.54
5	34.22	3.59
6	34.45	3.62
Promedio	34.25	3.60
Desviación estándar	0.320	0.034
Coefficiente de Variación	0.93%	0.93%

b) Con 20% de vacíos

Resultados de las probetas sometidas a flexocompresión, con 28 días de edad, como se puede apreciar en la siguiente tabla, con un diseño para 20% de vacíos en las probetas.

Tabla 43.

Resistencia de concreto a la flexión para 20% de vacíos

Resistencia de concreto		
Muestra	7 días	
	kg/cm ²	MPa
1	31.76	3.50
2	32.25	3.56
3	31.34	3.46
4	30.25	3.34
5	31.33	3.46
6	30.95	3.41
Promedio	31.31	3.45
Desviación estándar	0.685	0.076
Coefficiente de Variación	2.19%	2.19%

c) Con 25% de vacíos

Resultados de las probetas sometidas a flexocompresión, con 28 días de edad, como se puede apreciar en la siguiente tabla, con un diseño para 20% de vacíos en las probetas.

Tabla 44.

Resistencia de concreto a la flexión para 25% de vacíos

Resistencia de concreto		
Muestra	28 días	
	kg/cm ²	MPa
1	28.42	3.13
2	29.84	3.29
3	28.04	3.09
4	30.25	3.34
5	28.03	3.09
6	30.95	3.41
Promedio	29.26	3.23
Desviación estándar	1.255	0.138
Coefficiente de Variación	4.29%	4.29%

4.1.3 Diseño del drenaje pluvial

Para esta parte de la investigación se aplicaron lo mencionado en el Reglamento Nacional de Edificaciones en el capítulo de OS.060 Drenaje Pluvial Urbano, que da los parámetros de diseño mencionados anteriormente.

Y en función a los datos de la zona donde se realizó la propuesta ubicada en:

- Departamento: Junín
- Provincia: Huancayo
- Distrito: El Tambo

- Urbanización: Millotingo
- Área de diseño: 64,497.3 m².
- Intensidad de lluvia: 94.66 mm/h (ver anexo 5).

Calculado a partir de la generación de las curvas de IDF, de donde se extrajo la fórmula que determina la precipitación para un tiempo de retorno de 10 años a partir del cálculo del tiempo de concentración calculado de la siguiente manera:

$$t_c = \left(\frac{0.871xL^3}{H} \right)^{0.385}$$

$$t_c = \left(\frac{0.871x0.79214^3}{0.15} \right)^{0.385}$$

$$t_c = 1.503$$

Y reemplazando dicho dato en la curva de un periodo de retorno de Tr=10 años, que tiene como fórmula:

$$P = 2E-05x^6 - 0.0019x^5 + 0.0671x^4 - 1.1709x^3 + 10.868x^2 - 53.359x + 153.8$$

Obteniendo la precipitación 94.66 mm/h

- Coeficiente de escorrentía: 0.83 (ver anexo 3)
- Coeficiente de Manning: 0.014 (ver anexo 4)

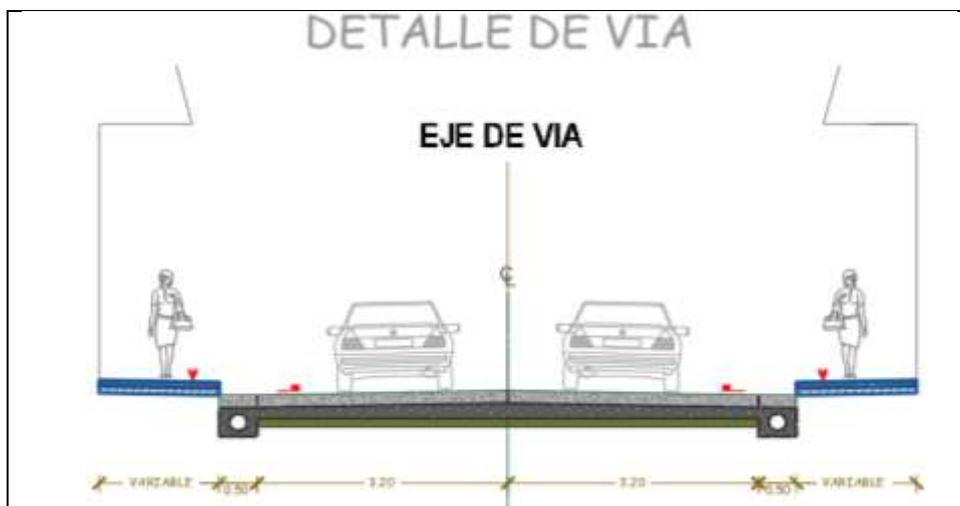


Figura 10. Eje de vía típico de pavimento para el diseño del drenaje

En función a estos datos se diseña el drenaje pluvial para la zona elegida:

A. Cálculo de troncal de drenaje:

○ Método Racional:

$$Q = \frac{C.i.A}{360}$$
$$Q = \frac{0.83(6.45)(94.66)}{360}$$
$$Q = 1.408 \text{ m}^3/\text{s}$$

○ Método Manning:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$
$$V = \frac{1}{0.014} \cdot \left(\frac{7.4 \times 1}{7.6} \right)^{2/3} \cdot 0.02^{1/2}$$
$$V = 2.14 \text{ m}^3/\text{s}$$

○ Cálculo de diámetro de tubería:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}}$$
$$D = \sqrt{\frac{4(1.408)}{\pi(2.14)}}$$
$$D = 0.915 \text{ m}$$

De acuerdo con el cálculo, se obtiene un diámetro de 0.915 m o 36" que es un diámetro comercial.

