

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**ANÁLISIS DEL ESPESOR TOTAL DEL PAQUETE
ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS PERMEABLES EXPUESTOS
A TRÁFICO MEDIO Y A INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN
MENOR A 100 MM/H, EN MOLINOPAMPA-AMAZONAS Y EN
TEMUCO-REGIÓN DE LA ARAUCANÍA.**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR:

Bach. CRUZ BALABARCA, RENZO

Bach. RODRIGUEZ SALAZAR, MIGUEL ANGEL

Asesor: M. Sc. Ing. HUAMÁN GUERRERO, NÉSTOR W.

LIMA – PERÚ

2020

DEDICATORIA

A mis padres, María Isabel y Lizandro, por el incondicional apoyo, a mi familia en general por darme la motivación y apoyo en todo este proceso y a mi abuelo Marcelo Balabarca, que en paz descanse.

Renzo Cruz Balabarca

A mis padres, Manuel Rodríguez y Maggie Salazar, a mi familia en general y, por último, a mis amistades por el apoyo incondicional. He aquí mi mejor logro y regalo para mis padres.

Miguel Angel Rodriguez Salazar

AGRADECIMIENTO

Nuestro sincero agradecimiento a nuestra alma mater, por darnos la oportunidad de desarrollarnos profesionalmente.

Al M. Sc. Ing. Néstor Huamán por el constante asesoramiento y amplio conocimiento brindado; y a todas las personas que influyeron en el desarrollo de la tesis, entre ellos familiares y compañeros.

Renzo Cruz y Miguel Angel Rodriguez

ÍNDICE

RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Descripción y Formulación del Problema General y Específico	3
1.1.1 Problema general	4
1.1.2 Problemas específicos.....	4
1.2 Objetivo General y Específico	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.1 Objetivos específicos	5
1.3 Limitaciones	5
1.4 Justificación e importancia	6
2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Antecedentes del Estudio de Investigación.....	7
2.1.1 Ámbito internacional	7
2.1.2 Ámbito nacional.....	8
2.2 Bases Teóricas Vinculadas a las Variables de Estudio	10
2.2.1 Sistemas urbanos de drenaje sostenible.....	10
2.3 Estructura Teórica y Científica que Sustenta el Estudio.....	11
2.3.1 Pavimentos permeables	11
2.3.1.1 Superficie permeable	12
2.3.1.2 Capas inferiores	12
2.3.2 Clasificación	14
2.3.2.1 Pavimentos permeables discontinuos	14
2.3.2.2 Pavimentos permeables continuos.....	16
2.3.3 Ventajas	17
2.3.3.1 Ventajas de carácter técnico	17
2.3.3.2 Ventajas de carácter social	18
2.3.3.3 Ventajas de carácter ambiental	19
2.3.3.4 Ventajas de carácter económico	20

2.3.4	Inconvenientes	20
2.3.3.1	Inconvenientes de carácter técnico	21
2.3.3.2	Inconvenientes de carácter social	21
2.3.3.3	Inconvenientes de carácter ambiental	21
2.3.3.4	Inconvenientes de carácter económico	22
2.3.5	Sistema de infiltración	22
2.3.5.1	Infiltración total	22
2.3.5.2	Infiltración parcial	23
2.3.5.3	Sin infiltración	24
2.3.6	Diseño	24
2.3.6.1	Diseño hidrológico e hidráulico	25
2.3.6.2	Diseño estructural	42
2.3.6.3	Diseño de mezcla asfáltica drenante	56
2.4	Definición de términos básicos	60
3.	CAPITULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	62
3.1	Hipótesis	62
3.1.1	Hipótesis general	62
3.1.2	Hipótesis específicas	62
3.2	Variable	62
3.2.1	Definición conceptual de las variables	62
3.2.2	Operacionalización de las variables	63
4.	CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION	64
4.1	Enfoque	64
4.2	Tipo y nivel	64
4.2.1	Tipo	64
4.2.2	Nivel	64
4.3	Diseño de la investigación	65
4.4	Población y muestra del estudio	65
4.4.1	Población de estudio	65
4.4.2	Diseño muestral	65
4.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	66
4.5.1	Tipos de técnicas e instrumentos	66

4.5.2	Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos.....	66
4.5.3	Procedimiento de la recolección de datos.....	66
4.6	Técnicas para el procesamiento y el análisis de datos	66
5.	CAPÍTULO V: CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS PERMEABLES	67
5.1	Consideraciones a tener en cuenta	67
5.2	Proceso constructivo	67
5.2	Mantenimiento	71
6.	CAPÍTULO VI: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	73
6.1	Resultados del estudio hidrológico	73
6.1.1	Estudio hidrológico (Jr. Corpus Cristi - Molinopampa).....	73
6.1.1.1	Distribuciones en el software HidroEsta	74
6.1.1.2	Aplicación del modelo Frederich Bell.....	75
6.1.1.3	Aplicación del modelo del Soil Conservation Service (SCS)	77
6.1.1.4	Coeficientes de escorrentía.....	78
6.1.1.5	Cálculo de Infiltración	78
6.1.2	Estudio hidrológico (Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco).....	80
6.2	Resultados del Diseño Hidráulico	83
6.2.1	Diseño hidráulico (Jr. Corpus Cristi - Molinopampa)	83
6.2.2	Diseño hidráulico (Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco).....	86
6.3	Resultados del Diseño Estructural.....	88
6.3.1	Diseño estructural (Jr. Corpus Cristi - Molinopampa)	88
6.3.2	Diseño estructural (Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco)	89
6.4	Resultados del Diseño de Mezcla Asfáltica Drenante	92
6.4.1	Diseño Método Cantabro.....	92
6.4.2	Ensayos realizados.....	93
6.4.2.1	Porcentaje de vacíos	93
6.4.2.2	Pérdida por desgaste	94
6.4.2.3	Pérdida por desgaste tras inmersión	94
6.4.2.4	Capacidad de infiltración (ICP).....	95
6.5	Análisis de los Resultados de la Investigación.....	95

6.5.1	Análisis de los resultados de caracterización hidrológica	95
6.5.4.1	Análisis de los resultados de la caracterización hidrológica (Jr. Corpus Cristi - Molinopampa)	95
6.5.4.2	Análisis de los resultados de la caracterización Hidrológica (Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco)	96
6.5.2	Análisis de los resultados del diseño hidráulico	97
6.5.2.1	Análisis de los resultados del diseño hidráulico (Jr. Corpus Cristi - Molinopampa)	97
6.5.2.2	Análisis de los resultados del diseño hidráulico (Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco,)	98
6.5.3	Análisis de los resultados del diseño Estructural.....	100
6.5.3.1	Análisis de los resultados del diseño estructural (Jr. Corpus Cristi - Molinopampa)	100
6.5.3.2	Análisis de los resultados del diseño estructural (Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco)	100
6.5.4	Análisis de los resultados del diseño de la mezcla asfáltica drenante	101
6.5.4.1	Análisis del ensayo de porcentaje de vacíos.....	101
6.5.4.2	Análisis del ensayo de Pérdida por Desgaste	102
6.5.4.3	Análisis del ensayo de pérdida por desgaste tras inmersión.....	102
6.5.4.4	Análisis del ensayo de infiltración.....	103
6.6	Contrastación de Hipótesis.....	104
6.6.1	Contrastación de hipótesis general	104
6.6.2	Contrastación de hipótesis específicas.....	104
CONCLUSIONES		106
RECOMENDACIONES.....		108
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		109
ANEXOS		114
	Anexo 1: Matriz de Consistencia.....	115
	Anexo 2: Cronograma de Tesis	118
	Anexo 3: Presupuesto	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Sección de Firme Permeable	12
Figura N° 2: Césped con refuerzos de hormigón	14
Figura N° 3: Césped con refuerzos de plástico	15
Figura N° 4: Adoquines de bloques con ranuras libres	16
Figura N° 5: Mezcla Asfáltica Porosa	16
Figura N° 6: Losa de Concreto Hidráulico Poroso	17
Figura N° 7: Sistema de Infiltración Total	23
Figura N° 8: Sistema de Infiltración Parcial	23
Figura N° 9: Sistema sin Infiltración	24
Figura N° 10: Coeficientes de Escorrentía	28
Figura N° 11: Diagrama para obtener el Coeficiente de Seguridad	36
Figura N° 12: Infiltrómetro Cantabro Portátil (ICP)	59
Figura N° 13: Tubería perforada para funcionar como dren	70
Figura N° 14: Distribución Log Gumbel en el software HidroEsta	74
Figura N° 15: Vista en planta de la zona a implementar el pavimento permeable	82
Figura N° 16: Espesores de capas de un pavimento permeable con tipo de carga 4	89
Figura N° 17: Curvas IDF Modelo Frederick Bell vs Soil Conservation Service	96
Figura N° 18: Curvas IDF en el Condominio Ercilla	96
Figura N° 19: Gráfico de Intervalos de Duración en minutos vs V(afl) y V(inf)	99
Figura N° 20: Pavimento permeable de categoría 4 con infiltración total	101
Figura N° 21: Curva % Vacíos vs % Asfalto	101
Figura N° 22: Curva % Pérdidas vs % Asfalto	102
Figura N° 23: Curva % Pérdidas tras inmersión vs % Asfalto	102
Figura N° 24: Alturas de agua en la cámara para cada superficie permeable	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Capas inferiores de un pavimento permeable.....	12
Tabla N° 2: Clasificación Propuesta de Pavimentos Permeables	14
Tabla N° 3: Espesores mínimos de un pavimento permeable.....	32
Tabla N° 4: Características Estructurales de las capas del pavimento.....	33
Tabla N° 5: Composición de subbases tratadas - PCA de EE.UU.....	34
Tabla N° 6: Composición de subbases no tratadas - PCA de EE.UU.....	35
Tabla N° 7: Diámetro y superficie filtrante.....	40
Tabla N° 8: Selección del tipo de sistema según características de la subrasante.	47
Tabla N° 9: Datos de permeabilidad y capacidad portante del suelo.....	48
Tabla N° 10: Ajuste de CBR de la subrasante.	49
Tabla N° 11: Distribución de agregados de capa de transición	50
Tabla N° 12: Distribución de agregados de agregado grueso clasificado.....	51
Tabla N° 13: Categoría de cargas.....	53
Tabla N° 14: Faja de trabajo de las mezclas abiertas.....	56
Tabla N° 15: Tolerancia del agregado pasante	56
Tabla N° 16: Operacionalización de Variables	63
Tabla N° 17: Precipitaciones máximas en 24 horas (mm).....	73
Tabla N° 18: Precipitaciones máximas probables.....	75
Tabla N° 19: Valores de precipitación en mm, para diversos TR y Dt=t	76
Tabla N° 20: Intensidades de precipitación en mm/h, para diversos TR y Dt=t.....	76
Tabla N° 21: Valores de precipitaciones máximas.	77
Tabla N° 22: Intensidades de precipitación en mm/h; para diversos TR y Dt=t.....	77
Tabla N° 23: Cálculo de coeficiente de escorrentía ponderado	78
Tabla N° 24: Resultados del ensayo de infiltración en el Jr. Corpus Cristi	79
Tabla N° 25: Coeficientes de duración para precipitaciones inferiores a una hora	81
Tabla N° 26: Coeficientes de duración en Temuco, precipitaciones con Tr=10años	81
Tabla N° 27: Resultados de los volúmenes de infiltración y almacenamiento	81
Tabla N° 28: Resultados del coeficiente de escorrentía.....	82
Tabla N° 29: Respuesta del sistema ante la tormenta de diseño con T=10 años	87
Tabla N° 30: Cálculo de la distancia máxima entre separadores	88
Tabla N° 31: Clasificación de tráfico según nivel de solicitudes.....	90

Tabla N° 32: Espesor de la base y sub-base para el diseño con adoquín - Zona I: IIIB .	90
Tabla N° 33: Especificaciones y criterios para la colocación de adoquines	91
Tabla N° 34: Banda granulométrica para el material de la cama de arena	92
Tabla N° 35: Curva granulométrica Normativa Española	92
Tabla N° 36: Curva Granulométrica de los agregados de la mezcla.....	93
Tabla N° 37: Resultados obtenidos en Ensayo de Porcentaje de Vacíos	94
Tabla N° 38: Resultados obtenidos en Ensayo de Pérdida por Desgaste.....	94
Tabla N° 39: Resultados obtenidos en Ensayo de Pérdida por Desgaste.....	94
Tabla N° 40: Intensidades de Precipitación para las 2 mezclas asfálticas drenantes.....	95
Tabla N° 41: Resultados de volúmenes afluente, infiltrados y de almacenamiento	98
Tabla N° 42: Resultados de volúmenes afluente, infiltrados y de almacenamiento	100

RESUMEN

La presente investigación, tiene como finalidad el análisis del espesor total del paquete estructural de pavimentos permeables expuestos a tráfico medio y a intensidad de precipitación menor a 100 mm/h, utilizados como alternativa de solución al drenaje y control de aguas pluviales, en las zonas de Molinopampa-Amazonas y en Temuco-Región de La Araucanía. Evaluando las características específicas del lugar a implementarse y considerando los beneficios e inconvenientes que estos podrían conllevar. Por lo cual se desarrolló y analizó, en base a investigaciones realizadas con anterioridad a nivel nacional e internacional, el estudio hidrológico, diseño hidráulico y diseño estructural de este tipo de pavimento, con el objetivo de obtener el espesor total adecuado, que garantice la resistencia estructural necesaria para soportar un tráfico medio y pueda drenar y almacenar un volumen de agua. Para ello, se trabajó en base al método establecido por MINVU-DICTUC (1996) para el diseño hidráulico, método INTERPAVE (2010) para el diseño estructural y el método Cantabro para el diseño de la mezcla asfáltica drenante. Se obtuvieron los espesores para todas las capas de un pavimento permeable con un sistema sin infiltración a la subrasante. Resultando, 10cm para la carpeta asfáltica, 15cm para la base y 20cm para la sub-base, implementada con tuberías de drenaje longitudinal. De igual manera, se obtuvieron los espesores de las capas de un pavimento permeable con sistema de infiltración total, resultando 10 cm para la superficie permeable de adoquín de concreto hidráulico, 10 cm para la base y 10 cm para la sub-base.

Palabras Claves: Pavimento permeable, espesor total, intensidad de precipitación, tráfico medio, sistema de infiltración.

ABSTRACT

The purpose of this research is to analyze the total thickness of the structural package of permeable pavements exposed to average traffic and intensity of precipitation less than 100 mm / h, used as an alternative solution to the drainage and control of rainwater, in the areas of Molinopampa-Amazonas and in Temuco Region of La Araucanía. Evaluating the specific characteristics of the place to be implemented and considering the benefits and drawbacks that these could entail. For this reason, the hydrological study, hydraulic design and structural design of this type of pavement were developed and analyzed, based on research carried out previously at national and international level, in order to obtain the appropriate total thickness, which guarantees resistance. structural necessary to withstand average traffic and can drain and store a volume of water. To do this, we worked based on the method established by MINVU-DICTUC (1996) for hydraulic design, INTERPAVE method (2010) for structural design and Cantabro method for the design of the draining asphalt mix.

The thicknesses were obtained for all the layers of a permeable pavement with a system without infiltration to the subgrade. Resulting, 10cm for the asphalt layer, 15cm for the base and 20cm for the subbase, implemented with longitudinal drainage pipes. Similarly, the thicknesses of the layers of a permeable pavement with a total infiltration system were obtained, resulting in 10 cm for the permeable surface of hydraulic concrete paver, 10 cm for the base and 10 cm for the sub-base.

Keywords: Permeable pavement, total thickness, precipitation intensity, average traffic, infiltration system.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la urbanización conlleva a la implementación de vías que permitan realizar las diferentes actividades de la ciudad. Este desarrollo vial requiere muchas veces, en lugares que habían sido terrenos agrícolas, la implementación de pavimentos convencionales, capaces de resistir los esfuerzos de cargas de tránsito requeridos en su diseño, pero que generalmente requieren de la impermeabilización del suelo, alterando así la naturaleza del ciclo hidrológico del agua, disminuyendo el volumen de agua infiltrada al mismo y generando inundaciones en la superficie de rodadura lo cual da origen al hidropneumático (Perales y Andrés-Doménech, 2008).

A pesar de que se implementan sistemas de drenaje (canaletas, badenes, cunetas, alcantarillas), estos son propensos a fallar y no pueden proporcionar una solución final, debido a que el agua descargada del sistema de drenaje ocasiona problemas en las salidas de descarga natural (quebradas y ríos). Formando crecidas repentinas del nivel del agua, provocando que las zonas de descargas sean incapaces de drenar el agua dando origen a inundaciones en áreas circundantes y áreas bajas (Barahona, 2014).

Debido al impacto del cambio climático, la implementación de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), cada día cobran más importancia (Ferguson, 2005). Utilizados convencionalmente para minimizar los problemas de cantidad y de calidad de las escorrentías urbanas, ya que pueden resolver problemas de diseño, gestión y planificación del agua de lluvia, con igual énfasis en los estándares hidrológicos, ambientales y sociales. (García, 2011).

Dentro de los SUDS, los pavimentos permeables pertenecen a la categoría de sistemas de infiltración, Su principal finalidad es captar la escorrentía superficial desde el inicio, para que pueda ser retenida y penetrada en el suelo, pudiendo incorporar en su diseño ventajas, como el almacenamiento y reutilización de las aguas pluviales (Barahona, 2014).

Al observar estas patologías y al hecho de no contar actualmente con una normativa técnica respecto a los pavimentos permeables en Perú, se generó la necesidad de realizar

el estudio hidrológico y diseño hidráulico y estructural de pavimentos permeables expuestos a tráfico ligero y a una intensidad de precipitación menor a 100 mm/h, con el objetivo de obtener el espesor total del paquete estructural. Y de esta manera, brindar conocimiento y guías de diseño sobre este tipo de pavimentos para así promover su aplicación.

La presente investigación se desarrolla en seis capítulos, el capítulo I viene a ser el planteamiento del problema comenzando con la descripción de la realidad problemática, formulación del problema, los objetivos, las limitaciones y la importancia y justificación de la investigación; en el capítulo II veremos el marco teórico donde se encontrará los antecedentes de la investigación, bases teóricas y científicas que sustentan el estudio y la definición de términos básicos; En el capítulo III se muestra el sistema de hipótesis y variables; en el capítulo IV desarrollamos la metodología de la investigación, enfoque, tipo y nivel de investigación, diseño de investigación, población y muestra de estudio, técnicas e instrumentos de recolección de datos y técnicas para el procesamiento y análisis de datos; en el capítulo V se detalla la construcción de pavimentos permeables; finalmente en el capítulo VI se desarrolla la presentación y análisis de resultados obtenidos del estudio hidrológico, diseño hidráulico y estructural del pavimento permeable y del diseño de la mezcla asfáltica porosa. Culminando con la contrastación de hipótesis de la investigación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción y Formulación del Problema General y Específico

A lo largo de la historia, el Perú ha tenido muchas complicaciones para adaptarse a las nuevas tecnologías en el ámbito de la ingeniería específicamente en pavimentos. Por otro lado, Europa, por su gran dedicación a la investigación en ingeniería, innovan nuevas maneras y mejoras en los diseños, ejecuciones y gestiones de los pavimentos en diferentes situaciones, contemplando diferentes condiciones climatológicas, a diferencia de nuestro país, que siempre estudia, evalúa y diseña más casi nunca aplica estas nuevas tecnologías, que posiblemente puedan solucionar a los conocidos problemas de carretera, todo esto debido a que existe una rutina laboral, es decir siempre se hacen los proyectos de la misma manera a pesar de que existen estudios que proponen un diseño y que ya cuentan con un sustento y beneficios aprobados.