B. Cálculo de tubería recolectora de drenaje de tubería cribada de 400 mm, para esto se toma el área de influencia para una cuadra típica y sectorizada de acuerdo con la zona de diseño:

- Método Racional:

$$Q = \frac{C.i.A}{360}$$
$$Q = \frac{0.83(0.347)(121)}{360}$$
$$Q = 0.0968 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Método Manning:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$
$$V = \frac{1}{0.014} \cdot (0.12)^{2/3} \cdot 0.01^{1/2}$$
$$V = 1.73 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Cálculo de diámetro de tubería:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}}$$
$$D = \sqrt{\frac{4(1.73)}{\pi(0.0968)}}$$
$$D = 0.395 \text{ m}$$

De acuerdo con el cálculo, se obtiene un diámetro de 0.374 m, que no es un diámetro comercial, por lo que se toma el diámetro comercial superior que es de 400 mm o 16", siendo un diámetro comercial.

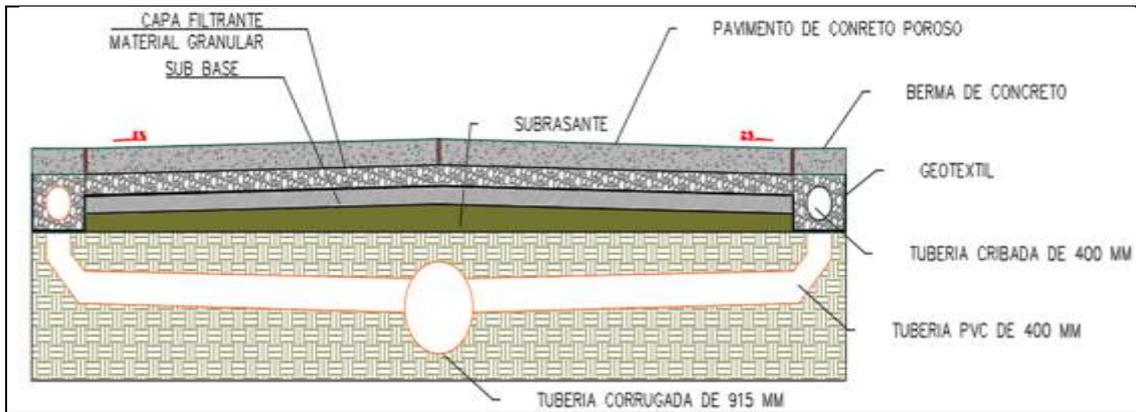


Figura 11. Detalle de pavimento de concreto poroso de acuerdo con los cálculos

Con los cálculos realizados y tomando como base el diseño de la tesis de referencia (23), se propone el sistema de drenaje para el pavimento de concreto poroso, que será típico para toda la zona que se tomó como referencia para este estudio, el cual tendrá un desemboque en el río Shullcas, que se encuentra a 700 m, y en un futuro poder encausar y almacenar estas aguas para el uso de la población.

4.2. Discusión de resultados

4.2.1. Resistencia a la compresión

De los resultados obtenidos se pueden analizar los resultados para cada uno de los diseños de mezcla que se elaboró y corroborarlo si cumplen las especificaciones que exige la normativa, para las pruebas de resistencia a 7 y 28 días, las cuales serán comparadas entre los diseños “A” con presencia de fino y “B” sin finos, para tener una visión global de los resultados.

4.2.1.1. Resistencia de concreto con 15% de vacíos

Cuadro comparativo de las resistencias de concreto con 15% de vacíos de acuerdo con la edad del concreto.

Tabla 45.

Cuadro comparativo de la resistencia del concreto para 15% de vacíos

Resistencia de concreto					
Diseño	Muestra	7 días		28 días	
		kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	MPa
A	Promedio	162.34	15.42	242.30	23.96
	Desviación estándar	1.476	0.140	2.460	0.243
	Coefficiente de Variación	0.91%	0.91%	1.02%	1.02%
B	Promedio	153.99	14.94	234.78	23.24
	Desviación estándar	1.445	0.140	2.786	0.276
	Coefficiente de Variación	0.94%	0.94%	1.19%	1.19%

- Del cuadro se puede analizar que la resistencia a la compresión a los 7 días está por encima de los rangos convencionales que son de 58 - 69% de la resistencia de diseño, con valores de 77.17% y de 72.85% para los diseños “A” con presencia de finos y “B” sin ellos respectivamente, de lo que se puede analizar que los finos le dan una mejor resistencia en cortos periodos, así también las resistencias a los 28 días deberían estar en 100% del que fueron diseñados, lo que se puede corroborar con los datos de 117% y de 111% para los diseños con finos y sin finos respectivamente, lo cual garantiza la resistencia del concreto para el que fue diseñado.
- De los resultados obtenidos en el laboratorio es correcto decir que son confiables, pues el coeficiente de variación es de 1.02% para el diseño “A” con finos y de 1.19% para el diseño “B” de mezcla con ausencia de finos, a los 28 días, menor al 4% que según el comité del ACI 214, tendría un control de calidad excelente, esto se debe a la calidad de materiales utilizados y a la elaboración metódica de las mezclas según el diseño establecido.

4.2.1.2. Resistencia de concreto con 20% de vacíos

Cuadro comparativo de las resistencias de concreto con 20% de vacíos de acuerdo con la edad del concreto.

Tabla 46.

Cuadro comparativo de la resistencia del concreto para 20% de vacíos

Resistencia de concreto					
Diseño	Muestra	7 días		28 días	
		kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	MPa
A	Promedio	151.06	16.69	230.67	23.07
	Desviación estándar	1.234	0.136	5.188	0.519
	Coeficiente de Variación	0.82%	0.82%	2.25%	2.25%
B	Promedio	146.38	14.20	227.88	22.56
	Desviación estándar	1.196	0.116	4.041	0.400
	Coeficiente de Variación	0.82%	0.82%	1.77%	1.77%

- Del cuadro se puede analizar que la resistencia a la compresión a los 7 días está por encima de los rangos convencionales que son de 58 - 69% de la resistencia de diseño, con valores de 71.93% y de 69.52% para los diseños “A” con presencia de finos y “B” sin ellos respectivamente, de lo que se puede

analizar que los finos le dan una mejor resistencia en cortos periodos, así también las resistencias a los 28 días deberían estar en 100% del que fueron diseñados, lo que se puede corroborar con los datos de 109.84% y de 108.51% para los diseños con finos y sin finos respectivamente, lo cual garantiza la resistencia del concreto para el que fue diseñado.

- De los resultados obtenidos en el laboratorio es correcto decir que son confiables, pues el coeficiente de variación es de 1.02% para el diseño “A” con finos y de 1.19% para el diseño “B” de mezcla con ausencia de finos, a los 28 días, menor al 4% que según el comité del ACI 214, tendría un control de calidad excelente, esto se debe a la calidad de materiales utilizados y a la elaboración metódica de las mezclas según el diseño establecido.

4.2.1.3. Resistencia de concreto con 25% de vacíos

Cuadro comparativo de las resistencias de concreto con 25% de vacíos de acuerdo con la edad del concreto.

Tabla 47.

Cuadro comparativo de la resistencia del concreto para 25% de vacíos

Resistencia de concreto					
Diseño	Muestra	7 días		28 días	
		kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	MPa
A	Promedio	141.63	13.45	213.34	21.76
	Desviación estándar	2.185	0.208	5.501	0.561
	Coeficiente de Variación	1.54%	1.54%	2.58%	2.58%
B	Promedio	130.97	12.70	214.71	21.26
	Desviación estándar	1.070	0.104	1.754	0.174
	Coeficiente de Variación	0.82%	0.82%	0.82%	0.82%

- Del cuadro se puede analizar que la resistencia a la compresión a los 7 días está por encima de los rangos convencionales que son de 58 - 69% de la resistencia de diseño, con valores de 67.44% y de 62.37% para los diseños “A” con presencia de finos y “B” sin ellos respectivamente, de lo que se puede analizar que los finos le dan una mejor resistencia en cortos periodos, así también las resistencias a los 28 días deberían estar en 100% del que fueron diseñados, lo que se puede corroborar con los datos de 101.59% y de

102.24% para los diseños con finos y sin finos respectivamente, lo cual garantiza la resistencia del concreto para el que fue diseñado.

- De los resultados obtenidos en el laboratorio es correcto, decir que son confiables, pues el coeficiente de variación es de 1.02% para el diseño “A” con finos y de 1.19% para el diseño “B” de mezcla con ausencia de finos, a los 28 días, menor al 4% que según el comité del ACI 214, tendría un control de calidad excelente, esto se debe a la calidad de materiales utilizados y a la elaboración metódica de las mezclas según el diseño establecido.

4.2.2. Resistencia a la flexión

Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión, la resistencia a flexión o flexocompresión es lo principal tener los valores idóneos, así se garantiza su eficiencia en la aplicación en pavimentos, uno de los parámetros es el establecido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones “Manual de Carreteras, Sección: Suelos y Pavimentos” el cual se basa en la ecuación de AASHTO 93, y señala que el módulo de rotura (MR) esta normalizado por ASTM C – 78. En el ensayo el concreto es muestreado en vigas. A los 28 días las vigas deberán ser ensayadas aplicando cargas en los tercios, y forzando la falla en el tercio central de la viga. Y considera un rango estable para el concreto a una resistencia de 210 kg/cm^2 , el cual debe estar entre $28.84 \text{ kg/cm}^2 \leq \text{MR} \leq 46.08 \text{ kg/cm}^2$.

Para evaluar la resistencia a la flexión se debe tener en consideración la normativa. “Norma CE.010 Pavimentos Urbanos”, que establece los “parámetros de resistencia a la flexión, para vías locales, vías colectoras, vías arteriales y vías expresas una resistencia a la flexión de “ $\text{MR} \geq 3,4 \text{ MPa}$ ” la cual es más estricta en este tema y este tipo de vías, así también para los otros tipos de aplicaciones para los pavimentos especiales a los cuales se consideran a las aceras o veredas, pasajes peatonales y ciclovías con una resistencia a la flexión de “ $\text{MR} \geq 2,63 \text{ MPa}$ ”.

De acuerdo con estas dos normativas se procederá al análisis de los datos obtenidos del laboratorio de concreto.

4.2.2.1. Resistencia de concreto con 15% de vacíos

Cuadro comparativo de las resistencias de concreto con 15% de vacíos de acuerdo con la edad del concreto.

Tabla 48.