Es necesario comprender que, en nuestro país, es vital la aplicación de pavimentos permeables, específicamente porque somos un país que, en diferentes provincias a nivel nacional, tiende a tener altas precipitaciones, esto debido a su geografía y a la presencia de corrientes y fenómenos, por ejemplo, el fenómeno del Niño que produce altas precipitaciones en varias zonas del país, afectando así a las zonas urbanas. Por todo ello, las carreteras son ampliamente afectadas y muchas veces poco atendidas. Esto puede justificarse debido a que en el Perú no se cuenta todavía con una normativa sobre el diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos permeables. Si bien los pavimentos flexibles o rígidos son los que comúnmente se usan, existen otros pavimentos que se adecuan a las necesidades de las carreteras, especialmente para el drenaje de aguas pluviales que eviten empozamiento de agua, aniegos o accidentes de tránsito provocados por hidroplaneo.

Esta investigación se realiza con la necesidad de presentar una base de fundamentos teóricos, respecto a los pavimentos permeables, de múltiples investigaciones y estudios de corte nacional e internacional, en la que se realizará el análisis y diseño

de pavimentos permeables expuestos a tráfico medio y a una intensidad de precipitación menor a 100 mm/h. Para así, con los resultados obtenidos brindar conocimiento y tener alcance de la información con la finalidad de promover la aplicación de este tipo de pavimentos en nuestro país.

1.1.1 Problema general

¿Cuál es el espesor total del paquete estructural del pavimento permeable expuesto a tráfico medio y a intensidad de precipitación menor a 100 mm/h, implementado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa y en el Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco?

1.1.2 Problemas específicos

- a) ¿Cuáles son los métodos para el diseño de pavimentos permeables?
- b) ¿Cuál es el espesor de una superficie permeable expuesta a tráfico medio y a una intensidad de precipitación menor a 100 mm/h, implementado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa y en el Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco?
- c) ¿Cuál es el espesor de la base y sub-base de un pavimento permeable, expuesto a tráfico medio y a una intensidad de precipitación menor a 100 mm/h, implementado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa y en el Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco?

1.2 Objetivo General y Específico

1.2.1 Objetivo general

Calcular y analizar el espesor total del paquete estructural del pavimento permeable expuesto a tráfico medio y a intensidad de precipitación menor a 100 mm/h, implementado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa y en el Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco, en base a experiencias realizadas a nivel nacional e internacional.

1.2.1 Objetivos específicos

- a) Identificar las metodologías de diseño de pavimentos permeables.
- b) Calcular y analizar el diseño y espesor de la superficie permeable expuesto a tráfico medio y a intensidad de precipitación menor a 100 mm/h, implementado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa y en el Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco, en base a experiencias realizadas a nivel nacional e internacional.
- c) Calcular y analizar el diseño y espesor de la base y sub-base de un pavimento permeable, expuesto a tráfico medio y a intensidad de precipitación menor a 100 mm/h, implementado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa y en el Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco, en base a experiencias realizadas a nivel nacional e internacional.

1.3 Limitaciones

Este trabajo tiene por alcance revisar y analizar los fundamentos teóricos, diseños y ejecución de pavimentos permeables, de investigaciones realizadas de países como Colombia, Ecuador, Chile, Reino Unido y España. Por lo que se revisó 11 tesis a nivel nacional, 25 tesis a nivel internacional, 12 artículos de fuentes internacional y nacional, 5 manuales, 3 normas técnicas y 3 libros; Los cuales nos ayudaron en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Además, el trabajo presenta como alcance, debido al periodo que comprende la investigación, el análisis del diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos permeables con una superficie de mezcla asfáltica porosa y otra con adoquín de concreto hidráulico. La investigación no incluye la realización del análisis beneficio-costos de un pavimento permeable comparado con un pavimento convencional.

Con respecto al alcance geográfico que comprende la implementación de pavimentos permeables, esta se ve limitada. Analizando y desarrollando de esta manera, el diseño de pavimento permeable ubicado en el Jr. Corpus Cristi -

Molinopampa y otro diseño de pavimento permeable ubicado en el Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco.

Se vió necesario incluir este último diseño debido a que el diseño hidrológico MINVU-DICTUC (1996), es una metodología propuesta en ese país, Chile.

1.4 Justificación e importancia

La investigación nos permitirá recopilar información brindada de diferentes investigaciones, nacionales e internacionales para de esta manera obtener una amplia visión del tema, relacionado con el diseño, ejecución y mantenimiento de pavimentos permeables y de esta manera promover su aplicación en Perú. Se podrá observar las mejores condiciones climáticas y capacidad de carga que requiere el pavimento para su buen funcionamiento.

El proyecto se justifica debido a que el Perú tiene una gran diversidad hidrológica, presentando altas intensidades de precipitación en diferentes zonas del territorio peruano. Debido a esta situación climatológica habrá zonas en las cuales la aplicación de pavimentos permeables resultará muy beneficiosa para así no solo drenar el agua precipitada, sino además utilizarla para fines de agua no potable.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del Estudio de Investigación

2.1.1 Ámbito internacional

Trujillo & Quiroz (2013) describen en su tesis:

El cual tuvo como finalidad realizar un análisis y revisión de los pavimentos porosos y permeables empleados como sistemas alternativos al drenaje urbano, centrándose en métodos de diseño, construcción y mantenimiento. Y de ese modo, mediante un ejemplo de aplicación intentaron evidenciar si dichos métodos eran adecuados para su implementación en a la ciudad de Bogotá. Trabajaron con 7 métodos de diseño hidrológico, basados en aminorar los caudales máximos, con la finalidad de evitar o mitigar inundaciones. Dichos métodos permitieron la obtención de los espesores de pavimentos respectivos para cada método empleado, de los cuales cuatro se basan en curvas IDF (curva envolvente, metodología Chile, The SUDS manual y el método según las lluvias), dos en series de precipitación (método de volúmenes y el método según la calidad), y un solo método que pretende dimensionar la estructura en base de objetivos ambientales (método según la calidad). Cabe resaltar que no se encontró en este trabajo de investigación, métodos de diseño específicos para aprovechamiento de las precipitaciones. (p. 100)

López (2013) describe:

En su investigación realizó un análisis de los resultados obtenidos de ensayos tradicionales que permiten evaluar el comportamiento mecánico, hidráulico y respuesta dinámica, realizados en diferentes tipos de mezclas asfálticas con porcentajes de asfalto (3.5, 4, 4.5, 5, 5.5)%, con el propósito de determinar un diseño óptimo de una mezcla asfáltica drenante.

Se empleó los ensayos convencionales tales como: estabilidad, flujo o deformabilidad, tracción indirecta, cántabro, conductividad hidráulica,

escurrimiento y módulo dinámico. Llegando a la conclusión que el diseño óptimo de la mezcla asfáltica drenante es con un porcentaje de asfalto de 4% obteniendo un valor de permeabilidad cercano a 10^{-1} cm/s. (p. 4)

Castro (2011) en su trabajo de investigación:

Buscó unificar conocimientos acerca de los pavimentos permeables y adaptar el diseño de estos a las características de cualquier zona, teniendo en cuenta las ventajas y desventajas que estos podrían conllevar. Diseñando de esta manera un pavimento permeable en la ciudad de Bogotá, en una de las zonas con alto riesgo de inundación, mostrando la posibilidad de implementar o no el sistema. Obteniendo buenos resultados pese a que el terreno de la zona no permitió la percolación (no recarga de acuíferos), llegando a la conclusión de que la implementación de pavimentos permeables son una buena alternativa para mejorar el control y drenaje de las aguas pluviales en las zonas aledañas al río Bogotá.

2.1.2 Ámbito nacional

Vela & Cruz (2019) en su investigación:

Trataron de encontrar una alternativa eficiente de solución de drenaje que ayude al control de las aguas pluviales. Para ello se propuso el concreto permeable como pavimento alternativo de las calles no pavimentadas de la localidad de Molinopampa; con la finalidad de que el pavimento sea capaz de drenar un volumen de agua y proporcionar resistencia estructural adecuada para resistir un cierto nivel de tráfico, para ello se caracterizó hidrológicamente la zona del proyecto, de esta base de datos se estudió las máximas precipitaciones registradas, estableciendo requisitos de permeabilidad y un nivel de tránsito menor a 5 millones de ejes equivalentes. Para el diseño se combinaron dos aspectos, un aspecto estructural aplicando el método INTERPAVE, 2010, donde se obtuvo un espesor total del pavimento de 50cm; y un aspecto hidráulico aplicando

el método establecido por MINVU-DICTUC, 1996, con lo que se calculó un espesor de subbase de 20 cm tomando en cuenta la magnitud de volumen de agua de lluvia que debe almacenar; por otro lado el suelo sobre el cual se desarrolló la investigación se identificó como arcilla arenosa, con un índice de infiltración nula por lo que se procedió a implementar un drenaje longitudinal ejecutadas mediante tuberías perforadas de 150 mm de diámetro, ubicados al nivel de la subbase. (p. xviii)

Rondoy (2019) en su investigación realizada:

Busca dar una solución mediante el diseño de un pavimento permeable con la finalidad de reducir las inundaciones y mejorar transitabilidad peatonal como vehicular.

El desarrollo de la presente investigación está dividido en dos variables. La primera variable toma en cuenta las consideraciones necesarias para un diseño de pavimento permeable tal como el estudio tráfico obteniendo un ESAL de 2.35×10^5 EE y el estudio de mecánica de suelos obteniendo un CBR de 20.9%. Este diseño se rige mediante la metodología AASHTO 93 y la metodología CHILE, con lo cual se determinó los espesores del pavimento obteniendo una losa de concreto de 15 cm y una base de 35 cm. La segunda variable es el drenaje pluvial que está regido bajo el RNE (Reglamento Nacional de Edificaciones) mediante la norma OS. 060 (Drenaje Pluvial Urbano), obteniendo una tubería de 0.70 m de diámetro. Así mismo, se determinó las pendientes mediante el estudio topográfico para drenar el caudal proveniente de las aguas pluviales y por último la identificación de la fuente receptora de las aguas pluviales lo cual fue determinada mediante análisis documental de estudios realizados por la Municipalidad de Piura de reconocimiento de zona.

Esquerre & Silva (2019) describen:

En su trabajo de investigación el cual tiene como finalidad elaborar una propuesta de concreto drenante para ser aplicado como alternativa de solución de pavimento rígido, diseñaron once mezclas de concreto

drenante, escogiendo así la mezcla más óptima. Este diseño manifiesta una resistencia a la compresión de 280 kg/cm^2 y un módulo de rotura de 42 kg/cm^2 , además de poseer una capacidad de filtración de hasta $60 \text{ L/m}^2/\text{min}$. Para verificar estas tres características principales del concreto drenante, se extrajo testigos a un prototipo construido en laboratorio. Permitiendo que el concreto drenante se desempeñe sin ningún inconveniente como pavimento rígido en una vía urbana de tránsito moderado en el norte del Perú. (p. III)

2.2 Bases Teóricas Vinculadas a las Variables de Estudio

2.2.1 Sistemas urbanos de drenaje sostenible

Fundación Conama (2018) define:

Los SUDS es decir, los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible son procedimientos de gestión de aguas de las lluvias que intentan reproducir procesos hidrológicos previos al desarrollo urbanístico tales como infiltración, almacenamiento, etc. Se desarrollan de tal manera que combinan el control de las escorrentías con el paisaje urbanístico.

Los SUDS son parte de las infraestructuras urbanas y pueden ser a su vez compatibles con sistemas que permiten una adecuada gestión de las aguas pluviales y permite disminuir las escorrentías, ya que estas terminan en tanques de tormenta y asimismo disminuye el arrastre de materiales sólidos. Las SUDS presentan tres impactos básicos con referencias a la sostenibilidad. En primer lugar, la economía, porque existe mayor control y gestión de las corrientes de agua y esta podría reutilizarse en otros medios; seguido de medio ambiente, se hace frente a la contaminación difusa y por último la sociedad, ya que se presentan paisajes urbanos sostenibles. Por ello, las SUDS, es un ejemplo de buena práctica sobre gestión y uso de aguas pluviales. (p. 7)

Rodríguez (2008) sostiene que:

El drenaje sostenible (drenaje urbano sostenible), es una técnica que soluciona problemas que se relacionan con el agua de las lluvias de las urbes. Sin embargo, eso no impide que también puede aplicarse a

ámbitos como las carreteras o las pistas de aterrizaje de los aeropuertos o cualquier otra área que necesite un sistema de drenaje. (p. 11).

Un ejemplo de estos son los pavimentos permeables.

2.3 Estructura Teórica y Científica que Sustenta el Estudio

2.3.1 Pavimentos permeables

Rodríguez (2008) define que los pavimentos permeables son secciones que se componen de múltiples capas de agregados de construcción que a su vez posibilitan el paso del agua a través suyo, desde la superficie con dirección a la explanada y en conjunto brindan la capacidad adecuada para sostener un tráfico determinado. (p. 34)

García (2011) considera a los pavimentos permeables como una técnica de drenaje urbano sostenible, que promueve la captación y la infiltración de aguas que provienen de las lluvias. Este tipo de pavimentos, son una alternativa con respecto a los pavimentos impermeables tradicionales. (p. 74)

(González, 2016) menciona que:

Las distintas maneras de gestión del agua son drenaje subsuperficial o diferido, almacenamiento en sub-base e infiltración.

Para conseguir el almacenamiento en la sub-base el agua penetra la capa de rodadura, la intermedia y la base.

La infiltración consiste en la penetración de todas las capas del firme hasta llegar a la explanada y seguir su curso hasta una posible recarga de acuíferos o su dispersión en el terreno natural.

Para que un firme sea considerado permeable, han de serlo todas las capas que lo forman, y además deben presentar una permeabilidad creciente con la profundidad para evitar el riesgo de colapso funcional. (p. 9)

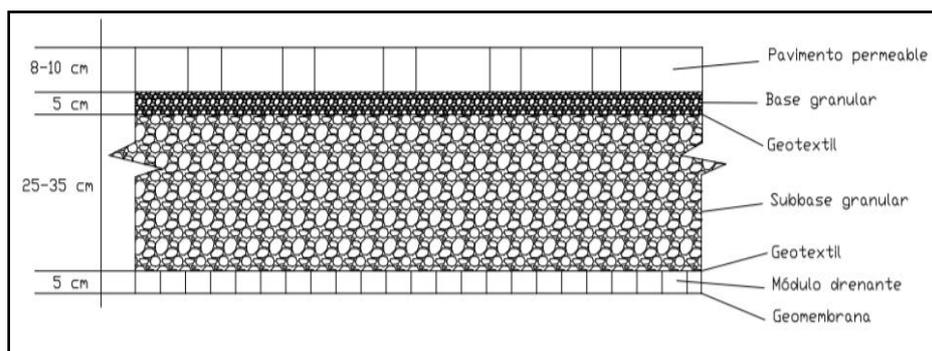


Figura N° 1: Sección de Firme Permeable
Fuente: Rodríguez (2008)

2.3.1.1 Superficie permeable

García (2011) expone que los suelos permeables se presentan de diferentes formas, que permiten que el agua de las lluvias se pueda filtrar y a su vez pueden actuar como un soporte estructural. Se deben contemplar las siguientes capas: Césped, adoquines con ranura, bloque poroso, mezcla y hormigón poroso.

2.3.1.2 Capas inferiores

García (2011) Para integrar la estructura de un pavimento permeable define el siguiente conjunto de capas, mostrado en la Tabla 1, tomando como referencia la naturaleza de los materiales de estas catalogadas por el doctor Rodríguez Hernández, Jorge

Tabla N° 1: Capas inferiores de un pavimento permeable

CAPA	MATERIAL
Base	Granular
Sub-base	Granular/ Estructuras de plástico/ Geosintéticos
Geotextil	Geosintéticos

Fuente: GCPSP (2005)

La sub-base es una capa de material granular que se encarga de almacenar y retener el volumen de escorrentía, en sus vacíos debido al alto porcentaje que presenta. Para que de esta manera pueda infiltrarse en el terreno natural o en los laterales del pavimento. De la misma forma que ocurre en la base, también

ayuda a mejorar la calidad del drenaje a través del proceso de filtración y la alta actividad biológica que se produce en su interior (GCPSP, 2005). “Además ofrece soporte estructural, necesario para soportar las cargas de tráfico” (García, 2011, p. 79).

Rodríguez (2008) Es posible implementar en el sistema geosintéticos del tipo geomallas de refuerzo y/o geomembranas impermeables. Las geomallas se colocan embebidas en la sub-base con el fin de impedir el paso de finos mejorando así las características resistentes del sistema. Las geomembranas impermeables se colocan en situaciones donde no es factible la infiltración al terreno o se quiera aprovechar el agua para algún uso no potable. Se colocan entre la sub-base y el terreno natural para evitar el paso del agua creando un volumen estanco, permitiendo el almacenamiento del agua infiltrada.

En cuanto a los geotextiles, Rodríguez indica que, cumplen un rol muy importante en el funcionamiento del sistema. En la sección de un pavimento permeable, generalmente se coloca entre la superficie permeable y la capa base, y entre la capa subbase y el terreno natural. Las funciones principales de un geotextil son de filtro y separación, sin embargo, aquellos colocados sobre la sub-base, otorgan además refuerzo estructural al sistema frente a las tensiones horizontales producidas por el tráfico de vehículos. Dadas las propiedades de este geosintético, Es el principal responsable de depurar el agua, retener y biodegradar contaminantes como los hidrocarburos y el aceite. (p. 81)

Si el diseño no requiriese la instalación de geotextil se debe evitar el ingreso de finos de la capa de transición a la sub-base permeable, por lo que se debe cumplir la siguiente ecuación (Interpave, 2010):

$$\frac{\text{Tamaño de partícula que pasa 15\% en la sub - base}}{\text{Tamaño de partícula que pasa 85\% en la capa de trans}} \leq 5$$

2.3.2 Clasificación

El doctor Jorge Rodríguez Hernández clasifica a los pavimentos permeables en dos categorías:

Tabla N° 2: Clasificación Propuesta de Pavimentos Permeables

Según el pavimento permeable		Según el destino final del agua
Pavimento permeable discontinuo	Césped o grava con refuerzos	Infiltración
	Adoquines con ranura	
Pavimento permeable continuo	Mezcla asfáltica porosa	Almacenamiento
	Losa de concreto hidráulico poroso	Drenaje diferido

Fuente: Rodríguez (2008)

2.3.2.1 Pavimentos permeables discontinuos

2.3.2.1.1 Césped o grava de refuerzos

Rodríguez (2008) define esta superficie permeable es muy utilizada debido a su estética verde y consideraciones ecológicas. Sin embargo, en pocas aplicaciones realizadas en España, se puede considerar que el césped reforzado forma parte de un pavimento permeable pues, en la mayoría de los casos, el césped está mal conservado y la superficie se vuelve prácticamente impermeable.



Figura N° 2: Césped con refuerzos de hormigón
Fuente: Rodríguez (2008)

El material de refuerzo utilizado para permitir el tráfico ligero sobre el césped o grava puede ser hormigón o plástico. Los refuerzos de hormigón ofrecen una mayor resistencia a los esfuerzos tangenciales originados por el tráfico frenando, acelerando y maniobrando, mientras que los refuerzos de plástico permiten un mejor desarrollo de las raíces del césped que protegen. (p. 44)



Figura N° 3: Césped con refuerzos de plástico
Fuente: Rodríguez (2008)

2.3.2.1.2 Adoquines con ranuras

Rodríguez (2008) considera que los adoquines con ranuras son bloques prefabricados de concreto hidráulico diseñados o dispuestos de modo que la superficie final disponga de canales para la infiltración vertical del agua. Estos canales pueden rellenarse con material drenante o dejarse libres. Las juntas o espacios entre adoquines suelen ser más grande cuando van a rellenarse con material drenante, pudiendo utilizar separadores entre adoquines para facilitar su colocación. Por el contrario, cuando las juntas se dejan libres, el tamaño de las ranuras para la infiltración se minimiza (p. 46)



Figura N° 4: Adoquines de bloques con ranuras libres
Fuente: Rodríguez (2008)

2.3.2.2 Pavimentos permeables continuos

2.3.2.2.1 Mezclas asfálticas porosas

Superficie permeable debido al alto porcentaje de vacíos lo cual permite la infiltración del agua a la zona de almacenamiento, disminuyendo así la escorrentía superficial. Es muy usual colocar un geotextil entre la capa de rodadura y la capa de almacenamiento, el cual a su vez evita la colmatación del sistema (Ferguson, 2005). Para la mezcla de asfáltica porosa es adecuado que el porcentaje de vacíos resulte entre 16% y el 22% para permitir la infiltración y el flujo vertical (NAPA, 2003).