Cuadro comparativo de la resistencia del concreto para 15% de vacíos

Resistencia de concreto			
Diseño	Muestra	28 días	
		kg/cm ²	MPa
A	<i>Promedio</i>	37.29	3.69
	<i>Desviación estándar</i>	0.359	0.035
	<i>Coefficiente de Variación</i>	0.96%	0.96%
B	<i>Promedio</i>	34.25	3.60
	<i>Desviación estándar</i>	0.320	0.034
	<i>Coefficiente de Variación</i>	0.93%	0.93%

- Con los resultados obtenidos se puede deducir que según los parámetros establecidos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, los resultados para la mezcla “A” tiene una resistencia a la flexión de 37.29 kg/cm², la cual se encuentra dentro del rango establecido de 28.84 kg/cm² ≤ MR ≤ 46.08 kg/cm², de igual manera para la mezcla “B” con una resistencia a la flexión de 3.60MPa, la cual tiene una resistencia de 34.25 kg/cm² y está dentro de los parámetros establecidos, asegurando su resistencia a la flexión.
- Según la norma “Norma CE.010 Pavimentos Urbanos”, que tiene otros parámetros para evaluar la resistencia del concreto a la flexión, de los resultados obtenidos se deduce que el diseño “A” con finos, el cual tiene una resistencia a la flexión de 3.69 MPa, cumple los requisitos de resistencia que solicita que el módulo de ruptura sea “MR ≥ 3,4 MPa”, el cual cumple satisfactoriamente para poder ser aplicado en los pavimentos urbanos, así también se puede notar que el diseño “B” está dentro de este rango y cumple satisfactoriamente con lo establecido en el reglamento de pavimentos urbanos.
- De los resultados obtenidos en el laboratorio, es correcto decir que son confiables, ya que el coeficiente de variación es de 0.96% para el diseño “A”

con finos y de 0.93% para el diseño “B” de mezcla con ausencia de finos, a los 28 días, menor al 4% que según el comité del ACI 214, tendría un control de calidad excelente, esto se debe a la calidad de materiales utilizados y a la elaboración metódica de las mezclas según el diseño establecido.

4.2.2.2. Resistencia de concreto con 20% de vacíos

Cuadro comparativo de las resistencias de concreto con 20% de vacíos de acuerdo con la edad del concreto.

Tabla 49.

Cuadro comparativo de la resistencia del concreto para 20% de vacíos

Resistencia de concreto			
Diseño	Muestra	28 días	
		kg/cm ²	MPa
A	<i>Promedio</i>	35.20	3.70
	<i>Desviación estándar</i>	0.628	0.066
	<i>Coefficiente de Variación</i>	1.78%	1.78%
B	<i>Promedio</i>	31.31	3.45
	<i>Desviación estándar</i>	0.685	0.076
	<i>Coefficiente de Variación</i>	2.19%	2.19%

- Con los resultados obtenidos se deduce que, según los parámetros establecidos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, los resultados para la mezcla “A” tiene una resistencia a la flexión de 35.20 kg/cm², la cual se encuentra dentro del rango establecido de $28.84 \text{ kg/cm}^2 \leq MR \leq 46.08 \text{ kg/cm}^2$, de igual manera para la mezcla “B” la cual tiene una resistencia de 31.31 kg/cm² y está dentro de los parámetros establecidos, asegurando su resistencia a la flexión.
- Según la norma “Norma CE.010 Pavimentos Urbanos”, la cual tiene otros parámetros para evaluar la resistencia del concreto a la flexión, de los resultados obtenidos se deduce que el diseño “A” con finos, el cual tiene una resistencia a la flexión de 3.70 MPa, cumple los requisitos de resistencia la cual solicita que el módulo de ruptura sea “ $MR \geq 3,4 \text{ MPa}$ ”, que cumple satisfactoriamente para poder ser aplicado en los pavimentos urbanos, así también se puede notar que el diseño “B” con una resistencia a la flexión de

3.45MPa, está dentro de este rango y cumple satisfactoriamente con lo establecido en el reglamento de pavimentos urbanos.

- De los resultados obtenidos en el laboratorio, es correcto decir que son confiables, pues el coeficiente de variación es de 1.78% para el diseño “A” con finos y de 2.19% para el diseño “B” de mezcla con ausencia de finos, a los 28 días, menor al 4% que según el comité del ACI 214, tendría un control de calidad excelente, esto se debe a la calidad de materiales utilizados y a la elaboración metódica de las mezclas según el diseño establecido.

4.2.2.3. Resistencia de concreto con 25% de vacíos

Cuadro comparativo de las resistencias de concreto con 25% de vacíos de acuerdo con la edad del concreto.

Tabla 50.

Cuadro comparativo de la resistencia del concreto para 25% de vacíos

Resistencia de concreto			
Diseño	Muestra	28 días	
		kg/cm²	MPa
A	Promedio	35.27	3.49
	Desviación estándar	0.818	0.081
	Coeficiente de Variación	2.32%	2.32%
B	Promedio	29.26	3.23
	Desviación estándar	1.255	0.138
	Coeficiente de Variación	4.29%	4.29%

- Con los resultados obtenidos se deduce que, según los parámetros establecidos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, los resultados para la mezcla “A” tiene una resistencia a la flexión de 35.27 kg/cm², la cual se encuentra dentro del rango establecido de 28.84 kg/cm² ≤ MR ≤ 46.08 kg/cm², de igual manera para la mezcla “B” la cual tiene una resistencia de 29.26 kg/cm² y está dentro de los parámetros establecidos, asegurando su resistencia a la flexión.
- Según la norma “Norma CE.010 Pavimentos Urbanos”, la cual tiene otros parámetros para evaluar la resistencia del concreto a la flexión, de los

resultados obtenidos se deduce que el diseño “A” con finos, el cual tiene una resistencia a la flexión de 3.49 MPa, cumple los requisitos de resistencia la cual solicita que el módulo de ruptura sea “ $MR \geq 3,4 \text{ MPa}$ ”, el cual cumple satisfactoriamente para poder ser aplicado en los pavimentos urbanos, así también se puede notar que el diseño “B” con una resistencia a la flexión de 3.23MPa, está fuera de este rango y no cumple satisfactoriamente con lo establecido en el reglamento de pavimentos urbanos.