Figura N° 5: Mezcla Asfáltica Porosa
Fuente: Rodríguez (2008)

2.3.2.2.2 Losa de concreto hidráulico poroso

De La Cruz (2017) El concreto poroso o permeable es una mezcla de agregado grueso, cemento, agua y poca o ninguna arena. También

conocido como el hormigón “sin finos” poroso, esta mezcla crea una estructura de célula abierta, permitiendo al agua de lluvia filtrar al suelo subyacente. Simulando la superficie de tierra natural, el hormigón permeable es excelente para la evacuación de agua de lluvia. (p. 42)

“Destacan como características fundamentales de un pavimento de mezcla de concreto poroso” (Rodríguez , 2008, p. 49):

- La estructura porosa dependiente de la granulometría y de la dosificación.
- El conglomerante y el aditivo empleado.
- El espesor de la capa.



Figura N° 6: Losa de Concreto Hidráulico Poroso
Fuente: Rodríguez (2008)

2.3.3 Ventajas

Como se ha mencionado anteriormente, los pavimentos permeables pertenecen a los sistemas de drenaje urbano sostenible, ofreciendo muchas ventajas como tales.

De este modo se presentará la organización de las ventajas que se obtienen en la implementación de pavimentos permeables, clasificándolas en criterios de carácter técnico, social, ambiental y económico (García, 2011, p. 85).

2.3.3.1 Ventajas de carácter técnico

García (2011) precisa que la gestión y control de la cantidad de escorrentía a través de la infiltración, conlleva a una disminución del volumen de esta, o bien, en una reducción de los caudales a inyectar en la red de saneamiento. A menores caudales circulando por la red de drenaje, menor será la carga

hidráulica en el sistema en tiempo de lluvia y por lo cual se reducen los diámetros de las conducciones

Además, García menciona que, de realizarse un buen diseño, se tendrá una resistencia y una duración similar a un pavimento convencional. Además, su instalación no requiere de espacios amplios y la puesta en obra resulta sencilla. Recomendados para pendientes no muy elevadas, por lo que pueden implementarse en zonas urbanas consolidadas.

Según (Guerra, 2019), las ventajas técnicas que ofrecen son:

- Mayor dureza debida al poco contenido de agua.
- El pavimento es auto drenante y autoventilado por su material.
- Al ser una estructura con mayores porcentajes de vacíos al convencional no produce islas de calor como el concreto convencional y el asfalto.

Otra ventaja a tomar en cuenta, es que los pavimentos permeables se categorizan por ser una cadena de drenaje sostenible completa por sí mismos, debido a que permiten la infiltración, captación, transporte y almacenamiento, al controlar en origen la escorrentía superficial, laminando los flujos de aguas pluviales (Rodríguez, 2008, p. 32).

2.3.3.2 Ventajas de carácter social

Una ventaja de suma importancia es la reducción o eliminación del hidroplaneo. Generado por el desplazamiento de vehículos sobre una superficie cubierta de agua, provocando la pérdida de adherencia entre los neumáticos y la superficie de rodamiento, perdiendo de esta manera el control del automóvil. El rápido drenaje del agua de la superficie del pavimento a través de la mezcla drenante impide que se genere este fenómeno (Muñoz, 2001, citada por Rodríguez y Castillo, 2016).

Refiriéndonos de manera estética, en comparación con el drenaje convencional, los pavimentos permeables aportan una mejor apariencia y permiten el incremento de la vegetación. Además, permiten la reducción de

los niveles de ruido generados por el desplazamiento de vehículos. Mejorando de esta manera la comodidad de los ciudadanos y ser aceptados socialmente. (García, 2011, p. 87)

Según (Guerra, 2019), las ventajas sociales que ofrecen son:

- Reducen el ruido que producen los neumáticos de los vehículos ya que la superficie permeable absorbe la energía del sonido.
- Disminuye las filtraciones de agua en las áreas de estacionamiento y de tráfico ligero, evitando los charcos de la superficie.
- Presenta de forma estética una mejor presentación a comparación de otros sistemas de drenaje ya que permite el crecimiento de vegetación

2.3.3.3 Ventajas de carácter ambiental

Las principales ventajas de promover el uso de pavimentos permeables son: la posibilidad de recarga de acuíferos, y el almacenamiento y reutilización de las aguas pluviales para usos no potables. Estas ventajas son convenientes en zonas con recursos hídricos muy limitados (García, 2011, p. 87)

Según (Guerra, 2019), las ventajas ambientales que ofrecen son:

- Permite la reutilización de las aguas pluviales para usos no potables
- Permite que el suelo retenga la humedad durante más tiempo, favoreciendo así las regiones verdes a pesar de permitir la recuperación del nivel freático.
- Permite una utilización superior del agua, que comúnmente se contamina cuando se mezcla con el agua del drenaje sanitario, además evita el transporte de los residuos del agua, lo que conlleva el peligro de una la obstrucción de alcantarillado.
- El ciclo hidrológico e hidráulico de al agua no es interrumpido por la permeabilidad que tiene.
- Realiza un control del escurrimiento de las aguas pluviales.

2.3.3.4 Ventajas de carácter económico

Reducir el volumen de agua en la red de drenaje, conlleva a una disminución de los costos asociados a otros sistemas de tratamiento (por ejemplo, depuradoras). Por otro lado, la reutilización del agua de lluvia permite su revalorización. Además, en comparación con otras tecnologías de drenaje urbano sostenible, el costo de mantenimiento para su correcto funcionamiento es muy bajo. (García, 2011, p. 88)

Finalmente, se mencionan algunas ventajas específicas según la clasificación de pavimentos permeables (Rodríguez, 2008, p. 41):

Pavimentos permeables con superficies discontinuas:

- Excelente estética: probablemente las superficies permeables de adoquín de hormigón, sean los más versátiles y los que presentan un mejor acabado.
- Restitución sencilla: la naturaleza modular de este tipo de superficie facilita la sustitución de elementos dañados.

Pavimentos permeables con superficies continuas:

- Menor coste de ejecución por metro cuadrado: los materiales utilizados son de bajo costo.
- Puesta en obra rápida y cómoda para grandes superficies: la instalación de aglomerados porosos es continua, rápida y sencilla.

2.3.4 Inconvenientes

Los principales inconvenientes comunes en todos los pavimentos permeables son (Rodríguez, 2008, p. 42):

- Colmatación.
- Degradación.
- Desconocimiento y desconfianza.

(Ferguson, 2005, citada en Rodríguez, 2008, p. 42) resume las limitaciones de aplicación en las siguientes zonas no aptas para la construcción de firmes permeables:

- Áreas industriales contaminadas.
- Zonas con gran aporte de sedimentos.
- Carreteras con alta intensidad de tráfico pesado.

2.3.3.1 Inconvenientes de carácter técnico

Según García (2011) los inconvenientes principales de acuerdo con aspectos técnicos son: la colmatación (partículas unidos a los neumáticos de vehículos o sólidos que sean arrastrados por la esorrentía) y la degradación (por ciclos de hielo-deshielo). Además, la vegetación indeseada conocida como “malas hierbas” (p. 88).

La instalación de pavimentos permeables debes ser evitadas en zonas que cuenten con muchos sedimentos, pendientes pronunciadas, tráfico pesado y ciclos de hielo-deshielo.

Zonas con una gran cantidad de sedimentos y que presenten erosión reducen el aprovechamiento de los firmes, sobre todo, de no realizarse un adecuado e ineficiente mantenimiento.

2.3.3.2 Inconvenientes de carácter social

La escasa experiencia en la implementación de pavimentos permeables, respecto a las especificaciones técnicas y escasos tramos de prueba realizados generan desconfianza en los técnicos y limitación en la aplicación de estos sistemas.

2.3.3.3 Inconvenientes de carácter ambiental

Según García (2011) comenta que en el pavimento poroso puede filtrar contaminantes al no ser retenidos, absorbido o disminuidos, estos seguirán filtrando y contaminará aguas subterráneas. Por este motivo, este tipo de pavimentos no deben ser instalados en áreas industriales (p. 89).

En caso de almacenarse gran cantidad de escorrentía debido a una pobre infiltración al suelo, pueden llegar a originarse organismos los cuales pueden ser perjudiciales para el agua al momento de descargar en los medios receptores.

2.3.3.4 Inconvenientes de carácter económico

El principal problema es el elevado coste de instalación, y de mantenimiento de la permeabilidad en casos de condiciones adversas de aporte de sedimentos (García, 2011).

Los pavimentos permeables tienen un alto costo en su mantenimiento debido a sus poros, estos pueden verse tapados por material fino y al ocurrir esto la función del pavimento se ve afectado (Saucedo, 2012).

Rodríguez (2008), menciona que los pavimentos permeables discontinuos tienen desventajas tales como: mayor ejecución de construcción a causa de los materiales, el procedimiento constructivo es totalmente manual, suele ser incómodo al momento de caminar o que pasen ruedas pequeñas, esto es debido a las excesivas discontinuidades.

De igual manera, los pavimentos permeables continuos tienen desventajas tales como una estética limitada debido a que ofrecen un acabado continuo y por otro lado una difícil restitución que conste de fresado, limpieza y bacheado. (p. 43)

2.3.5 Sistema de infiltración

Interpave (2020) menciona 3 sistemas de infiltración de los pavimentos permeables, cada uno de estos sistemas posee características únicas para ser aplicados de acuerdo a las condiciones específicas de la zona.

2.3.5.1 Infiltración total

Apropiado para la subrasante que presente una elevada permeabilidad, ya que el agua se filtrará por todas las capas del pavimento incluyendo la subrasante.

Es en la subbase permeable donde el agua es retenida y almacenada temporalmente para posteriormente infiltrarse en la subrasante.

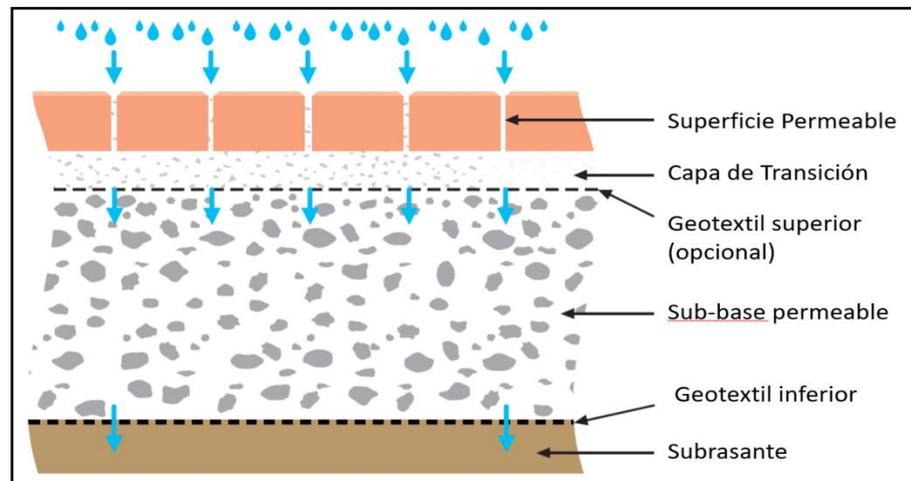


Figura N° 7: Sistema de Infiltración Total
Fuente: Adaptado de Interpave (2020)

2.3.5.2 Infiltración parcial

Es utilizado cuando la subrasante no es capaz de infiltrar todo el agua que le llega por lo que un porcentaje de esta debe ser drenada por unas tuberías de salida que se encuentran conectadas a la subbase permeable, los cuales conducirán el agua a otros dispositivos de drenaje, como cunetas o alcantarillas.

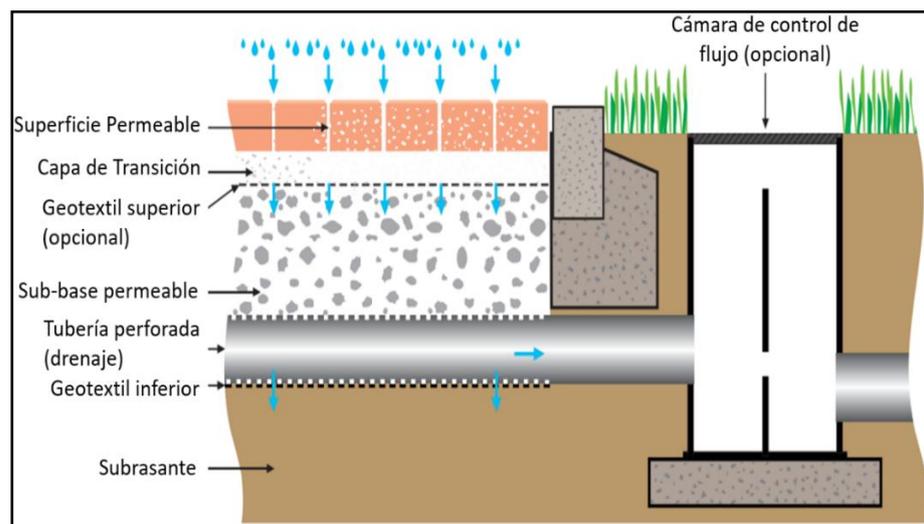


Figura N° 8: Sistema de Infiltración Parcial
Fuente: Adaptado de Interpave (2020)

2.3.5.3 Sin infiltración

Sistemas adecuados para cuando la permeabilidad de la subrasante es baja o se pretenda recolectar en su totalidad el agua infiltrada, para su reutilización o riego. Es por ello que será necesario la aplicación de una membrana impermeable y flexible, colocada en la parte superior de la subrasante y en los laterales de la subbase permeable. Sobre la membrana impermeable se colocan las tuberías de drenaje conectada a la subbase permeable, que derivarán el agua hacia otros dispositivos de drenaje como cunetas o alcantarillas.

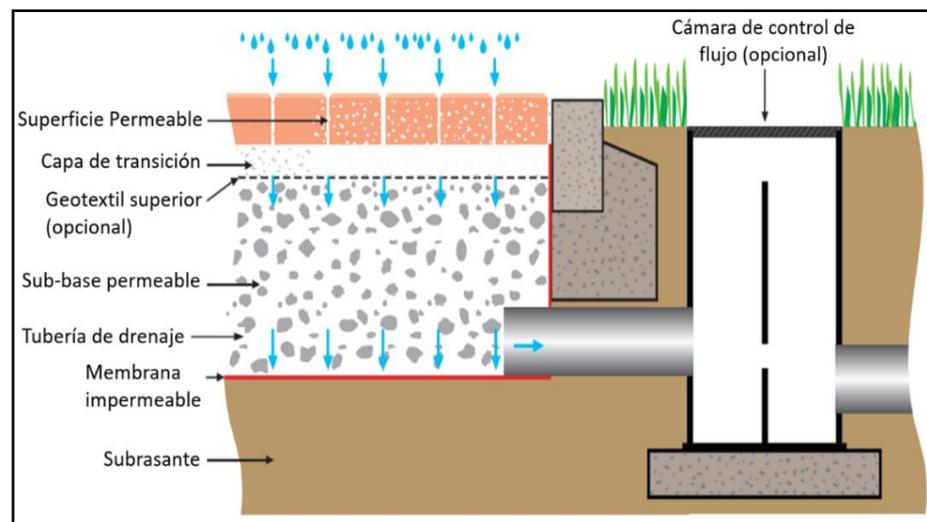


Figura N° 9: Sistema sin Infiltración
Fuente: Adaptado de Interpave (2020)

2.3.6 Diseño

Con respecto al diseño de la superficie de rodamiento, este puede involucrar el diseño de una losa de concreto hidráulico poroso o también de una carpeta de rodadura asfáltica porosa. Minvu-Dictuc, 1996 recomienda el uso de asfalto poroso dada la experiencia internacional en este tipo de material.

Según Tennis et al citado por Trujillo y Quiroz (2013) comenta que la diferencia de los pavimentos tradicionales donde el diseño depende solo de la resistencia a la carga aplicada, los pavimentos permeables tienen un factor agregado,

propiedades hidráulicas que analiza la permeabilidad y relación de vacíos. (Tennis et al., 2004, citado por Trujillo y Quiroz, 2013).

Por lo que es necesario llegar a un balance entra ambos aspectos, para una correcta elaboración de diseño.

Según (García, 2011) afirma que el diseño de cualquier pavimento permeable debe estar bajo las condiciones especiales, tales como eventos de precipitaciones, además del funcionamiento estructural. Es por eso que un diseño óptimo de un pavimento permeable debe dar soporte a dos criterios: función hidráulica e hidrológica y estructural. (p. 93)

Los criterios hidráulicos e hidrológicos son definidos como la capacidad de gestionar las escorrentias de una forma eficiente, es decir tienen como finalidad solucionar el exceso de precipitaciones.

Los criterios estructurales tienen como finalidad ofrecer la resistencia estructural para soportar la carga de tráfico de vehículos.

2.3.6.1 Diseño hidrológico e hidráulico

Para realizar el diseño hidrológico e hidráulico es necesario tener el cálculo de la lluvia y el volumen de agua afluente que reúne el pavimento. Para este diseño se debe tener en consideración la topografía y condiciones climatológicas. En las condiciones climatológicas obtenemos los datos de precipitaciones y así obtenemos la lluvia de cálculo. La topografía nos permite analizar las cuencas drenantes hacia el pavimento que caracteriza principalmente el área y grado de impermeabilidad el cual nos permite determinar el volumen de agua afluente a recogeré por el pavimento. (García, 2011, p. 94)

García menciona además que, la lluvia de cálculo puede obtenerse mediante la sintetización de una tormenta de diseño (a partir de precipitaciones máximas y curvas IDF), o bien, puede emplearse la serie histórica de eventos. La elección de la tormenta de diseño depende de la función del pavimento

permeable, y se caracteriza por su duración (igual al tiempo de concentración de la cuenca, o en su caso, 5 minutos), volumen de precipitación, intensidad y periodo de retorno (habitualmente entre 2 y 10 años).

Para diseñar hidrológica e hidráulicamente los pavimentos permeables, se debe tomar como referencia los siguientes aspectos: (Woods-Ballard et al., 2007).

- Estimar las características de permeabilidad de la capa de pavimento.
- Determinar la capacidad de almacenamiento (proporcionada por la porosidad de la sub-base)
- Estimar la necesidad, y en su caso cuantificar la capacidad del drenaje longitudinal adicional.
- Prever la respuesta del pavimento permeables a eventos de lluvia extrema.

2.3.6.1.1 Caracterización hidrológica

El proceso de estimación de tormentas de diseño y flujos contribuyentes a través de cuencas hidrográficas urbanas, se puede realizar con la ayuda del software especializado en distribuciones estadísticas para cálculos de datos pluviométricos “**HidroEsta**” y aplicando dos modelos: “Frederich Bell” y “Soil Conservation Service” (SCS). Permiten calcular la precipitación (mm) y la intensidad (mm/hora).

- Modelo de Frederich Bell

Permite el cálculo de la precipitación máxima en relación con el período de retorno y la duración de la tormenta, teniendo como valor índice la lluvia de una hora de duración y 10 años de periodo de retorno. Se tomaron en cuenta las siguientes fórmulas:

$$P_t^{TR} = (0,21 * \ln T_R + 0,52) * (0,54 * t^{0,25} - 0,50) * P_{T_R=10\text{años}}^{t=60\text{min}} \dots (1)$$

Donde:

- P_t^{TR} : Lámina de lluvia en el tiempo “t” (min) para un periodo de retorno “ T_R ” (años).
- $P_{T1=10}^{t1=60}$: Lámina de lluvia para tiempo de retorno $T=10$ años y $t=1$ hora = 60 min.

$$P_{T1=10\text{años}}^{t1=1h} = 0.3862 * P_{\text{max 24 horas}}^{tR=10\text{ años}} \dots (2)$$

- T_R : Tiempo de retorno en años.
- t : Periodo de duración = Tiempo de concentración en minutos.

- Modelo Soil Conservation Service (SCS)

De igual manera que el método de Frederich Bell se trabajan con las mismas distribuciones evaluadas en el software HidroEsta, pero esta vez con diferentes tiempos de retorno. Para así calcular la precipitación máxima en 24 horas.

Las intensidades máximas en (mm/hr) de las lluvias para diferentes periodos de retorno y tiempos de concentración, resultan de la expresión propuesta por Soil Conservation Service (SCS), esta es:

$$I_T = \frac{0.280049 * P_{P_{TR}}}{T_c^{0.6}} \dots (3)$$

Donde:

- I_T : Intensidad de lluvia (mm/h), para un tiempo de retorno.
- $P_{P_{TR}}$: Precipitación Máxima 24 horas (mm), para un tiempo de retorno
- T_c : Tiempo de Concentración (h).

2.3.6.1.2 Coeficientes de escorrentía

Característica de la superficie	Coefficiente C
Calles	
Pavimento Asfáltico	0,70 a 0,95
Pavimento de concreto	0,80 a 0,95
Pavimento de Adoquines	0,70 a 0,85
Veredas	0,70 a 0,85
Techos y Azoteas	0,75 a 0,95
Césped, suelo arenoso	
Plano (0-2%) pendiente	0,05 a 0,10
Promedio (2%-7%) pendiente	0,10 a 0,15
Pronunciado (>7%) pendiente	0,15 a 0,20
Césped, suelo arcilloso	
Plano (0-2%) pendiente	0,13 a 0,17
Promedio (2%-7%) pendiente	0,18 a 0,22
Pronunciado (>7%)	0,25 a 0,35
Praderas	0,20

Figura N° 10: Coeficientes de Escorrentía
Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (2016)

Cuando la cuenca se compone de superficies con diferentes características, el valor de C, resulta de una medida ponderada:

$$C = \frac{C_1 * A_1 + C_2 * A_2 + \dots + C_n * A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i * A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots (4)$$

Donde:

- C: coeficiente de escorrentía ponderado.
- Ci: coeficiente de escorrentía para el área Ai
- Ai: área parcial i
- n: número de áreas parciales

2.3.6.1.3 Cálculo de infiltración

Para desarrollar el cálculo de infiltración, el **Ensayo Muntz o de cilindros concéntricos** cumple con tal fin. De la cual se puede obtener una medida del coeficiente de permeabilidad vertical en las capas superficiales del suelo, por lo que solo es aplicable si la napa freática es profunda.

El cálculo de la tasa de infiltración resulta de la siguiente expresión:

$$f = \frac{36000*V}{(A*\Delta t)} \dots (5)$$

Donde:

- f: Tasa de infiltración en mm/hora.
- A: Área del cilindro interior en cm²
- V: Volumen acumulado incorporado en cm³
- Δt: Tiempo en segundos

Vela y Cruz (2019) definen el procedimiento a realizar en el Ensayo Muntz o de cilindros concéntricos:

Se utiliza anillos metálicos de 12” el exterior y 6” el interior, cuya área del anillo interior equivale a 182,415 cm². Se excava 50 cm de la capa de afirmado de la calle, posteriormente se procede a hincar en el terreno el anillo de 12” una profundidad de 10 cm y el anillo de 6” en el centro de dicho anillo a la misma profundidad, seguidamente se nivela los anillos con el nivel de mano, para llenar de agua ambos anillos al mismo nivel (5 cm sobre el suelo) agregando el volumen necesario de agua cada cierto tiempo, manteniendo ambos constantes, finalmente se procede a medir la capacidad de infiltración del suelo que consiste en la medición de la máxima cantidad de agua del cilindro interior que puede absorber el suelo en una unidad de tiempo. (p. 82)

2.3.6.1.4 Percolación del pavimento:

García (2011) menciona que la capacidad de percolación de la propia capa del pavimento debe ser significativamente mayor que la máxima intensidad de la lluvia de cálculo.

A la hora de definir el factor de seguridad, no existe un estándar uniforme sobre qué valor usar y bajo qué condiciones, dado que debe determinarse de acuerdo con el clima y la topografía del área de aplicación y el mantenimiento de la infraestructura. Hay que considerar que la

percolación del pavimento, no se mantendrá constante en el tiempo, sino que irá disminuyendo gradualmente hasta estabilizarse. Este fenómeno es debido a la colmatación, por lo que deberá tenerse en cuenta un factor de seguridad sobre la capacidad de percolación. (p. 96)

2.3.6.1.5 Volumen de almacenamiento:

García (2011) menciona que la capacidad de almacenamiento en el pavimento permeable depende fundamentalmente de las condiciones de precipitación, de la capacidad de infiltración al terreno subyacente, de la capacidad del drenaje complementario (si existe) y del área drenada al propio pavimento. Además, está relacionada con el espesor y porosidad de cada una de las capas del pavimento. (p. 97)

Existen diferentes criterios y métodos, como los aplicados en EEUU (U.S. EPA,2008) o en Reino Unido (método de precipitación variable y precipitación fija), para determinar el volumen de almacenamiento y dimensionar la estructura de un pavimento permeable.

Así mismo, el método MINVU – DICTUC, 1996 es uno de los métodos más confiables aplicados para el diseño hidrológico.

2.3.6.1.6 Capacidad de drenaje longitudinal:

En algunas condiciones no es posible infiltrar en el suelo el volumen anteriormente acumulado en la subbase, por ello se deben tener otras medidas de solución para la evacuación del agua. Ya sea por naturaleza impermeable del mismo suelo, la compactación deseada o una impermeabilización intencionada limita drásticamente la capacidad de infiltración. Para estos casos se ha recomendado que se use los drenes longitudinales, es decir tuberías perforadas o drenes franceses para poder suplementar el espacio de infiltración del suelo, este actuará como punto de control y regulará los caudales en las respectivas salidas. (García, 2011, p. 107)

2.3.6.1.7 Gestión de eventos extremos de precipitación:

García (2011) expone que el diseño del pavimento permeable debe estar considerado y demostrado en que situaciones no daría abasto su capacidad de almacenamiento. Estos componentes deben tener algún elemento de emergencia para casos donde el diseño no abastezca (p. 109).

Woods-Ballard et al (2007) indica que en algunas situaciones una óptima solución que se ofrece cuando los caudales superan la capacidad de infiltración de la superficie es instalar imbornales que estén ligeramente por encima del nivel de pavimento.

2.3.6.1.8 Método MINVU – DICTUC, 1996

El método chileno se realizó por la Dirección de Investigación Científicas y Tecnológicas –DICTUC- (1996). Este método empieza con la selección de una lluvia de diseño y usando el promedio de valores obtenidos en diferentes lugares representativos, de ensayos a nivel de subrasante.

MINVU-DICTUC (1996) menciona algunas consideraciones a tomar en cuenta para la correcta instalación de pavimentos permeables:

- La pendiente longitudinal de la calle donde se pretende aplicar el pavimento permeable debe ser menor a 5%.
- El nivel más alto de la napa freática debe estar alejado como mínimo 1.20m del pavimento.
- Capacidad de soporte CBR debe ser mayor o igual que 6% como mínimo.
- Para una tasa de infiltración menor a 13 mm/h, se plantea un sistema sin infiltración al suelo.
- Recomienda su aplicación en zonas de bajo tránsito. (menor que 150.000 E.E. en 20 años)
- Recomienda el uso de concreto asfáltico poroso, en la carpeta de rodadura, dada la experiencia internacional en este tipo de material

Además, la metodología chilena también aborda en el diseño las características del suelo soportante, para esto menciona que se debe estimar la capacidad de absorción del suelo soportante y a su vez como se comportaría al entrar en contacto con el agua.

La capacidad de absorción se puede calcular a partir del ensayo Muntz o cilindros concéntricos en varios lugares del terreno. A mayor duración, el ensayo tendrá mejores resultados de infiltración en régimen permanente con suelo humedecido y saturado. Se necesita determinar el tipo de suelo soportante que recibirá las aguas, para evitar todo tipo de riesgos tales como, deslizamiento de terreno y/o contaminación con la napa.

- Espesor total del pavimento:

El espesor mínimo del pavimento (considerando desde la carpeta de rodadura hasta la sub rasante), debe estar condicionado por dos condiciones, la capacidad de carga y la capacidad de soporte en la sub rasante. La capacidad de soporte del suelo se mide a través del ensayo CBR y el tráfico de estimación de ejes equivalentes (EE) que pasará durante su vida útil. En el caso de pavimentos porosos se debe recordar que se tendrá un almacenamiento en la sub base.

MINVU-DICTUC (1996) establece espesores mínimos requeridos para pavimentos porosos en concreto y asfalto según Servicio de Vivienda y Urbanismo.

Tabla N° 3: Espesores mínimos de un pavimento permeable

CAPA	ESPESOR MÍNIMO (cm)
Carpeta de Rodado: pasajes y solo peatón	4
Carpeta de Rodado: Calles de bajo tráfico	5
Base	15
Sub-base granular	15

Fuente: Adaptado de MINVU-DICTUC (1996)

Cabe resaltar que estos espesores mínimos serán utilizados, solo si por condiciones hidráulicas o estructurales se requiera espesores menores a los indicados.

Para las características estructurales de los materiales que componen las capas de rodado, base y subbase, se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

Tabla N° 4: Características Estructurales de las capas del pavimento

CAPA	CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES
Carpeta de Rodado: en pasajes en calles	Sobre 8000 N según ensayo de estabilidad Marshall espesor \geq 4 cm espesor \geq 5 cm
Base chancada	C.B.R. \geq 80% y espesor \geq 15 cm
Subbase estabilizada	C.B.R. \geq 40% y espesor \geq 10 cm

Fuente: Adaptado de MINVU-DICTUC (1996)

Es de suma importancia para realizar el diseño, conocer el coeficiente estructural de las capas que conforman el pavimento permeable. Por lo que MINVU-DICTUC, 1996 recomienda obtener estos valores con los resultados de ensayos de Estabilidad Marshall para la carpeta de rodado y ensayos CBR para la base y subbase.

El sistema de infiltración estudiado en el trabajo de investigación de Vela y Cruz (2019) fue a nivel de subbase, por lo cual en esta capa se diseñó un sistema de drenaje longitudinal.

Los parámetros de estudio de suelos fueron obtenidos del estudio de mecánica de suelos realizados para el proyecto “Creación de pistas, veredas y cunetas en las calles Matiaza Rimachi, Tupac Amaru, Amazonas, 5 de febrero, Ayacucho, Jardines de la Paz de la localidad de Molinopamapa, distrito de Molinopampa – Chachapoyas – Amazonas”

- Composición de las capas:

- Filtro granular superior o base:

Se puede realizar siguiendo las especificaciones del artículo 3.4 del “Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación” (MINVU, 1994), considerando un espesor variable entre 2,5 cm y 5 cm, compuesto por gravilla de un diámetro medio de 1,3 cm de acuerdo a recomendaciones de Debo y Reese, 1995. No se recomienda reemplazarlo por un geotextil.

- Sub-base:

El espesor en esta capa varía según el volumen de almacenamiento que requiera. El vació entre las gravas uniformes es de 38% a 46%, para fines de diseño hidráulico se recomienda adoptar sólo un 30% de vacíos. Existen dos tipos de sub-bases que pueden ser utilizadas en los pavimentos porosos: las sub-bases tratadas y las no tratadas. La sub-base tratada contienen cemento (120-170kg/m³) o asfalto (2,0 – 2,5% en peso) lo cual brinda estabilidad, logrando así minimizar su contenido de finos.

Tabla N° 5: Composición de subbases tratadas - PCA de EE.UU

Abertura tamiz	mm	Porcentaje pasante de peso				
		AASHTO AS/CE	N°57 AS	California CE	Wisc. CE	New Jersey AS
1 1/2"	38,1	100	-	100	-	-
1"	25,4	95-100	100	-	-	100
3/4"	19,1	-	90-100	-	90-100	95-100
1/2"	12,7	25-60	35-65	-	-	85-100
3/8"	9,52	-	20-45	-	20-55	60-90
#4	4,76	0-10	0-10	0-18	0-10	15-25
#8	2,38	0-5	0-5	0-7	0-5	2-10
#10	2,00	-	-	-	0-5	-
#16	1,19	-	-	-	-	2-5
#200	0,074	0-2	0-2	-	-	-
k(m/día)		6100	4500	1200	3000	300

Fuente: Adaptado de MINVU-DICTUC (1996)

El segundo tipo es la sub base no tratada el cual contiene un mayor contenido de finos para lograr una adecuada estabilidad, pero reduce la permeabilidad del estrato. Según Portland Cement Association de EE.UU. la granulometría para sub bases no tratadas debe respetar lo que indica la Tabla 6, además el coeficiente de permeabilidad k debe estar en metros por día y para aguas en sub-bases tratadas se usa la Tabla 5.

Tabla N° 6: Composición de subbases no tratadas - PCA de EE.UU.

Abertura tamiz	mm	Porcentaje pasante de peso						
		Iowa	Kent.	Michig.	Miniap.	New Jersey	Pensilv.	Wisc.
2"	50,8	-	-	-	-	-	100	-
1 1/2"	38,1	-	100	100	-	100	-	-
1"	25,4	100	95-100	-	100	95-100	-	100
3/4"	19,1	-	-	-	65-100	-	52-100	90-100
1/2"	12,7	-	25-60	0-90	-	60-80	-	-
3/8"	9,52	-	-	-	35-70	-	35-65	20-55
#4	4,76	-	0-10	0-8	20-45	40-55	8-40	0-10
#8	2,38	-	0-5	-	-	5-25	-	0-5
#10	2,00	-	-	-	8-25	-	-	-
#16	1,19	-	-	-	-	0-8	0-12	-
#30	0,595	-	-	-	-	-	0-8	-
#40	0,420	-	-	-	2-10	-	-	-
#50	0,297	0-15	-	-	-	0-5	-	-
#200	0,074	0-6	0-2	-	0-3	-	0-5	-
k(m/día)		150	6100	300	60	600	300	5500

Fuente: Adaptado de MINVU-DICTUC (1996)

- Percolación:

Se recomienda calcular el coeficiente de percolación “Cs” según el siguiente procedimiento:

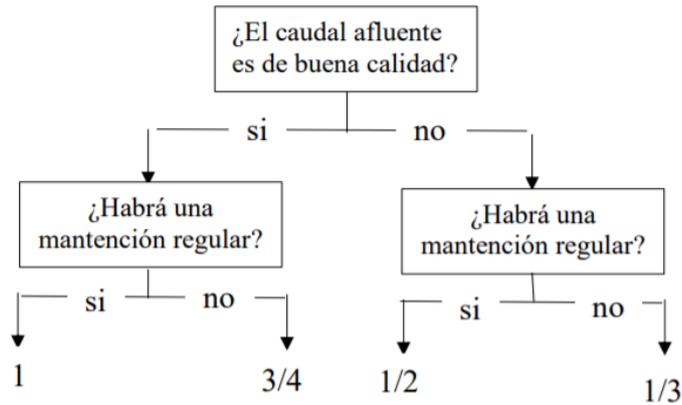


Figura N° 11: Diagrama para obtener el Coeficiente de Seguridad
Fuente: MINVU-DICTUC (1996)

- Volumen de almacenamiento:

Según la necesidad de almacenamiento y evacuación de las aguas de lluvia se diseña el espesor de la sub-base. El volumen de almacenamiento es la diferencia en el volumen acumulado de aguas lluvias y el volumen acumulado infiltrado, para un tiempo de retorno de T años. El volumen acumulado dependerá de:

$$V_{aft}(t) = 1,25(0,001C * It * A * t) = 0,00125C * A * P_t^T \dots (6)$$

Donde:

- C : Coeficiente de escorrentía superficial correspondiente al área total aportante
- A : Área total aportante (m²)
- Id : Intensidad de la lluvia de período de retorno T y duración d (mm/h)
- T : Tiempo acumulado de lluvia (horas)
- P_t^T: Precipitación acumulada en el tiempo d para la lluvia de periodo de retorno de T años.

Se recomienda multiplicar por un factor de seguridad de 1,25 el volumen acumulado para considerar la porción de lluvia que cae antes y después de

la porción más intensa de la tormenta, no incluida en las curvas IDF. El volumen acumulado infiltrado $V_{inf}(t)$, en metros cúbicos, está dado por:

$$V_{inf}(t) = 0.001(f * C_s * A_e * t) \dots (7)$$

Donde:

- f : capacidad de infiltración del suelo, que corresponde al suelo que subyace al pavimento (mm/h)
- A_e : área del pavimento poroso (m^2)
- t : Tiempo acumulado de lluvia (h)
- C_s : coeficiente de seguridad que afecta la capacidad de infiltración. Dependiendo de las propiedades del agua y las condiciones de mantenimiento que toma en cuenta los efectos de la colmatación en el tiempo que experimenta el suelo.

Obtenidos el volumen afluente acumulado y el volumen infiltrado, se obtiene el volumen de almacenamiento calculado con la siguiente fórmula:

$$V_{alm} = Max (V_{af}(t) - V_{inf}(t)) \dots (8)$$

En caso el volumen de infiltración sea siempre mayor que la intensidad de lluvia aún en la menor duración, entonces no es necesario tener un volumen de almacenamiento en la sub base, solo bastará con la superficie de contacto con la sub rasante para la infiltración.

- Espesor de la sub-base:

El espesor (e) necesario de la sub-base es:

$$e = \frac{V_{alm}}{(p * A_e)} \dots (9)$$

Donde:

- p : Porosidad del material de la subbase, considerado 0.3 para el diseño.

- A_e : Área del pavimento poroso
- V_{alm} : Volumen máximo de almacenamiento de la subbase

- Tiempo de Vaciado

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$t_m = \frac{p * e_s}{(C_s * f)} \dots (10)$$

Donde:

- p : Porosidad del material de la subbase, considerado 0.3 para el diseño.
- e_s : Espesor de la subbase en milímetros.
- C_s : Coeficiente de seguridad
- f : Tasa de infiltración del suelo o de la subrasante en (mm/h)

Se sugiere que el tiempo máximo de vaciado del volumen almacenado en la subbase, no exceda las 48 horas.

- Capacidad de drenaje longitudinal:

Se procede a calcular el máximo volumen de almacenamiento partiendo de la de la ecuación 9.

$$e = \frac{V_{alm}}{(p * A_e)}$$

Considerando:

- p = 0.3 para el diseño.
- e = 0.15 m. Mínimo espesor sugerido por MINVU-DICTUC (1996).
- A_e = Área del pavimento
- V_{alm} = Volumen almacenado para el espesor mínimo de la subbase.

Obteniendo así la siguiente expresión:

$$V_{atm} = e * p * A_e = 0.15 * 0.30 * A_e = 0.045 * A_e \dots (11)$$

Dado que la salida de agua a través del dren longitudinal reemplaza la capacidad de infiltración del suelo (subrasante), se halla una tasa de infiltración, a partir de la ecuación 8, verificando que no exceda el máximo volumen de almacenamiento que se calcula para la subbase.

$$V_{atm} = 0,00125C * A * P_t^T - 0.001(f * C_s * A_e * t)$$

Despejando la infiltración f tenemos:

$$f = \frac{0.00125 * C * A * P_t^T - V_{atm}}{0.001 * C_s * A_e * t} \dots (12)$$

Con la tasa de infiltración estimada se determina la capacidad de infiltración en el terreno, la que debe ser reemplazada por la capacidad de salida del dren longitudinal.

$$Q_{smin} = f * A_e \dots (13)$$

Barahona (2014) señala que, con las ecuaciones seleccionadas para calcular el caudal de agua que debe eliminar el dren longitudinal, no influye la presencia de la napa freática, solo se determina por la precipitación. Debido a que se evita el paso del flujo entre la subbase y la subrasante ocasionada por una membrana impermeable que existe entre estas capas.