- De los resultados obtenidos en el laboratorio, es correcto decir que son confiables, pues el coeficiente de variación es de 1.78% para el diseño “A” con finos y de 2.19% para el diseño “B” de mezcla con ausencia de finos, a los 28 días, menor al 4% que según el comité del ACI 214, tendría un control de calidad excelente, esto se debe a la calidad de materiales utilizados y a la elaboración metódica de las mezclas según el diseño establecido.

4.2.3. Análisis de resultados

De todos los resultados obtenidos según las pruebas de resistencia a compresión y flexión se puede deducir que:

- Para el diseño “A” con finos y a un porcentaje de vacíos de 15%, se puede notar que la resistencia a la compresión es ideal para trabajar en pavimentos ya que a los 28 días de maduración llega a 117% de la resistencia de diseño, además la resistencia a la flexión está dentro de los rangos de diseño para su aplicación en pavimentos, según lo establecido en la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos y en lo establecido en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, como muestran los resultados del laboratorio; para la aplicación como pavimento para la erradicación de la escorrentía pluvial se puede notar que trabaja excelente para pendientes de 0.5% a 6.00% erradicando sin ningún problema la escorrentía pluvial, lo que no se aprecia en las demás pendientes debido a la baja porosidad que posee.
- Para el diseño “A” con finos y a un porcentaje de vacíos de 20%, se puede notar que la resistencia a la compresión es ideal para trabajar en pavimentos ya que a los 28 días de maduración llega a 109% de la resistencia de diseño,

además la resistencia a la flexión está dentro los rangos de diseño para su aplicación en pavimentos, según lo establecido en la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos y en lo establecido en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, como muestran los resultados del laboratorio; para la aplicación como pavimento para la erradicación de la escorrentía pluvial se puede notar que trabaja excelente para pendientes de 0.5% a 7.00% erradicando sin ningún problema la escorrentía pluvial, lo que no se aprecia en las demás pendientes debido a la baja porosidad que posee.

- Para el diseño “A” con finos y a un porcentaje de vacíos de 25%, se puede notar que la resistencia a la compresión es ideal para trabajar en pavimentos ya que a los 28 días de maduración llega a 101% de la resistencia de diseño, además la resistencia a la flexión está dentro los rangos de diseño para su aplicación en pavimentos, según lo establecido en la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos y en lo establecido en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, como muestran los resultados del laboratorio; para la aplicación como pavimento para la erradicación de la escorrentía pluvial se puede notar que trabaja excelente para pendientes de 0.5% a 8.00% erradicando sin ningún problema la escorrentía pluvial, lo que no se aprecia en las demás pendientes debido a la baja porosidad que posee.
- Para el diseño “B” sin finos y a un porcentaje de vacíos de 15%, se puede notar que la resistencia a la compresión es ideal para trabajar en pavimentos ya que a los 28 días de maduración llega a 111% de la resistencia de diseño, además la resistencia a la flexión está dentro de los rangos de diseño para su aplicación en pavimentos, según lo establecido en la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos y en lo establecido en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, como muestran los resultados del laboratorio; para la aplicación como pavimento para la erradicación de la escorrentía pluvial se puede notar que trabaja excelente para pendientes de 0.5% a 6.00% erradicando sin ningún problema la escorrentía pluvial, lo que no se aprecia en las demás pendientes debido a la baja porosidad que posee.

- Para el diseño “B” sin finos y a un porcentaje de vacíos de 20%, se puede notar que la resistencia a la compresión es ideal para trabajar en pavimentos ya que a los 28 días de maduración llega a 108% de la resistencia de diseño, además la resistencia a la flexión está dentro de los rangos de diseño para su aplicación en pavimentos, según lo establecido en la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos y en lo establecido en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, como muestran los resultados del laboratorio; para la aplicación como pavimento para la erradicación de la escorrentía pluvial se puede notar que trabaja excelente para pendientes de 0.5% a 7.00% erradicando sin ningún problema la escorrentía pluvial, lo que no se aprecia en las demás pendientes debido a la baja porosidad que posee.
- Para el diseño “B” sin finos y a un porcentaje de vacíos de 25%, se puede notar que la resistencia a la compresión es ideal para trabajar en pavimentos ya que a los 28 días de maduración llega a 102% de la resistencia de diseño, además la resistencia a la flexión no está dentro de los rangos de diseño para su aplicación en pavimentos, según lo establecido en la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos y en lo establecido en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, como muestran los resultados del laboratorio; para la aplicación como pavimento para la erradicación de la escorrentía pluvial se puede notar que trabaja excelente para pendientes de 0.5% a 8.00% erradicando sin ningún problema la escorrentía pluvial, lo que no se aprecia en las demás pendientes debido a la baja porosidad que posee.
- El diseño del drenaje pluvial para el pavimento de concreto poroso está diseñado para cualquier porcentaje de vacíos, lo cual beneficiara la evacuación rápida del mismo a través de la tubería cribada o perforada la cual es usada en diferentes partes del mundo como medio de evacuación rápida en terrenos permeables y también usado en carreteras; de esta manera las cuales alimentarían la matriz principal para su posterior evacuación del mismo hasta su lugar de destino que es el Río Shullcas, más aún si se llega a encausar o almacenar estas aguas posteriormente podrían ser usadas en la siembra o usos domésticos no consumibles, sino de lavandería y riego.