Con este caudal de salida se estima un diámetro mínimo de tubería a considerar en los drenes longitudinales, que sea capaz de evacuar todo el caudal de salida de la subbase. Asimismo, se debe calcular el flujo a través de las perforaciones por metro de tubería, para garantizar la capacidad mínima. Este flujo se calcula con la expresión siguiente:

$$Q_{perf} = N * C_d * A * (2 * g * h)^{0.5} \dots (14)$$

Donde:

- Q_{perf} : Flujo a través de las perforaciones, en m³/s por metro de tubería.
- N : Número de perforaciones en un metro de tubería
- C_d : Coeficiente de descarga recomendado igual a 0.8
- A : Superficie filtrante en m² para un 1m de tubería.
- g : Aceleración de la gravedad considerada 9.81 m²/s.
- h : Altura máxima del flujo sobre el orificio, el cual se recomienda 0.005 m.

MOP (2013) indica que, en el cálculo hidráulico de drenes longitudinales, la tubería debe tener un diámetro exterior mínimo de 50mm para pistas de camino y 75mm para dos pistas de camino, además contar con una pendiente mínima de 0,5%.

Además MOP (2013) nos muestra un tabla representando la superficie filtrante de cada tubería a partir de su diámetro.

Tabla N° 7: Diámetro y superficie filtrante

Diámetro nominal (mm)	Superficie filtrante (cm ² /m)
50	31,4
63	39,6
75	47,1
90	56,5
110	69
150	94,2
200	125,6
250	157
300	188,4

Fuente: Adaptado de MINVU – DICTUC (1996)

Cabe señalar que quien controla la capacidad de salida en el sistema es la capacidad hidráulica de la tubería y no la sumatoria de flujos que fluyen

por lo orificios, ya que el sistema debe recolectar por toda la longitud del dren.

La capacidad hidráulica se calcula mediante la ecuación de Manning para flujo uniforme.

$$Q_{salida} = \frac{A * R^{2/3} * S^{1/2}}{n} \dots (15)$$

Donde:

- Q_{salida} : Caudal Total drenado en m³/s.
- R : Radio Hidráulico.
- S : Pendiente de la línea de energía.
- A : Área de la sección transversal de la tubería en m².
- n : Coeficiente de Manning.

Se avalúa la tubería con el diámetro seleccionado a sección llena para estimar el caudal máximo, donde se la relación ($h/D = 1$). Además, la velocidad del agua en las conducciones de drenaje debe estar comprendida entre 0,70 m/s a 4,0 m/s y las pendientes no deben ser inferior a 0,5% (MTC, 2005).

Finalmente, como la capacidad hidráulica del dren sustituye la capacidad de infiltración en el terreno, se procede a determinar la tasa de infiltración del terreno como:

$$f = \frac{Q_{salida}}{A_e} \dots (16)$$

Con esta tasa de infiltración y aplicando la ecuación 7, se determina el volumen acumulado infiltrado para así determinar el volumen de almacenamiento máximo, a lo largo de todo el periodo de duración de la tormenta, y evaluar si este volumen máximo no excede a la capacidad mínima de la subbase. Dado que, de exceder dicha capacidad, se tendría

que aumentar el espesor de la subbase. El espesor necesario se calcula con la ecuación 9.

Así también, se tiene en cuenta tener detalles para que este tipo de pavimento tenga un buen funcionamiento, el agregarle zarpas o separadores en sub bases para así evitar exceso de flujo en ciertos tramos. Los separadores se comportan como paredes o zarpas verticales de concreto, cuyo espaciamiento es calculado de la siguiente manera:

$$L_{max} = \frac{e}{2 * S_o} \dots (17)$$

Donde:

- e : Espesor de la subbase.
- S_o : Pendiente Longitudinal.

2.3.6.2 Diseño estructural

García (2011) indica que la estructura del pavimento reside en los espesores mínimos de este, estos deben ser diseñados de tal manera que no sufran deformaciones importantes, para ello se deben usar criterios de diseño para la categoría de tráfico que será diseñada.

Los procedimientos son contemplados en los siguientes pasos:

- Fijar su categoría de tránsito.
- Analizar la fuerza portante del suelo para saber si es óptima o debe ser reforzada.
- Elegir el tipo de subbase y espesor.
- Finalmente, en la superficie permeable se establece el tipo y espesor.

La capacidad portante se obtiene mediante el valor del índice del CBR (The Californian Bearing Ratio). El soporte mínimo que debe tener el CBR es 5,

dado que la calidad de la explanada viene determinada según su capacidad portante, y se mide a través del valor del índice CBR (The Californian Bearing Ratio). Quiere decir que, el suelo de fundación debe ofrecer un soporte mínimo con un CBR superior a 5%. En caso fuera mayor ayuda a la estabilidad de esta, por otro lado, si es menor se recomienda mejorar la capacidad portante con una compactación (p. 110).

Atlantis (2011), citado por García comenta que primero para la capa de la base, generalmente se usa grava de 13mm de diámetro, este puede tener un espesor de 25 mm hasta 50 mm. La segunda capa también conformado por grava, esta tiene un diámetro de 20 mm a 75 mm y según manuales y normativas el espesor mínimo para que asegure su función es de 15 cm. Hay casos donde el material granular de la subbase se puede cambiar por estructura de plástico con tal que tenga una resistencia de 500 tn/m² como los depósitos modulares o conductos planos. (Atlantis, 2011, citada por García, 2011)

Rodríguez (2018) afirma que, si el diseño estructural necesita reforzarlo o mejorarlo se puede utilizar geo sintético, estabilizarlo con cemento o ligantes.

En caso no se pueda compactar el suelo se puede incrementar el espesor de la subbase para mejorar la capacidad portante del suelo y así compensará la carencia de compactación de la explanada. (Ferguson, 2005, citada por García, 2011)

García (2011) indica que la capa permeable debe tener el espesor necesario para que tenga la resistencia necesaria durante su uso además de la tipología de superficie. Es necesario que los propios fabricantes estén presentes durante el proceso de diseño puesto el espesor llega a ser muy variable, los propios fabricantes tendrán un mejor criterio al momento de realizar un espesor óptimo de diseño.

El diseño estructural debe tener en cuenta ciertas consideraciones, como (Woods-Ballard et al., 2007):

- Usualmente en las normas y recomendaciones de diseño de sección están inclinadas a materiales convencionales (relativamente impermeables y densos).
 - Debe asegurarse de que no se produzcan pérdidas de resistencia ni rigidez en las capas inferiores, especialmente cuando estas capas se encuentren saturadas.
 - Los geotextiles fortalecen la resistencia a fricción que produce entre cada capa, para esto se debe diseñar con cuidado con el propósito de evitar o perder la resistencia a estos esfuerzos.
 - Ser cuidadoso en la selección de material granular para así evitar un posible lavado de finos lo cual provocaría una pérdida de la resistencia de las capas.
 - Debe tenerse en cuenta un aumento del espesor de la sub-base en casos donde se prevean fenómenos de heladas.
- Tráfico Vehicular:

Fernández (2010) define que el tránsito o tráfico se refiere al movimiento de personas a través de espacios públicos, algunos de los cuales son vehículos. Este es un fenómeno físico y social. Cualquier análisis de los problemas del tráfico urbano comienza con la comprensión de la base conceptual de este fenómeno. A estos fundamentos conceptuales son definidos, teoría del tráfico vehicular.

MTC (2014) menciona que las características y diseño de la vía deben considerar claramente el volumen de tráfico, las condiciones de circular en ella, y considerar la seguridad vial, porque esto será de gran utilidad en el desarrollo de planes viales y de transporte, en el análisis del comportamiento económico, el establecimiento de estándares de definición geométrica, la selección e implementación de medidas de control de tráfico y en la evaluación del desempeño de las instalaciones de transporte. Las características físicas y las proporciones de los vehículos de diferentes tamaños que circulan por la carretera son fundamental en su definición

geométrica. Por lo tanto, es necesario verificar todo tipo de vehículos, establecer grupos y seleccionar tamaños representativos en cada grupo para su uso en el proyecto.

Al seleccionar el vehículo del proyecto, se debe considerar la composición del tráfico de la vía a utilizar, lo que se basa en el estudio y observación de tráfico y su predicción, considerando el desarrollo futuro del área tributaria de la vía.

El MEF (2015) indica que el estudio de tráfico, proporcionará la información del Índice Medio Diario Anual (IMDA) para cada tramo vial materia de un estudio.

Según el MTC (2014), el IMDA precisa el promedio aritmético del tráfico promedio diario en todos los días del año, que se puede predecir o existir en el tramo de la carretera. El valor IMDA de una sección de carretera específica proporciona al diseñador la información necesaria para determinar las características de diseño de la carretera y su clasificación. El valor de vehículo por día es fundamental para evaluar los procedimientos de seguridad y evaluar los servicios prestados por el transporte en la vía.

La carretera es diseñada para un volumen de tránsito. Este volumen se determina como la demanda diaria promedio empleada hasta el final de la fase de diseño, calculada como el número promedio actual de vehículos que utilizan la carretera todos los días y que aumentará con la tasa de crecimiento anual.

Para el MEF (2015), el impacto del tránsito se mide en la unidad definida por la Asociación Estadounidense de Oficiales Nacionales de Carreteras y Transporte (AASHTO), que es el eje equivalente (EE) acumulado durante el período de diseño empleado en el análisis. AASHTO definió como un EE, al efecto de degradación en la superficie de la carretera causado un eje simple de 2 ruedas convencionales cargadas con un peso de 8.2 toneladas, con neumáticos a la presión de 80 lbs/pulg². El eje equivalente (EE) es el coeficiente equivalente, que representa los factores destructivos de diferentes cargas aportados por los tipos de ejes de diferentes vehículos pesados que constituyen la estructura pesada en la superficie de la carretera

La carga de tráfico de vehículos atribuida sobre al pavimento se expresa en ESAL (carga equivalente de eje único 18 kip o 80 kN o 8,2 tn), que se denomina eje equivalente (EE). La suma de ESALs en todo el período de diseño se designa como número de repeticiones de EE de 8,2 tn.

Para el tráfico y el diseño de pavimentos flexibles, se precisan tres categorías:

- a) Vías de poco tránsito que van desde 150,001 hasta 1'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño.
- b) Vías que presentan un tránsito de 1'000,001 EE hasta 30'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño.
- c) Vías que presentan un tránsito mayor de 30'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño.

A continuación se mencionan las definiciones de tráfico según su clasificación:

- Tráfico Ligero:

El ICG (2010) considera como tráfico ligero, si la carga de tráfico es menor de 10^4 ESALs..

La UNAL (1971) define que el tráfico ligero incluye hasta 5 camiones y autobuses por carril / día y hasta 25 automóviles y camiones ligeros (camión) por carril / día.

- Tráfico Medio:

El ICG (2010) considera como tráfico medio, si la carga de tráfico es mayor o igual a 10^4 ESALs y menor de 10^6 ESALs.

La UNAL (1971) define que el tráfico medio presenta un máximo de 25 camiones pesados y autobuses por carril/día y 500 vehículos ligeros por carril/día.

- Tráfico Alto:

El ICG (2010) considera como tráfico alto, si la carga de tráfico es mayor a 10^6 ESALs.

2.3.6.2.1 Método INTERPAVE, 2010

La metodología INTERPAVE se basa en el diseño que especifica el manual SUDS, la aplicación de la siguiente metodología inicia con la selección de un sistema de pavimento apropiado, que toma en cuenta los datos del coeficiente de permeabilidad de la subrasante en (m/s) obtenidos con el desarrollo de pruebas de infiltración realizadas en el área de estudio. Es por eso que esta guía define tres sistemas principales descritos como sistemas A, B Y C como muestra en el capítulo 2.3.5.

La elección del sistema a utilizar (A, B Y C) de realiza de acuerdo a la tabla descrita a continuación:

Tabla N° 8: Selección del tipo de sistema según características de la subrasante.

Características de la subrasante		SISTEMA A infiltración total	SISTEMA B Infiltración parcial	SISTEMA C No infiltración
Permeabilidad de subrasante definida por coeficiente de permeabilidad K (m/s)	10^{-6} a 10^{-3}	✓	✓	✓
	10^{-8} a 10^{-6}	x	✓	✓
	10^{-10} a 10^{-8}	x	x	✓
El más alto nivel esperado de agua entre 1000mm		x	x	✓
Contaminante en la Subrasante		x	x	✓

Fuente: Interpave, 2010

Para la selección del tipo de suelo sobre el cual se desarrolla la investigación, se utiliza los valores de infiltración y de CBR del suelo obtenidas a través de pruebas de infiltración y calicatas, tal como se detalla en la Tabla N°9:

Tabla N° 9: Datos de permeabilidad y capacidad portante del suelo.

Clasificación de suelo	El rango típico de coeficiente de la permeabilidad K	El rango típico de los valores de CBR
Arcilla pesada	10^{-10} a 10^{-8}	2 a 5
Arcilla limosa	10^{-9} a 10^{-8}	3 a 6
Arcilla arenosa	10^{-9} a 10^{-6}	5 a 20
Arena pobremente graduada	5×10^{-6} a 5×10^{-7}	10 a 40
Arena bien graduada	5×10^{-6} a 10^{-4}	10 a 40
Grava arenosa bien graduada	10^{-6} a 10^{-3}	30 a 80

Fuente: Adaptado de Interpave, 2010

Una vez definido el sistema a utilizar (A, B y C) el proceso para diseño estructural comprende las siguientes etapas:

- Etapa 1: Se utiliza la Tabla N° 9 para seleccionar la categoría de carga, de 1 a 6.
- Etapa 2: Se utiliza la Tabla N° 13 para determinar los espesores del pavimento. En esta tabla se muestra los sistemas A y C de pavimentos permeables.

- Etapa 3: Ajuste de los espesores de la tabla de diseño para pavimentos instalados sobre la subrasante de CBR menos del 5% utilizando la tabla 8.

Tabla N° 10: Ajuste de CBR de la subrasante.

CBR de subrasante	Ajuste al espesor de agregado grueso clasificado en el caso de Sistema A y Sistema B (en filtración) pavimentos (mm)	El espesor total de la nivelación material en el caso del sistema C (detención) pavimentos (mm)
1%	300 [^]	
2%	175 [^]	350
3%	125 [^]	250
4%	100 [^]	200
5%		
8%		
10%	Use espesores en gráfico diseño	150
15%		

Fuente: Adaptado de Interpave, 2010

*: Asesoramiento experto debe buscarse en el caso de los pavimentos construidos sobre las subrasantes de CBR menos del 2%.

[^]: Explanadas de CBR menos de 5% son a menudo demasiado finos para permitir suficiente filtración.

- Especificaciones de materiales

Las siguientes consideraciones indicadas por el método Interpave (2010) son:

- Capa de transición en superficies de adoquín:

El material de la capa de tendido debe ser lo suficientemente grueso para permitir el flujo vertical libre de agua y evitar su intrusión en el agregado de grado grueso subyacente, pero lo suficientemente fino para permitir la instalación precisa de los adoquines. Por lo general, la capa de colocación y el material de unión deben estar dentro del sobre de distribución del tamaño de partículas de la Tabla N° 12, pero se debe buscar el consejo del

fabricante de adoquines de bloques sobre clasificaciones específicas adecuadas para sus productos / sistemas. El material debe cumplir con los requisitos de un material de tipo 2/6.3 Gc 80/20 según BS EN 13242: 2002. *"Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering works and road construction"* como se muestra en la Tabla N° 12. Tenga en cuenta que el término 2/6.3 significa que el material tiene tamaños de partículas que están predominantemente dentro del rango de 2 mm a 6,3 mm. Esta es la forma en que los agregados, incluidos los agregados finos, se designan en BS EN 13242: 2002 que establece: “Esta designación acepta la presencia de algunas partículas que quedan retenidas en el tamiz superior (sobredimensionado) y algunas que pasan por el tamiz inferior (tamaño insuficiente) ”, es decir, hay una pequeña proporción de material que es mayor de 6,3 mm y menor de 2 mm.

Tabla N° 11: Distribución de agregados de capa de transición

Tamaño del tamiz (mm)	Porcentaje de aprobación (%)
14	100
10	98-100
6.3	80-99
2.00	0-20
1.00	0-5

Fuente: Adaptado de Interpave (2010)

- Agregado grueso clasificado (CGA):

Por lo general, el material de agregado de grado grueso (CGA) debe caer dentro del sobre de distribución del tamaño de partículas de la Tabla N° 12, pero se debe buscar el consejo del fabricante de pavimentos de bloques sobre grados específicos adecuados para su producto / sistema. CGA debe cumplir con los requisitos de BS EN 13242: 2002 – *"Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction"*. El material debe ser designado Tipo 4/20 (tamaño de partícula mínimo de 4 mm y máximo de 20 mm). Los detalles

sobre la disponibilidad e idoneidad de estos materiales deben obtenerse de los proveedores locales de agregados.

Para poder soportar los efectos del tráfico tanto en condiciones secas como húmedas, el CGA debe cumplir con los requisitos físicos que se muestran en la Tabla 12.

El material debe tener suficiente estabilidad interna para funcionar tanto durante la instalación como a largo plazo. En general, los agregados de roca triturada dura se comportarán bien, mientras que tanto la grava triturada como la redondeada de origen natural pueden ser inestables, posiblemente en servicio y muy probablemente durante la instalación. Si un material permanece estable durante la instalación, es muy probable que se mantenga estable una vez que el pavimento esté completo.

Tabla N° 12: Distribución de agregados de agregado grueso clasificado

Tamaño del tamiz (mm)	Porcentaje de aprobación (%)
40	100
31.5	98-100
20	90-99
10	25-70
4	0-15
2	0-5

Fuente: Adaptado de Interpave (2010)

- Agregado grueso aglomerado hidráulicamente:

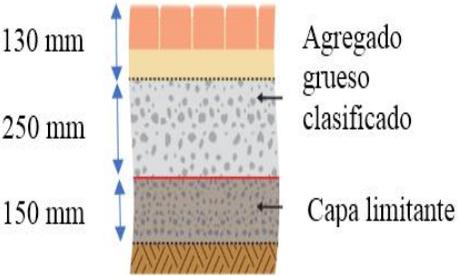
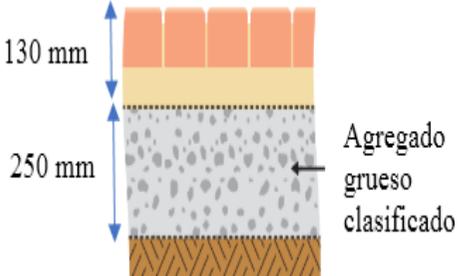
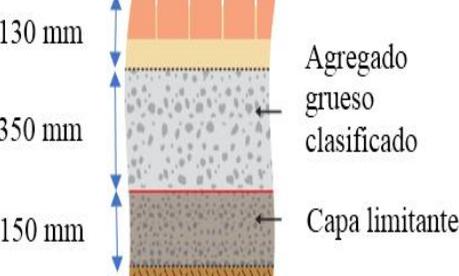
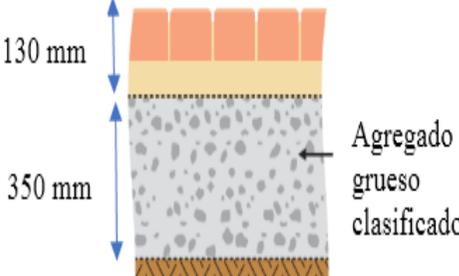
En el caso de pavimentos permeables con más tráfico, se incluye una capa de agregado de grado grueso aglomerado hidráulicamente para fortalecer y endurecer el pavimento. El material se fabricará utilizando un agregado de distribución de tamaño de partículas dentro del sobre de la Tabla N° 12 y deberá cumplir con las siguientes indicaciones para mezclas con cementos especificada por BS EN 14227-1: 2004. *"Hydraulically bound mixtures – Specifications – Part 1: Cement bound granular mixtures"*:

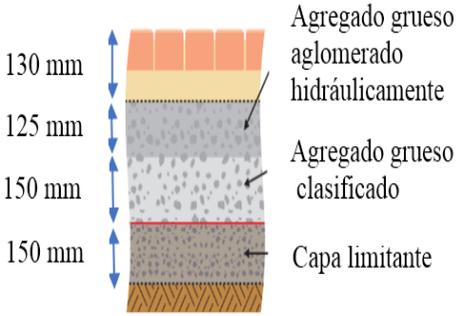
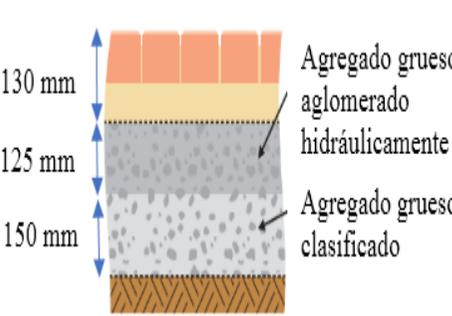
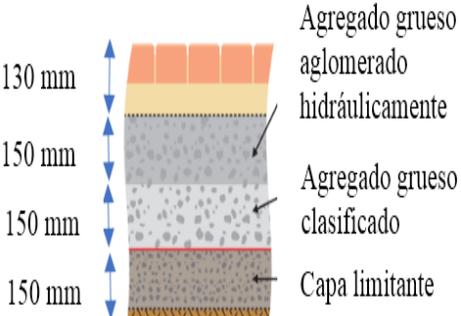
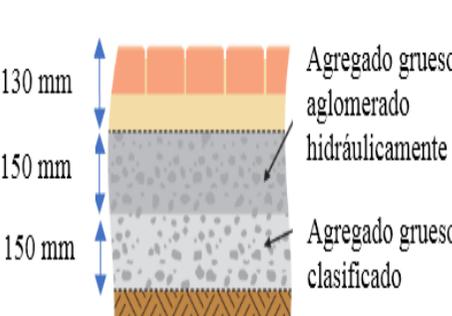
- Contenido mínimo de cemento en masa = 3%.
- Clase de resistencia = C5 / 6 (como se define en la Tabla 2 de BS EN 14227-1: 2004).
- Permeabilidad mínima 20.000 mm / h.
- Se esperaba que el módulo de elasticidad de 28 días fuera de aproximadamente 10.000 N / mm², pero esto no es un requisito de especificación.

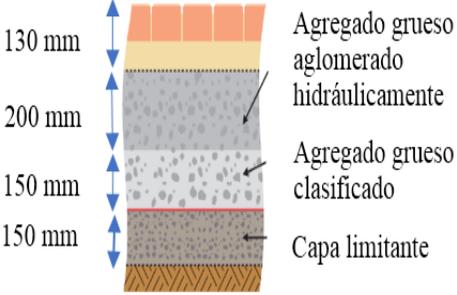
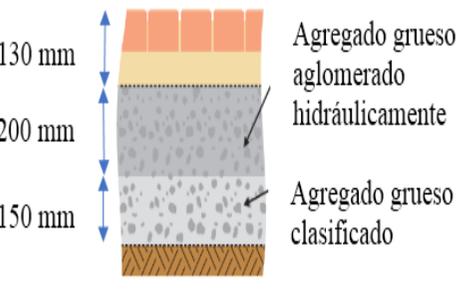
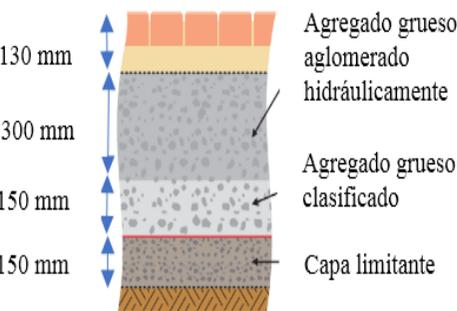
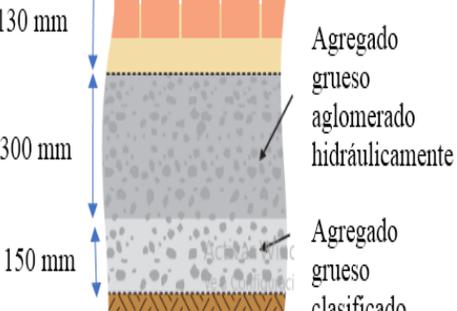
- Capa limitante:

Se incluye material de taponado para lograr una plataforma de trabajo firme para que las capas superpuestas se puedan instalar correctamente. Los materiales de taponado normalmente comprenden materiales de bajo costo disponibles localmente capaces de lograr un CBR del 15%. Se recomienda que todos los materiales de recubrimiento cumplan con los requisitos de 6F1 o 6F2 de la tabla 6.1 especificada en Highways Agency's "*Specification for Highway Works – Series 600 – Earthworks*". Los escombros de concreto triturado, duro y de cantera se utilizan comúnmente como materiales de recubrimiento.

Tabla N° 13: Categoría de cargas.

Categoría de carga	N° Vehículos por semana	Millones de eje Estándar (msa)	Ejemplos	Sin infiltración	Con infiltración
1 (Parqueadero Doméstico)	No se permiten vehículos pesados por semana	Cero ejes estándar	Patio, acceso privado, elemento decorativo, área de juegos cerrada, acera sin rebasamiento de vehículos.	 <p>130 mm 250 mm 150 mm</p> <p>Agregado grueso clasificado Capa limitante</p>	 <p>130 mm 250 mm</p> <p>Agregado grueso clasificado</p>
2 (Carros)	Vehículos pesados solo en emergencia (sólo vehículos)	100 ejes estándar	Pasillos de estacionamiento de automóviles, sala de exhibición de automóviles externa, ruta peatonal del estadio deportivo, acera con desborde ocasional, cruce de caminos / aceras privados.	 <p>130 mm 350 mm 150 mm</p> <p>Agregado grueso clasificado Capa limitante</p>	 <p>130 mm 350 mm</p> <p>Agregado grueso clasificado</p>

<p>3 (Peatonal)</p>	<p>Un vehículo pesado por semana</p>	<p>0,015 msa</p>	<p>Calle peatonal de pueblo / ciudad, área de estacionamiento para el desarrollo residencial, área de exhibición externa del centro de jardinería, crematorio del cementerio, estacionamiento de motel, estacionamiento del aeropuerto sin recogida de autobús, centro deportivo</p>		
<p>4 (Tiendas)</p>	<p>Diez vehículos pesados por semana</p>	<p>0,15 msa</p>	<p>Vías de acceso de entrega en desarrollos comerciales, calles de acceso a escuelas y universidades, vías de entregas a desarrollo residencial pequeño, vías de entrega a jardines o huertos, patio de estación de bomberos, parqueadero de aeropuertos con buses hacia el terminal, ruta de acceso a estadios deportivos.</p>		

<p>5 (Comercial)</p>	<p>100 vehículos pesados por semana</p>	<p>1,5 msa</p>	<p>Local industrial, vía pública poco transitada, desarrollo industrial ligero, desarrollo mixto comercial / industrial, plaza de ciudad, vías con tráfico ligero, caminos de tierra del aeropuerto.</p>	 <p>130 mm 200 mm 150 mm 150 mm</p> <p>Agregado grueso aglomerado hidráulicamente Agregado grueso clasificado Capa limitante</p>	 <p>130 mm 200 mm 150 mm</p> <p>Agregado grueso aglomerado hidráulicamente Agregado grueso clasificado</p>
<p>6 (Tráfico pesado)</p>	<p>1000 vehículos pesados por semana</p>	<p>15 msa</p>	<p>Carretera principal, centro de distribución, estación de autobuses (autobús cada 5 minutos), parada de camiones y buses en autopista, rotonda, carril bus.</p>	 <p>130 mm 300 mm 150 mm 150 mm</p> <p>Agregado grueso aglomerado hidráulicamente Agregado grueso clasificado Capa limitante</p>	 <p>130 mm 300 mm 150 mm</p> <p>Agregado grueso aglomerado hidráulicamente Agregado grueso clasificado</p>

Fuente: Adaptado de Interpave, 2010

2.3.6.3 Diseño de mezcla asfáltica drenante

Abuhajar (2010) El proceso de dosificación de la mezcla porosa sigue un procedimiento distinto del comúnmente empleado para otras mezclas bituminosas. Así, mientras que para las mezclas del tipo concreto asfáltico en España se sigue el criterio de dosificación Marshall, para las mezclas porosas, tanto en España como en otros países europeos que han adoptado el sistema desarrollado por la Universidad de Santander, se sigue el denominado Método Cántabro.

- Características de los materiales:

La malla a usar para el diseño de las mezclas drenantes, son estrictamente abiertas.

Tabla N° 14: Faja de trabajo de las mezclas abiertas

% Pasante	
1/2" (12.5mm)	100
3/8" (9.5mm)	85-96
No. 4 (4.75mm)	28-45
No. 8 (2.36mm)	9-17
No. 200 (75um)	2-5
Porcentaje de Asfalto (% del peso total de la mezcla) 5.5-12.0	

Fuente: Adaptado de Albuajar (2010)

- Tolerancias:

Tabla N° 15: Tolerancia del agregado pasante

Características de mezcla	Desviación de Diseño	Rango
Contenido de Asfalto	±0.5%	1
3/8" (9.5mm) Tamiz	±5%	10
No. 4 (4.75mm) Tamiz	±5%	10
No. 8 (2.36mm) Tamiz	±4%	8
No. 200 (75um) Tamiz	±2%	4

Fuente: Adaptado de Albuajar (2010)

2.3.6.3.1 Método Cantabro

Este método evalúa el comportamiento del cemento asfáltico como integrante de la mezcla asfáltica, para evaluar propiedades fundamentales a través del ensayo Cantabro de pérdidas por desgaste. Tales como: cohesión, adhesividad, susceptibilidad térmica y durabilidad.

A continuación, se mencionan los ensayos cantabro necesarios para el diseño de la mezcla.

- Ensayo de pérdida por desgaste:

Consiste en determinar el desgaste de una briqueta de mezcla asfáltica empleando la máquina de Los Ángeles sin carga, el procedimiento es el siguiente:

- Con la granulometría establecida de agregados, para cada contenido de asfalto se prepara un mínimo de 4 briquetas con la finalidad de analizar el desgaste de la mezcla sumergida en agua por 4 días a 49°C
- Los agregados estarán sometidos a una estufa con 105 a 110°C para mejorar la condición de la mezcla. El material que pase por el tamiz número N° 200 será sustituido por cemento Portland, con el fin de mejorar la condición de la mezcla.
- El betún empleado, Asfalto de la Refinería de Esmeraldas-Ecuador, se calienta hasta una temperatura de mezclado de 145° C permitiendo así una buena envoltura evitando el escurrimiento.
- La compactación de la mezcla se realiza empleando los moldes y la masa Marshall, proporcionando un total de 50 golpes por cara en cada briqueta.
- Sobre la briqueta fabricada se realizan ensayos de densidad y vacíos siguiendo un procedimiento geométrico.
- Después de pesar las briquetas, se someten en la Máquina de Los Ángeles, sin carga abrasiva o Bolas, a 300 vueltas. La temperatura del ensayo deberá ser de 18° C o de 25° C con una tolerancia de +- 1o C.
- Después de las 300 vueltas se pasa la briqueta y se calcula la pérdida de peso en porcentaje respecto del inicial que ha sufrido.

Este valor de la pérdida de peso es el que sirve de referencia para la dosificación de la mezcla. Es conveniente indicar junto con la pérdida de peso, la temperatura empleada en el ensayo, dado que esta influye directamente el resultado.

Las recomendaciones para mezclas porosas para capas de rodadura, establecen los siguientes valores máximos y mínimos de exigencias:

- % Huecos > 20 %
- Pérdida al Cántabro seco (25 °C) < 25 %
- Pérdida al Cántabro tras Inmersión (24 hs, 60 °C) < 35 %

La normativa española actual establece que la pérdida por desgaste en el Ensayo Cántabro a 25°C debe ser inferior al 25% en peso. Por lo que, luego de ser ensayados en el Tambor de los Ángeles, sin carga abrasiva (bolas), a 300 vueltas, se extrae la porción de pastilla y se pesa. Con dichos valores y según la norma NLT-352/00 se procede con el cálculo.

- Ensayo de pérdida por desgaste tras inmersión:

El desarrollo de este ensayo es muy recomendable dado que simula el efecto que produce la presencia de agua en todo el espesor de la mezcla a lo largo de su vida útil. Con este tipo de ensayo podemos detectar posibles problemas de mala adhesividad pasiva árido-ligante, mala calidad de Filler, etc. La calidad del pavimento dependerá del proceso de compactación. Usualmente se consideran tres criterios para liberar una buena ejecución, los cuales son: textura superficial, tolerancia de la superficie, y densidad.

El procedimiento de este ensayo es similar a la del ensayo por desgaste con la diferencia que las briquetas no deben de secarse a altas temperaturas. Solo deben ser sumergidas en agua y permanecer secándose con el aire a una temperatura de 25 – 60 C°.

- Ensayo de capacidad de infiltración:

El Infiltrómetro Cántabro Portátil (ICP) fue principalmente elaborado para este estudio y está constituido por cuatro partes fundamentales: cámara de inundación, simulador de lluvia, cámara de carga y recipiente de recarga.

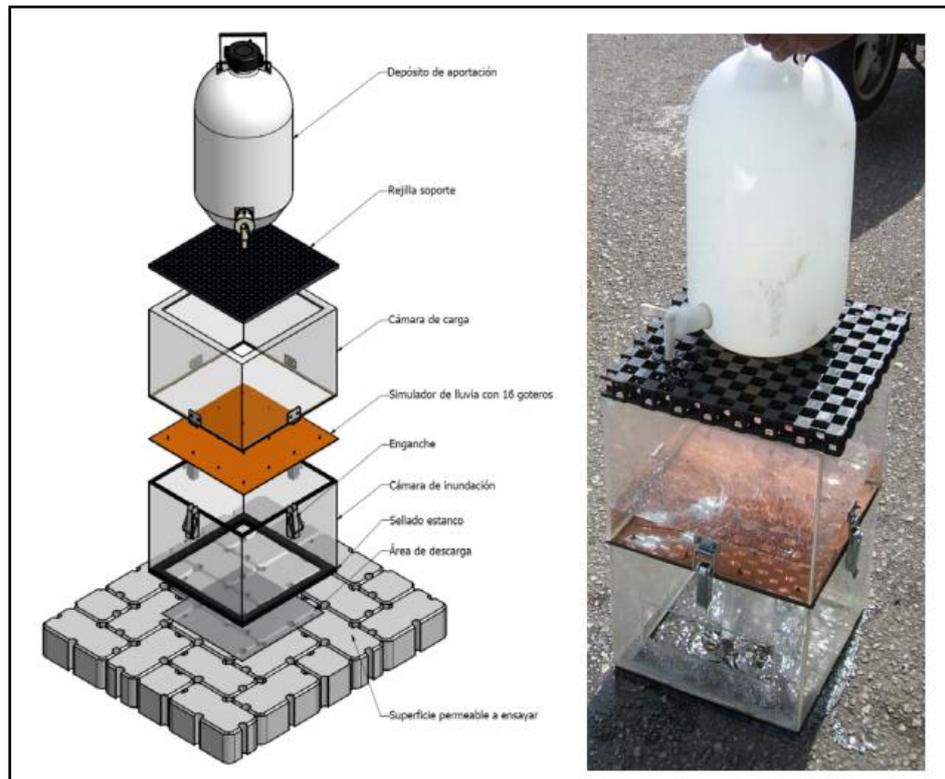


Figura N° 12: Infiltrómetro Cantabro Portátil (ICP)
Fuente: Adaptado de Albuajar (2010)

En el ensayo de infiltración con el ICP (Infiltrómetro Cántabro Portátil) se mide la altura de inundación sobre el pavimento ensayado sometido a una precipitación simulada. Esta precipitación tiene una duración e intensidad correspondientes a una duración e intensidad correspondientes a un periodo de retorno fijado. El procedimiento de ensayo de la capacidad de infiltración propuesto con el ICP consta de las siguientes etapas:

- Determinar tres intensidades de lluvia que se va a simular, respecto a la ubicación geográfica y los periodos de retorno específicos.

- Se debe colocar la cámara de inundación sobre el área del ensayo, sellar el perímetro con vaselina y colocar una carga sobre ella.
- Se debe verter al menos tres litros de agua para corroborar el sellado del perímetro.
- Se debe dejar infiltrar agua hasta saturar la superficie.
- Se debe simular la lluvia correspondiente a la intensidad de precipitación que se va a simular y además dejar la altura de agua necesaria para la cámara de carga.
- Mantener de forma constante la altura de agua en la cámara de carga en un lapso de cinco minutos del ensayo añadiendo agua desde el recipiente de recarga.
- Se requiere apuntar como resultado la altura del nivel de agua en el interior de la cámara de inundación a los cinco minutos de empezar el ensayo.
- Finalmente, se debe repetir todo el procedimiento desde el quinto paso, con las intensidades de lluvia seleccionadas.

2.4 Definición de términos básicos

- SUDS: Son las iniciales de *Sustainable Urban Drainage System* o en español llamado Sistema de Drenaje Urbano Sostenible.
- Precipitaciones: Agua proveniente de la atmósfera, que cae en la superficie terrestre, acumulándose e infiltrándose en esta (Real Academia Española, 2019).
- Curvas IDF: Es una expresión matemática en forma de curvas que relacionan la intensidad de una precipitación, con su tiempo de retorno y duración (Quispe, 2018).
- Geosintéticos: Se le denomina geosintéticos a los productos fabricados con polímeros, industrializados, desarrollados para ser utilizados generalmente en obras geotécnicas, con el objetivo de cumplir las funciones de: refuerzo, filtración,

drenaje, protección, separación, impermeabilización y control de erosión (ABNT, 2003).

- **Infiltración:** Es el proceso por el cual el agua que llega o se encuentra en la superficie terrestre, ingresa a las capas inferiores del suelo vertical y horizontalmente (Ministerio de Agricultura de Chile, 2017).
- **Erosión:** Deterioro, eliminación del material de la superficie terrestre producidos por factores externos, generalmente hídricos y eólicos (Real Academia Española, 2019).
- **Colmatación:** Acopio de sedimentos causados por la erosión de suelos, trasladados y asentados por el agua, en este caso en pavimentos porosos, originando una disminución de espacios dentro de la estructura del pavimento reduciendo así la filtración de agua (Córdova, 2016).
- **Permeámetro:** Es un equipo de laboratorio que permite medir la permeabilidad de las mezclas asfálticas drenantes in situ y obtener así un coeficiente de infiltración (Hernández y Orejuela, 2018).
- **Infiltrómetro:** Equipo que al igual que el permeámetro, permite medir la capacidad de infiltración de agua en el suelo, pero simula una mejor condición de precipitación con un caudal e intensidad propuesta que será aplicado al pavimento, obteniendo así resultados más verídicos (Hernández y Orejuela, 2018).

CAPITULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

El espesor total del paquete estructural del pavimento permeable expuesto a tráfico medio y a intensidad de precipitación menor a 100 mm/h, implementado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa y en el Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco, resulta entre los 45 - 50 cm.

3.1.2 Hipótesis específicas

- a) Es posible diseñar pavimentos permeables, aplicando los métodos MINVU-DICTUC e INTERPAVE.
- b) El espesor de la superficie permeable expuesta a tráfico medio y a una intensidad de precipitación menor a 100 mm/h, implementado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa y en el Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco, resulta entre 10-15 cm.
- c) El espesor en conjunto de la base y subbase de un pavimento permeable, expuesta a tráfico medio y a una intensidad de precipitación menor a 100 mm/h, implementado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa y en el Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco, resulta entre 20-35 cm.