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.
- Los diseños “B” sin finos tienen buen comportamiento en temas de resistencia a compresión en sus tres porcentajes de vacíos (15%, 20% y 25%), pero en tema de la flexión en sus dos porcentajes de vacíos (15% y 20%), llegan a cumplir los requerimientos mínimos y en el caso del modelo de concreto con 25% de vacíos no cumplen con los requerimientos mínimos para pavimentos urbanos, pero sí podría cumplir para pavimentos especiales los cuales tienen una resistencia mínima para estos diseños debido a que no llevan cargas mayores a 175 kg/cm^2 .

- La aplicación de concretos porosos ideales para las calles de Huancayo son con un porcentaje de vacíos de 20% asegurando la resistencia y la permeabilidad del concreto, y de esta manera erradicar los empozamientos en las calles de Huancayo, cumpliendo satisfactoriamente los requerimientos solicitados por la normativa vigente.
- El mantenimiento es esencial para asegurar la vida útil de este concreto, de esta manera se deben garantizar dichos procedimientos mencionados para obtener el mejor rendimiento y la vida útil del concreto poroso.

RECOMENDACIONES

- La aplicación de concretos porosos con la adición de finos (diseño “A”) presenta mejor comportamiento y facilidad de trabajo, por ello se recomienda su utilización en campo por su excelente trabajabilidad y garantiza la resistencia en su tiempo de maduración.
- Para el buen funcionamiento de los pavimentos de concreto poroso se deberá cumplir con lo establecido en el mantenimiento del concreto poroso en la investigación y de esta manera garantizar su buen funcionamiento y vida útil.
- La aplicación del diseño “B” sin finos debe trabajarse con estricto control y su aplicación debe ser rápida, debido a que la falta de agregado fino en la mezcla da un menor tiempo de trabajo en su aplicación provocando una deshidratación rápida en la mezcla, provocando una aceleración en el tiempo de fraguado.
- La educación a la población debe ser un punto de partida para su cuidado, que debe ser vertida a través de capacitaciones y que todos los beneficiarios se vean involucrados en su cuidado y mantenimiento.
- La aplicación de concreto poroso se debe realizar en zonas urbanizadas al menos dos o tres cuadras alrededor de dicho lugar de aplicación y en estos colocar los estoperoles para poder evitar el traslado de sedimentos en las llantas de los carros que vengan de zonas no urbanizadas trayendo consigo sedimentos finos que obstruyen los poros del concreto reduciendo su capacidad de absorción del agua.

REFERENCIAS

1. **EL COMERCIO.** *Temporada de lluvias causa grandes pérdidas en todo el norte.* Lima : s.n., 2017.
2. **BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO.** *Valoración de daños y pérdidas.* Bogotá : Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2012.
3. **RODRÍGUEZ, Aixa y SUVIREZ, Graciela.** *Análisis del peligro histórico de inundaciones en la localidad de Chos Malal, provincia de Neuquén: causas y lineamientos territoriales.* 1, Argentina : Asociación Geológica Argentina, 2016, Vol. 73.
4. **CENTRO NACIONAL DE ESTIMACIÓN, PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES.** *Escenarios de riesgo ante la temporada de lluvias 2017 - 2018.* Lima : CENEPRED, 2017.
5. **EL COMERCIO.** *Huancayo: granizada provocó colapso de redes de alcantarillado.* Huancayo : s.n., 2015.
6. **CABELLO, Sandra, y otros** *Concreto poroso: constitución, variables influyentes y protocolos para su caracterización..* 1, Ecuador : Cumbres, 2015, Vol. 1. 13909541.
7. **CRUZ-PALAFIX, Carlos, y otros.** *Diseño de un concreto permeable para la recuperación de agua.* Hidalgo : Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2015.
8. **VÉLEZ, Ligia.** *Permeabilidad y porosidad en concreto.* 25, Medellín : Tecnológicas, 2010. 01237799.
9. **QUINTERO, Luz, y otros.** *Relación entre la resistencia a la compresión y la porosidad del concreto evaluada a partir de parámetros ultrasónicos.* 1, Bucaramanga : ION, 2011, Vol. 24. 0120100X.
10. **BEDOYA, Carlos y DZUL, Luis.** *El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana.* 2, Medellín : Ingeniería de Construcción, 2015, Vol. 30.
11. **PÉREZ, Daniel.** *Estudio experimental de concretos permeables con agregados andesíticos.* México D.F. : Universidad Nacional Autónoma de México, 2009.