3.2 Variable

3.2.1 Definición conceptual de las variables

Variable Dependiente:

Espesor total del paquete estructural del pavimento permeable

Variable Independiente:

- a) Intensidad de Precipitación
- b) Tráfico Medio

3.2.2 Operacionalización de las variables

Se observa la operacionalización de las variables ya mencionadas en el ítem 3.2.1 en la tabla N.º 16:

Tabla N.º 16: Operacionalización de Variables

Variables	Descripción de la Variable	Indicadores	Escala de Medición
Independiente	Cantidad de precipitación por unidad de tiempo. En otras palabras, la profundidad por unidad de tiempo. (MTC, 2012)	- Precipitación máxima en 24horas	Intervalo
Intensidad de Precipitación			
Independiente	Se considera como tráfico ligero a las vías cuyo número de ESALs resulta mayor a 10^4 y menos a 10^6 (ICG, 2010)	- Ejes Equivalentes - IMDA	
Tráfico Medio			
Dependiente	Dimensión del paquete estructural del pavimento permeable que garantice el correcto comportamiento estructural e hidráulico (Ing. Gustavo Corredor)	- Permeabilidad de la superficie de rodadura - Volumen de Infiltración de la subbase - Volumen de Almacenamiento de la subbase - Tasa de Infiltración - Estudio de tráfico	Razón
Espesor total del paquete estructural del pavimento permeable			

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION

4.1 Enfoque

Enfoque Cuantitativo, Hernández et al. (2014) define que son procedimientos que tienen un orden y necesitan ser probados. Toda etapa es esencial para el siguiente, es decir ningún paso puede eludirse. Se necesita un estricto orden, sin embargo algunas etapas pueden redefinirse. Primero se delimita una idea, luego se establecen objetivos y preguntas de investigación. Posteriormente se realiza el marco teórico, después se proponen hipótesis y se fijan las variables de la investigación, luego se plantea el diseño para probarlas, se piden variables en un contexto determinado. Finalmente se analizan los resultados usando métodos estadísticos y se logra conclusiones con respecto a las hipótesis planteadas.

4.2 Tipo y nivel

4.2.1 Tipo

La investigación es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno o problema. “La investigación básica, que es la que realiza conocimientos y teorías” (Hernández et al., 2014).

El presente estudio es una investigación básica, debido a que se busca conocer la relación de los fundamentos teórico, técnicos y métodos de diseños de los pavimentos permeables con su aplicación como sistema de drenaje en el Perú.

4.2.2 Nivel

Hernández et al. (2014) define que: La finalidad del investigador radica en la descripción, fenómeno, situaciones, contextos y sucesos. Los estudios descriptivos tienen como finalidad recopilar información ya sea independiente o conjunta de los conceptos o variables de la investigación (p. 92).

Se realizará una investigación descriptiva dado que se realizará el estudio y análisis de los fundamentos teóricos, técnicos y métodos de diseño de los pavimentos permeables aplicados como sistema de drenaje.

4.3 Diseño de la investigación

Según Hernández et al (2014), un diseño no experimental no hace variar las variables independientes de manera intencional para observar las consecuencias que tenga sobre otra variable (p. 152).

“Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para analizarlos” (The SAGE Glossary of the Social and Behavioral Sciences, 2009, citada en Hernández et al., 2014).

Bajo este contexto, la presente investigación es un diseño no experimental.

4.4 Población y muestra del estudio

4.4.1 Población de estudio

El presente trabajo de investigación presenta como población de estudio y tamaño de la muestra a los estudios y trabajos de investigación realizados anteriormente de diferentes universidades nacionales e internacionales, además de artículos, libros y fuentes bibliográficas que cuentan con respaldo institucional. Todas estas relacionadas al diseño y aplicación de pavimentos permeables como sistema de drenaje.

La población estuvo constituida por los pavimentos permeables diseñados como sistema de drenaje. De los que se han recopilado 11 tesis a nivel nacional, 25 tesis a nivel internacional, 12 artículos de fuentes internacional y nacional, 5 manuales, 3 normas técnicas y 3 libros; Los cuales nos brindarán la información necesaria para la elaboración de este trabajo de investigación.

4.4.2 Diseño muestral

La muestra se consideró a los pavimentos permeables expuestos a tráfico medio y a intensidad de precipitación menor a 100 mm/h, diseñados y aplicados como sistema de drenaje en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa y en el Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco.

4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.5.1 Tipos de técnicas e instrumentos

Análisis Documental: La información fue adquirida por diversas fuentes bibliográficas tales como tesis, artículos especializados, libros, manuales y páginas web.

4.5.2 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos

El análisis de la información bibliográfica seleccionada se recopiló de fuentes reconocidas y con respaldo institucional.

4.5.3 Procedimiento de la recolección de datos

La información adquirida se muestra en una matriz bibliográfica que sirvió para organizar y clasificar (autor, país, base de datos) adecuadamente lo revisado.

4.6 Técnicas para el procesamiento y el análisis de datos

La técnica de procesamiento y análisis de datos de la investigación bibliográfica se basa en recopilar, clasificar y procesar información en una matriz bibliográfica; empleando especificaciones técnicas, caracterizaciones y resultados obtenidos con anterioridad.

CAPÍTULO V: CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS

PERMEABLES

5.1 Consideraciones a Tener en Cuenta

Sañudo et al. (2012) menciona que la adecuada construcción de los pavimentos permeables es igual de importante que su diseño, y el mantenimiento u operación posterior es el factor más crítico para el éxito de esta infraestructura de drenaje.

En primer lugar, los operadores que participarán en los trabajos de construcción y mantenimiento deben conocer y comprender correctamente estos sistemas de drenaje. La negligencia y la colocación incorrecta de materiales interrumpirán el buen funcionamiento del pavimento permeable.

Para una ejecución exitosa, la elección correcta de los materiales utilizados para construir pavimentos permeables es esencial. Por tanto, los materiales y procedimientos utilizados deben ser de la más alta calidad.

Debe verificarse que, durante la construcción del pavimento permeable, se mantenga limpio la superficie excavada e impedir los aportes de sedimentos que generan la colmatación en las diferentes capas del pavimento.

5.2 Proceso Constructivo

Para empezar, el suelo de fundación que se encuentra en cualquier proyecto debe ser muestreado y sometido a pruebas de infiltración y capacidad de carga (Vidal, 2010).

Posteriormente, se ubica y limita el área, trazando el lugar en donde se implementará el nuevo pavimento permeable. Si resulta necesario eliminar algún pavimento existente, se debe asegurar de eliminar toda la estructura completa.

- Sub rasante:

Trujillo y Quiroz (2013) afirman que, luego de realizado el trazo y demoliciones, si fuese necesario, y de conocer el espesor total del paquete estructural del pavimento

permeable, se ejecuta la excavación en el terreno hasta la profundidad requerida. Lo recomendado es, que la excavación debe llevarse a cabo hasta que se descubra el terreno natural. En ese punto, debe aplicarse compactación por vibración para que se encuentre estable y nivelado, sin dejar áreas sueltas que puedan deformarse durante la construcción. De encontrarse terreno blando en la superficie del terreno natural, deberá excavarse, rellenarse con material adecuado y compactarse adecuadamente. De realizarse una mejora en el terreno natural, es necesario verificar que se cumpla con obtener el CBR calculado para el proyecto.

Dado que la uniformidad del soporte de la subrasante es fundamental para el correcto funcionamiento de los pavimentos permeables. Debe garantizarse esta uniformidad tanto en condiciones secas como húmedas. Ya que, los problemas de soporte de la subrasante pueden ser causados por la presencia de limo y/o arcilla, que son muy compresibles y tienen poca cohesión o tienden a expandirse en condiciones húmedas. Esta condición en los suelos puede ser analizadas individualmente en los soportes. Si resulta necesario se debe modificar o reemplazar con un material permeable adicional sobre el suelo inadecuado

Antes de colocar la subbase o geosintético, si fuese necesario, la subrasante debe alinearse y nivelarse de manera que no se presenten áreas dañadas por la erosión o la compactación por el tráfico

- Geosintéticos:

Inmediatamente después de la preparación de la subrasante se debe poner la geomembrana, si el diseño lo requiere, y las capas porosas. Se debe tener en cuenta las consideraciones del fabricante.

En la instalación del geotextil, es adecuado traslapar 30 cm por lo menos (Interpave, 2008).

Trujillo y Quiroz (2013) La colocación del geotextil debe realizarse en base a las normas y consideraciones técnicas del fabricante. Se deben tomar todas las medidas necesarias para evitar que cualquier escurrimiento o sedimento ingrese a la capa de almacenamiento (p. 63).

- Sub-base y base:

Sañudo et al. (2010) recomienda evitar la segregación de los áridos empleados. (Interpave, 2010) considera menciona debido a que los materiales de subbase permeables carecen de finos, existe la posibilidad de segregación durante el proceso de transporte y construcción. Por lo que, se debe tener cuidado para evitar la segregación, pero si esto ocurre, se deben tomar medidas correctivas. Esto se puede reducir utilizando un material triturado angular con alta fricción superficial. La naturaleza y la clasificación de la subbase permeable variarán entre diferentes fuentes y, a menudo, es conveniente realizar pruebas en el sitio para determinar la metodología de construcción adecuada. La subbase permeable debe colocarse en capas de 100 a 150 mm y compactarse para garantizar que se logre la máxima densidad para el tipo de material y la clasificación en particular, sin triturar las partículas individuales o reducir la relación de huecos por debajo del valor de diseño, dentro de una tolerancia de + 20 mm a - 15 mm del diseño. Los materiales son relativamente autocompactantes y generalmente no se requiere una compactación pesada.

Se debe colocar la capa base lo suficientemente uniforme para que permita la colocación del asfalto poroso y la profundidad no debe ser menor a 10 cm (Trujillo y Quiroz, 2013).

El tamaño de partícula de la capa de transición debe permitir que el agua pueda fluir verticalmente y al mismo tiempo asegurar la estabilidad del pavimento. Es necesario buscar agregado granular fino en el rango de 2 mm a 6 mm (Castro, 2011).

- Drenes:

En el caso de pavimentos que no infiltran las aguas lluvias en el lugar, es necesario instalar drenes en el fondo de la subbase. Estos drenes, normalmente tuberías de PVC perforadas, se colocan en una zanja que puede ser rodeada de un filtro geotextil, para prevenir el ingreso de partículas, tal como se muestra en la figura N°

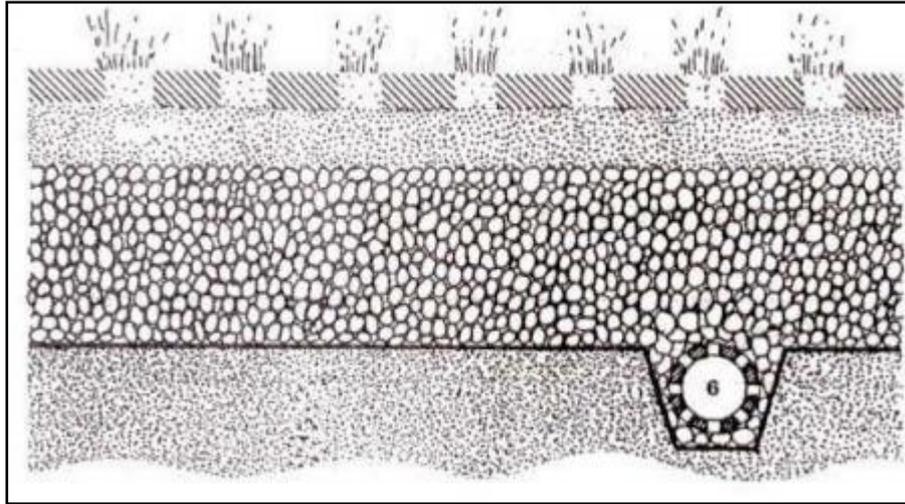


Figura N° 13: Tubería perforada para funcionar como dren
Fuente: Minvu-Dictuc (1996)

- Carpeta de rodadura:

Trujillo y Quiroz (2013) proponen el siguiente procedimiento de colocación de una mezcla asfáltica porosa.

Transporte de material: El equipo de transporte no debe ser demasiado grande, debe estar limpio y debe de realizar una descarga suave, es decir, que no provoque un gran impacto. La mezcla debe cubrirse para evitar la lluvia, el polvo y los cambios de temperatura.

Colocación y nivelación: La pavimentadora debe ser un equipo autopulsado con una regla niveladora, capaz de esparcir y dar un acabado a la mezcla y que pueda además, soportar altas temperaturas. Por lo general, se requieren temperaturas elevadas para unir la capa recién colocada a la capa colocada con anterioridad. La superficie acabada debe tener una textura uniforme sin muestras de rasgado o huellas.

Requisitos de temperatura: La mezcla asfáltica porosa, en el momento de descarga del vehículo de acarreo y en la pavimentadora debe encontrarse entre una temperatura de 135 – 165 °C.

Esparcido y acabados: La mezcla asfáltica debe colocarse en capas de 10 cm de espesor, asegurando la completa unión de las capas. Debe evitarse el contacto de la mezcla con polvo, humedad y tráfico.

Compactación: Después de colocar, esparcir la mezcla de asfalto y corregir las irregularidades de la superficie, cada lámina de asfalto se compacta inmediatamente de manera uniforme. Esta compactación se realiza mediante un dispositivo con rodillo, evitando imperfecciones en la carpeta de rodadura.

Juntas: Se implementan las juntas entre carpetas antiguas o colocadas recientemente, para de esta manera asegurar la unión de estas.

Revisión de la superficie: Se debe revisar que la superficie de la carpeta quede uniforme, sin desniveles.

Acabados: La superficie del pavimento permeable debe aspirarse y dejar completamente limpio de material suelto.

5.3 Mantenimiento

El mantenimiento cumple una importante labor en los pavimentos permeables, dado que para asegurar el correcto funcionamiento de esta tecnología se debe conservar limpia y sin la presencia de sedimentos, por lo que se requiere un barrido con aspiración de al menos dos veces al año, dependiendo del estado del pavimento permeable (Sañudo et al. ,2012).

(Maine Department of Environmental Protection, 2012 propone los siguientes procedimientos y consideraciones esenciales para el mantenimiento de sistemas de pavimentos permeables:

- Fertilización: Evitar la fertilización en el área de infiltración.
- Inspección y monitoreo: Debe de inspeccionarse regularmente el pavimento permeable durante el primer año de operación y sobre todo luego de ocurrido un evento de precipitación elevada. Revisar el correcto funcionamiento del sistema de infiltración.

- Monitoreo del agua subterránea: La revisión de la calidad de agua subterránea infiltrada, debe de incluirse en el mantenimiento de los pavimentos permeables.
- Rehabilitación: Revisar las tuberías perforadas que no se encuentren libres de obstrucciones y de ser necesario reconstruir el sistema de infiltración.
- Barrido y aspirado: Las superficies permeables deben de aspirarse y barrerse para evitar el amontonamiento de sedimentos y no obstaculicen el flujo del agua.
- Corrección a daños perjudiciales: Se debe ejecutar una propuesta correctiva apropiada para los daños perjudiciales en el desempeño estructural, como las depresiones, ahuellamiento y partes agrietadas o rotas (Interpave, 2010).

El mantenimiento regular del pavimento permeable ha demostrado una mejora en su comportamiento y un aumento de la vida útil. por lo que se debe evitar su ausencia en el pavimento, dedicando el dinero necesario para esta tarea. Se debe promover campañas de conocimiento sobre la prevención de los pavimentos permeables (Castro et al., 2005).

Se calculó la precipitación máxima en 24 horas en el cual se consideró un periodo de retorno de $T=10$ años, que es lo que sugiere la guía de diseño (MINVU-DICTUC, 1996) si la red de drenaje aguas abajo no está bien desarrollada que es el caso de este estudio. Se hizo uso de las distribuciones, Gumbel, Normal, Log Normal 2 parámetros, Log normal, Log Gumbel y Log Pearson tipo III. Con el uso del software especializado en distribuciones estadísticas para cálculos de datos pluviométricos “HidroEsta” se procedió con lo siguiente:

6.1.1.1 Distribuciones en el software HidroEsta

Para esta distribución se obtuvo:

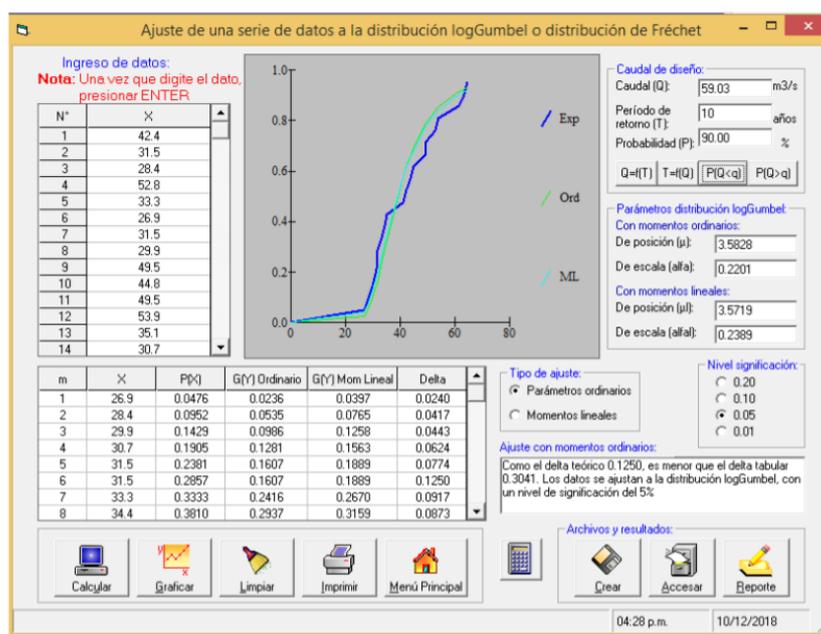


Figura N° 14: Distribución Log Gumbel en el software HidroEsta
 Fuente: Software HidroEsta

Con esta distribución para un periodo de retorno de 10 años nos arroja una precipitación máxima en 24 horas de 59,03 mm. El cual fue la mayor precipitación obtenida de todas las distribuciones realizadas en este trabajo, las precipitaciones obtenidas para las otras distribuciones fueron:

Tabla N° 18: Precipitaciones máximas probables.

Distribución	Periodo de retorno (años)	Precipitación máxima 24h (mm)
Gumbel	10	58.29
Normal	10	58.02
Log normal 2 parámetros	10	58.65
Log Gumbel	10	59.03
Log Pearson tipo III	10	58.96

Fuente: Vela y Cruz (2018)

Para continuar con los cálculos y el diseño se trabajará con la precipitación máxima en 24 horas obtenida de la distribución Log Gumbel (59.03 mm).

Luego aplicando los dos modelos calculamos la lámina de lluvia para diferentes periodos de retorno.

6.1.1.2 Aplicación del modelo Frederick Bell

Con la máxima precipitación (59,03 mm), calculada de la distribución de Log Gumbel, se calculan los siguientes resultados:

$P_{T=10}^{t=60}$: Lámina de lluvia para tiempo de retorno T=10 años y t=1hora = 60 min.

$$P_{T=10}^{t=60} = 0.3862 * 59.03 = 22.80 \text{ mm}$$

Reemplazando en la ecuación 1:

$$P_t^{T_R} = (0,21 * \ln T_R + 0,52) * (0,54 * t^{0,25} - 0,50) * 22,80$$

Se tabularon los resultados de la siguiente manera:

Tabla N° 19: Valores de precipitación en mm, para diversos TR y Dt=t

Periodo duración Dt: min	Tiempo de retorno en años				
	2	5	10	25	50
10	6.98	9	10.53	12.55	14.08
20	9.74	12.56	14.69	17.5	19.63
30	11.59	14.94	17.47	20.82	23.36
40	13.02	16.78	19.63	23.39	26.24
50	14.2	18.31	21.41	25.52	28.62
60	15.22	19.62	22.94	27.34	30.67
120	19.53	25.18	29.45	35.1	39.37
180	22.42	28.91	33.81	40.3	45.2
240	24.66	31.79	37.19	44.32	49.71
300	26.51	34.18	39.98	47.64	53.44
360	28.1	36.23	42.37	50.5	56.65
480	30.76	39.66	46.39	55.28	62.01
600	32.96	42.5	49.7	59.24	66.44
720	34.86	44.93	52.56	62.63	70.26
840	36.52	47.08	55.07	65.63	73.62
960	38.02	49.01	57.33	68.32	76.64
1080	39.38	50.77	59.38	70.77	79.38
1200	40.64	52.39	61.27	71.51	81.91
1320	41.8	53.89	63.03	75.11	84.25
1440	42.89	55.29	64.66	77.06	86.44

Fuente: Adaptado de Vela y Cruz (2019)

Tabla N° 20: Intensidades de precipitación en mm/h, para diversos TR y Dt=t

Periodo duración Dt: min	Tiempo de retorno en años				
	2	5	10	25	50
10	41.90	54.02	63.18	75.30	84.46
20	29.22	37.67	44.06	52.51	58.90
30	23.18	29.88	34.95	41.65	46.72
40	19.53	25.17	29.45	35.09	39.36
50	17.04	21.97	25.70	30.62	34.35
60	15.22	19.62	22.94	27.34	30.67
120	9.77	12.59	14.73	17.55	19.68
180	7.47	9.64	11.27	13.43	15.07
240	6.17	7.95	9.30	11.08	12.43
300	5.30	6.84	8.00	9.53	10.69
360	4.68	6.04	7.06	8.42	9.44
480	3.85	4.96	5.80	6.91	7.75
600	3.30	4.25	4.97	5.92	6.64
720	2.90	3.74	4.38	5.22	5.85
840	2.61	3.36	3.93	4.69	5.26
960	2.38	3.06	3.58	4.27	4.79

1080	2.19	2.82	3.30	3.93	4.41
1200	2.03	2.62	3.06	1.58	4.10
1320	1.90	2.45	2.86	3.41	3.83
1440	1.79	2.30	2.69	3.21	3.60

Fuente: Adaptado de Vela y Cruz (2019)

6.1.1.3 Aplicación del modelo del Soil Conservation Service (SCS)

A continuación, se muestran las precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes tiempos de retorno, obtenidas de las distribuciones evaluadas en el software HidroEsta.