12. **CANDELAS, Luis.** *Tecnología del concreto permeable o ecológico en la construcción.* México D.F. : Universidad Nacional Autónoma de México, 2010.
13. **FLORES, César y PACOMPIA, 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.* Puno : Universidad Nacional del Altiplano, 2015.
14. **SHARMA, R.** *Evaluación de los resultados de los ensayos a compresión del hormigón de obra.* 149, España : Materiales de construcción, 1973, Vol. 23.
15. **COMITÉ ACI 318.** *ACI 318S-05 Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural.* American Concrete Institute. 2005
16. **FERNÁNDEZ, Roberto y NAVAS, Alejandro.** *Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad.* 24, Costa Rica : Infraestructura Vial, 2011.
17. **CAVARRUBIAS, Juan.** *La sustentabilidad y el concreto permeable.* Santiago : Construcción y Tecnología en Concreto, 2016.
18. **BRAVO ERAZO, César Hernán.** *Resistencia mecánica y condiciones de obra del concreto poroso en los pavimentos según el tipo de granulometría.* Universidad de Medellín. Colombia : s.n., 2012. Artículo Científico.
19. **SUBRAMANIAN, N.** *Concreto permeable - un material ecológico que contribuye al ahorro de los recursos hídricos, frente a la escasez de agua.* Lima : Asociación de Productores de Cemento, 2009.
20. **SÁNCHEZ, D.** *Tecnología del concreto y del mortero.* Bogotá : Bhandar Ed., 2001.
21. **FLORES, J.** *Caracterización del concreto permeable, usando el módulo de ruptura y el porcentaje de desgaste.* Morelia : Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2010.
22. **BEDOYA MONTOYA, Carlos y MEDINA RESTREPO, Carlos.** *El concreto elaborado con aguas de lluvia como aporte ambiental desde la construcción.* 2015
23. **BERNAOLA CHUQUILLANQUI, Roberto José.** *Evaluación y determinación del índice de condición del pavimento rígido en la Av. Huancavelica, distrito Chilca, Huancayo.* (Tesis de pregrado) Universidad Nacional del Centro del Perú. 2014.

24. **AMERICAN ASSOCIATION OF STATE AND TRANSPORTATION HIGHWAY OFFICIAL.** *Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimentos.* 1993.
25. **INTERPAVE.** *The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and Other Industries.* 2008
26. **TRUJILLO, Alejandra y QUIROZ, Diana.** *Pavimentos porosos utilizados como sistemas alternativos al drenaje urbano.* 2013
27. **NATIONAL READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION.** *Pervious Concrete Contractor Certification.* Canadá : NRMCA, 2011.
28. **SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN.** *Norma CE.010 Pavimentos Urbanos.* Lima : Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010.
29. **MOUJIR, Yalil y CASTAÑEDA, Luis.** *Diseño y aplicación de concreto poroso para pavimentos.* Cali : Pontificia Universidad Javeriana, 2014.
30. **ARROYO, Jacinto.** *¿Cómo ejecutar un plan de investigación?* Huancayo : Fundación para el desarrollo y aplicación de las ciencias, 2012.
31. **CASTRO, Javier; DE SOLMINIHAC, Hernán; VIDELA, Carlos; FERNÁNDEZ, Bonifacio.** *Estudio de dosificaciones en laboratorio para pavimentos porosos de hormigón.* Purdue University. EE. UU. 2009.

ANEXOS

Anexo 1
Matriz de consistencia

Título de la Tesis: “**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**”

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>Problema general</p> <p>¿De qué manera la aplicación de pavimentos de concreto poroso influye en el control de la acumulación de precipitaciones pluviales en las calles de la provincia de Huancayo en el 2017?</p> <p>Problemas específicos</p> <p>¿Cuál es el porcentaje de porosidad óptimo para reducir la escorrentía pluvial en las calles de la provincia de Huancayo en el 2017?</p> <p>¿Cuál es el contenido óptimo del concreto poroso para una infiltración adecuada en las calles de la provincia de Huancayo en el 2017?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar la influencia de la aplicación de pavimentos de concreto poroso en el control de la acumulación de precipitaciones pluviales en las calles de la provincia de Huancayo en el 2017.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>Estimar el porcentaje de porosidad óptimo para reducir la escorrentía pluvial en las calles de la provincia de Huancayo en el 2017.</p> <p>Determinar el contenido óptimo del concreto poroso para una infiltración adecuada en las calles de la provincia de Huancayo en el 2017.</p>	<p>Hipótesis de investigación:</p> <p>H1: la aplicación de pavimentos de concreto poroso influye significativamente en el control de la acumulación de precipitaciones pluviales en las calles de la provincia de Huancayo en el 2017.</p> <p>Hipótesis nula:</p> <p>H0: la aplicación de pavimentos de concreto poroso no influye significativamente en el control de la acumulación de precipitaciones pluviales en las calles de la provincia de Huancayo en el 2017.</p> <p>Hipótesis alternativa:</p> <p>Ha: la aplicación de pavimentos de concreto poroso influye moderadamente en el control de la acumulación de precipitaciones pluviales en las calles de la provincia de Huancayo en el 2017.</p>	<p>Variable dependiente:</p> <p>Pavimento de concreto poroso</p> <p>Variable independiente:</p> <p>Control de la acumulación de las precipitaciones pluviales</p>	<p>Método general: Deductivo.</p> <p>Método específico: Observacional de corte preexperimental</p> <p>Tipo de investigación: Básico</p> <p>Nivel de investigación: Correlacional-descriptivo</p> <p>Diseño de investigación: Experimental prospectivo longitudinal</p> <p>Población: 7 ensayos en laboratorio</p> <p>Muestra: 3 ensayos</p>

Anexo 2

Panel fotográfico de los ensayos realizados respecto de la elaboración del concreto poroso.



Fotografía de la elaboración del encofrado del concreto poroso



Preservación/Conservación de las muestras



Obtención de las muestras de concreto poroso



Diseño de las briquetas correspondientes al ensayo

Anexo 3

Coeficientes de escorrentía para ser utilizados en el Método Racional

CARACTERISTICAS DE LA SUPERFICIE	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)						
	2	5	10	25	50	100	500
AREAS URBANAS							
Asfalto	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto / Techos	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc)							
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
Plano 0 - 2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio 2 - 7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente Superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición promedio (cubierta de pasto menor del 50% al 75% del área)							
Plano 0 - 2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio 2 - 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente Superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)							
Plano 0 - 2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio 2 - 7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente Superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
AREAS NO DESARROLLADAS							

Anexo 4

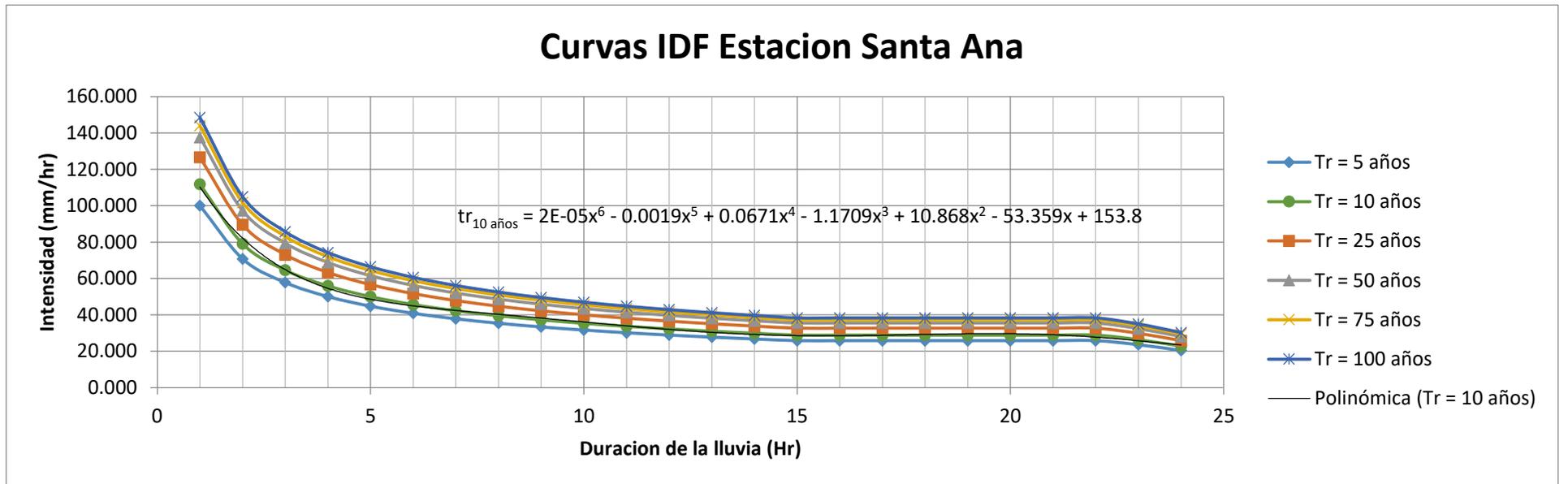
Valores del coeficiente de rugosidad de Manning.

Cunetas de las Calles	Coeficiente de Rugosidad
	<i>N</i>
a. Cuneta de Concreto con acabado paletado	0,012
b. Pavimento Asfáltico	
1) Textura Lisa	0,013
2) Textura Rugosa	0,016
c. Cuneta de concreto con Pavimento Asfáltico	
1) Liso	0,013
2) Rugoso	0,015
d. Pavimento de Concreto	
1) Acabado con llano de Madera	0,014
2) Acabado escobillado	0,016
e. Ladrillo	0,016
f. Para cunetas con pendiente pequeña,	
donde el sedimento puede acumularse, se incrementarán los valores arriba indicados de <i>n</i> , en:	0,002

Anexo 5

Tabla y gráfica de IDF (intensidad, duración y frecuencia de precipitaciones).

TR (años)	Duración de la lluvia, en horas																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
5	100.108	70.787	57.797	50.054	44.770	40.869	37.837	35.394	33.369	31.657	30.184	28.899	27.765	26.755	25.848	25.848	25.848	25.848	25.848	25.848	25.848	25.848	23.596	20.434
10	111.825	79.072	64.562	55.913	50.010	45.652	42.266	39.536	37.275	35.362	33.717	32.281	31.015	29.887	28.873	28.873	28.873	28.873	28.873	28.873	28.873	28.873	26.357	22.826
25	126.630	89.541	73.110	63.315	56.630	51.696	47.861	44.770	42.210	40.044	38.180	36.555	35.121	33.843	32.696	32.696	32.696	32.696	32.696	32.696	32.696	32.696	29.847	25.848
50	137.612	97.307	79.451	68.806	61.542	56.180	52.013	48.653	45.871	43.517	41.492	39.725	38.167	36.778	35.531	35.531	35.531	35.531	35.531	35.531	35.531	35.531	32.436	28.090
75	143.996	101.821	83.136	71.998	64.397	58.786	54.425	50.910	47.999	45.536	43.416	41.568	39.937	38.485	37.180	37.180	37.180	37.180	37.180	37.180	37.180	37.180	33.940	29.393
100	148.514	105.015	85.745	74.257	66.418	60.631	56.133	52.508	49.505	46.964	44.779	42.872	41.190	39.692	38.346	38.346	38.346	38.346	38.346	38.346	38.346	38.346	35.005	30.315



Anexo 6

Plano de ubicación y localización de área de aplicación

Anexo 7

Plano de calles proyectadas para aplicación de investigación

Anexo 8
Plano de desembocadura del drenaje pluvial y detalles