Tabla N° 21: Valores de precipitaciones máximas.

DISTRIBUCION	Tiempo de retorno en años				
	2	5	10	25	50
Gumbel	40.44	51.18	58.29	67.28	73.95
Normal	42.44	52.66	58.02	63.72	67.71
Log normal 2 parámetros	40.85	51.8	58.65	66.96	72.94
Log Gumbel	39	50.04	59.03	72.73	84.91
Log Pearson tipo III	66.08	51.64	58.96	68.19	75.06

Fuente: Adaptado de Vela y Cruz (2019)

De igual manera que con el método Frederick Bell, se trabajaron con las precipitaciones máximas en 24 horas obtenidas de la distribución Log Gumbel y con la fórmula del Soil Conservation Service para calcular las intensidades máximas para diferentes tiempos de retorno y tiempos de concentración, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla N° 22: Intensidades de precipitación en mm/h; para diversos TR y Dt=t

Periodo duración Dt: min	Tiempo de retorno en años				
	2	5	10	25	50
10	32.00	41.06	48.44	59.68	69.68
20	21.11	27.09	31.96	39.37	45.97
30	16.55	21.24	25.06	30.87	36.04
40	13.93	17.87	21.08	25.98	30.33

50	12.18	15.63	18.44	22.72	26.53
60	10.92	14.01	16.53	20.37	23.78
120	7.21	9.25	10.91	13.44	15.69
180	5.65	7.25	8.55	10.54	12.30
240	4.75	6.10	7.20	8.87	10.35
300	4.16	5.34	6.29	7.75	9.05
360	3.73	4.78	5.64	6.95	8.12
480	3.14	4.02	4.75	5.85	6.83
600	2.74	3.52	4.15	5.12	5.97
720	2.46	3.16	3.72	4.59	5.35
840	2.24	2.88	3.39	4.18	4.88
960	2.07	2.66	3.13	3.86	4.51
1080	1.93	2.47	2.92	3.60	4.20
1200	1.81	2.32	2.74	3.38	3.94
1320	1.71	2.19	2.59	3.19	3.72
1440	1.62	2.08	2.46	3.03	3.53

Fuente: Adaptado de Vela y Cruz (2019)

6.1.1.4 Coeficientes de escorrentía

Tabla N° 23: Cálculo de coeficiente de escorrentía ponderado

CALLE	Uso del Suelo	Área (m ²)	C ($A_I: A_P$)	C Ponderado	Relación
Copus Cristi	Techos	3520.36	0.9	0.89	1.98:1
	Praderas	0	0.2		
	Pavimentos	2151.62	0.9		
	Veredas	732.21	0.8		
Área Total		6404.19			

Fuente: Adaptado de Vela y Cruz (2019)

En la investigación realizada por Vela y Cruz (2019) se realizó el diseño de pavimento permeable para 6 calles, de las cuales se ha tomado en cuenta solo el Jr. Corpus Cristi, para motivo de análisis en esta investigación.

6.1.1.5 Cálculo de Infiltración

A continuación, se muestran resultados del ensayo de cilindros concéntricos de las pruebas realizadas en el Jr. Corpus Cristi.

Tabla N° 24: Resultados del ensayo de infiltración en el Jr. Corpus Cristi

Tiempo (s)	Altura (cm)	V(parcial) (cm ³)	V. acumulado (cm ³)	Infiltración (mm/h)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
200	0.10	18.24 cm ³	18.24	18.00
400	0.10	18.24 cm ³	36.48	18.00
600	0.00	0.00 cm ³	36.48	0.00
800	0.20	36.48 cm ³	72.97	36.00
1000	0.20	36.48 cm ³	109.45	36.00
1200	0.10	18.24 cm ³	127.69	18.00
1800	0.20	36.48 cm ³	164.17	12.00
2400	0.20	36.48 cm ³	200.66	12.00
3000	0.20	36.48 cm ³	237.14	12.00

Fuente: Adaptado de Vela y Cruz (2019)

La tasa de infiltración se puede estimar en 12,00 mm por hora.

De acuerdo a lo resultados de las pruebas de infiltración (Tabla 22) se determinó una tasa de infiltración de la subrasante de 12 mm/h que equivale a $3,33 \times 10^{-6}$ m/s, que según la Tabla N°8 propuesta por Interpave (2010) estaría entre los intervalos de 10^{-8} a 10^{-6} m/s, lo que indica que los sistemas que se ajustan a estos valores serian el sistema B y C.

Además, MINVU-DICTUC (1996) precisa que, para instalar un sistema de pavimentos permeables con infiltración completa, la tasa de infiltración debe ser mayor que 13 mm/hora, ya que de dimensionar con tasa de infiltración menores daría como resultados espesores de la subbase excesivas y poco rentables.

Ante esto se optó por un sistema de pavimento permeable sin infiltración a la subrasante. Para ello se implementó un dren longitudinal (mediante tubería de PVC perforada), que sustituye a la capacidad de infiltración del terreno y que a su vez conduzca hacia un punto de evacuación o estanque de almacenamiento el volumen afluente de la lluvia, con el fin de que pueda ser utilizado posteriormente en algún uso no potable (riego, lavado de vehículos, etc.)

Es conveniente indicar que dentro de los alcances de esta investigación no está diseñar el sistema posterior (estanque de almacenamiento), pero si los elementos para evacuar el agua hasta este, lo cual incluye un dren longitudinal.

6.1.2 Estudio hidrológico (Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco)

Periodo de retorno $T=10$ años y duración entre 1 y 24 horas, según

$$P_D^T = 1,1 * CF^T * CD_D * PD^{10}$$

Donde en base a MINVU-DICTUC (1996), se asume:

- CF^T = Coeficiente de frecuencia igual a 1,0
- Pd^{10} = Precipitación máxima igual 82,3 mm
- CD_D = Coeficiente de duración igual 0,19

$$P_D^T = 1,1 * CF^T * CD_D * PD^{10} \quad ; \text{ Para D entre 1 y 24 horas}$$

$$P_D^T = 1,1 * 1,0 * 0,19 * 82,3 = 17,02mm \quad ; \text{ Para D = 1 hora}$$

Para estimar la precipitación total de una lluvia con $T=10$ años y duración menor a 1 hora:

$$P_D^T = CF^T * CD_D * P_{60}^{10}$$

Donde:

- $CF^T = 0,21 * \ln(T) + 0,52 = 1,00$: Coeficiente de frecuencia para $T = 10$ años.
- $CD_D = 0,54 * D^{0,25} - 0,50$: Coeficiente de duración cuyos valores para lluvias entre 5 y 60 minutos se obtienen de la Tabla 25.
- $P_{60}^{10} = 17,20 \text{ mm}$: Precipitación de 1 hora y $T = 10$ años.

Tabla N° 25: Coeficientes de duración para precipitaciones inferiores a una hora

Duración (min)	5	10	15	20	30	40	50	60
CD _D	0.31	0.46	0.56	0.64	0.76	0.89	0.94	1.00

Fuente: Adaptado de MINVU-DICTUC (1996)

Tabla N° 26: Coeficientes de duración en Temuco, precipitaciones con Tr=10años

Duración (h)	1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
CD _D	0.19	0.31	0.47	0.58	0.65	0.71	0.79	0.82	0.91	1.00

Fuente: Adaptado de MINVU-DICTUC (1996)

Reemplazando estos valores, la precipitación total sería:

$$P_D^{10} = 17,20 * CD_D \quad : \quad \text{Para } D \text{ entre } 5 \text{ y } 60 \text{ minutos}$$

Para el cálculo del coeficiente correspondiente a este proyecto, se tuvo que definir la zona según el destino final de las aguas infiltradas:

Tabla N° 27: Resultados de los volúmenes de infiltración y almacenamiento

Duración		CD _D	P _D ¹⁰ (mm)	I (mm/h)	Zona I		
(hora, min)	(hora)				V _{afil} (t)	V _{inf} (t)	V _{alm} (t)
0h 0m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0h 5m	0.08	0.31	5.29	66.13	15.49	21.24	-5.75
0h 10m	0.17	0.46	7.92	46.59	23.19	45.14	-21.95
0h 15m	0.25	0.56	9.68	38.72	28.35	66.38	-38.03
0h 20m	0.33	0.64	11.04	33.45	32.34	87.63	-55.28
0h 30m	0.50	0.76	13.14	26.28	38.48	132.77	-94.28
0h 40m	0.67	0.89	14.76	22.03	43.23	177.91	-134.68
0h 50m	0.83	0.94	16.10	19.40	47.16	220.39	-173.24
1h	1.00	0.19	17.20	17.20	50.38	265.53	-215.15
2h	2.00	0.31	28.06	14.03	82.21	531.06	-448.86
4h	4.00	0.47	42.55	10.64	124.64	1062.12	-937.49
6h	6.00	0.58	52.51	8.75	153.81	1593.19	-1439.38
8h	8.00	0.65	58.84	7.36	172.37	2124.25	-1951.88
10h	10.00	0.71	64.28	6.43	188.28	2655.31	-2467.03
12h	12.00	0.79	71.52	5.96	209.49	3186.37	-2976.88
14h	14.00	0.82	74.23	5.30	217.45	3717.43	-3499.98
18h	18.00	0.91	82.38	4.58	241.32	4779.56	-4538.24
24h	24.00	1.00	90.53	3.77	265.18	6372.74	-6107.56

Fuente: Adaptado de Barahona (2014)

Cálculo de coeficientes de escorrentía ponderados.

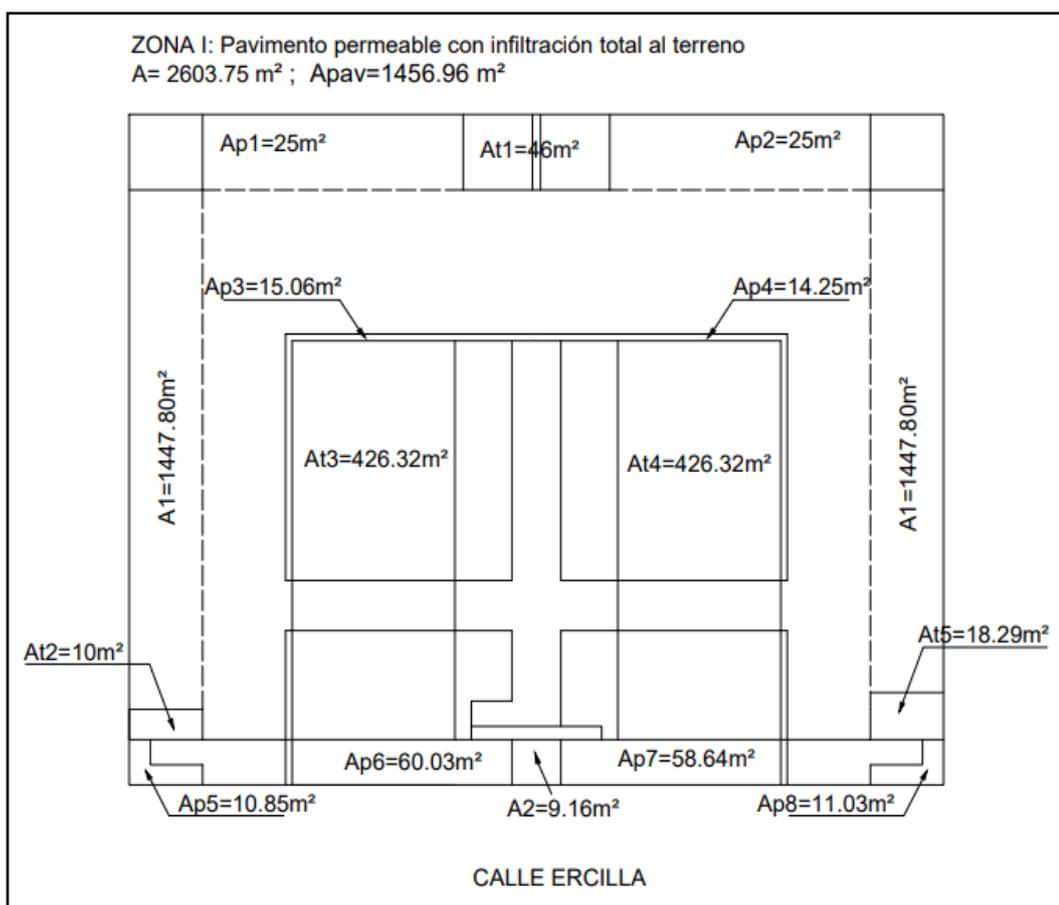


Figura N° 15: Vista en planta de la zona a implementar el pavimento permeable
 Fuente: Adaptado de Barahona (2014)

Conociendo los valores de todas las áreas, se calcula el coeficiente de escorrentía:

Tabla N° 28: Resultados del coeficiente de escorrentía

Zona	Uso del suelo	Designación Área	AA _i (m ² .)	C _i (Tabla 4)
I:	Estacionamientos	A1	1447,80	1,00
Infiltración completa al terreno	Paseo peatonal	A2	9,16	1,00
	Techos	At1+...+At5	926,93	0,90
	Prados	Ap1+...+Ap8	219,86	0,25
A=2603,75 m ²				

Fuente: Adaptado de Barahona (2014)

6.2 Resultados del Diseño Hidráulico

6.2.1 Diseño hidráulico (Jr. Corpus Cristi - Molinopampa)

A) PENDIENTE

S% = 3.24 **Ok**

B) NAPA FREÁTICA

Profundidad = 3 **Ok**

C) TASA DE INFILTRACIÓN

f (mm/hora) = 0 mm/h **No usar infiltración al suelo**

D) CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO

CBR= 8.31 **Ok**

E) DIMENSIONAMIENTO

E.1) PERCOLACIÓN DE LA CAPA DEL PAVIMENTO

C_s = 0.5

E.2) SUBBASE Y VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO

$$V_{alm} = \text{Max} (V_{afl}(t) - V_{inf}(t))$$

$$V_{afl}(t) = 1.25(0.001C * It * A * t) = 0,00125C * A * P_t^T$$

$$V_{inf}(t) = 0.001(f * C_s * A_e * t)$$

Calle	C ponderado	Área total	Área del pav.
Corpus Cristi	0.89	6404.19	2151.52

Volumen afluente					
Duración (h)	$P_t^{10}(mm)$	I (mm/h)	$V_{afl} (m^3)$	$V_{inf} (m^3)$	$V_{alm} (m^3)$
0.17	10.53	63.18	74.90	0.00	74.90
0.33	14.69	44.05	104.47	0.00	104.47
0.50	17.47	34.95	124.30	0.00	124.30
0.67	19.63	29.45	139.63	0.00	139.63
0.83	21.41	25.70	152.31	0.00	152.31
1.00	22.94	22.94	163.21	0.00	163.21
2.00	29.45	14.73	209.49	0.00	209.49
3.00	33.81	11.27	240.51	0.00	240.51
4.00	37.19	9.30	264.52	0.00	264.52
5.00	39.98	8.00	284.36	0.00	284.36
6.00	42.37	7.06	301.42	0.00	301.42
8.00	46.39	5.80	329.96	0.00	329.96
10.00	49.70	4.97	353.56	0.00	353.56
12.00	52.56	4.38	373.84	0.00	373.84
14.00	55.07	3.93	391.73	0.00	391.73
16.00	57.33	3.58	407.79	0.00	407.79
18.00	59.38	3.30	422.40	0.00	422.40
20.00	61.27	3.06	435.85	0.00	435.85
22.00	63.03	2.86	448.85	0.00	448.85
24.00	64.66	2.69	459.97	0.00	459.97

E.3) CAPACIDAD DE DRENAJE LONGITUDINAL ADICIONAL

Máximo volumen de almacenamiento para la subbase

SUBBASE

Porosidad =	0.3		Ae =	2151.62 m ²
Espesor =	0.2 m		Valm =	129.1 m ³

$$e = \frac{V_{alm}}{(p * A_e)} \Rightarrow \begin{matrix} V_{alm} = e * p * Ae = 0.2 * 0.3 * 2151.52 \\ V_{alm} = 129.0972 \end{matrix}$$

Infiltración mínima:
$$f = \frac{0.00125 * C * A * P_t^T - V_{alm}}{0.001 * C_s * A_e * t}$$

Duración (hr)	P _t ¹⁰ (mm)	V _{an} (m ³)	f (mm/h)	V _{inf} (m ³)	V _{alm} (m ³)
0.17	10.53	74.90	-302.25	0.00	74.90
0.33	14.69	104.47	-68.67	0.00	104.47
0.50	17.47	124.30	-8.93	0.00	124.30
0.67	19.63	139.63	14.69	0.00	139.63
0.83	21.41	152.31	25.89	0.00	152.31
1.00	22.94	163.21	31.71	0.00	163.21
2.00	29.45	209.49	37.36	0.00	209.49
3.00	33.81	240.51	34.52	0.00	240.51
4.00	37.19	264.52	31.47	0.00	264.52
5.00	39.98	284.36	28.86	0.00	284.36
6.00	42.37	301.42	26.70	0.00	301.42
8.00	46.39	329.96	23.34	0.00	329.96
10.00	49.70	353.56	20.86	0.00	353.56
12.00	52.56	373.84	18.96	0.00	373.84
14.00	55.07	391.73	17.44	0.00	391.73
16.00	57.33	407.79	16.19	0.00	407.79
18.00	59.38	422.40	15.15	0.00	422.40
20.00	61.27	435.85	14.26	0.00	435.85
22.00	63.03	448.85	13.49	0.00	448.85
24.00	64.66	459.97	12.81	0.00	459.97

E.4) CAPACIDAD DE SALIDA O DESCARGA (m³/s)

$$Q_{min} = f * Ae = 37,36 * 2151,62 * \frac{1}{3600 * 1000} = 0.022327996 \text{ m}^3/\text{s} = 22.33 \text{ L/seg}$$

E.5) FLUJO A TRAVÉS DE LAS PERFORACIONES (m³/s)

$$Q_{perf} = N * Cd * A * (2 * g * h)^{0.5} = 1 * 0.8 * \frac{94.2}{10^4} * (2 * 9.81 * 0.005)^{0.5}$$

$$Q_{perf} = 0.00236034 \text{ m}^3/\text{s} = 2.360344496 \text{ L/seg}$$

N =	1	Número de perforaciones en un metro de tubería
Cd =	0.8	Coefficiente de descarga
A =	94.2 mm ²	Superficie filtrante para 1m de tubería de D=150mm
G =	9.81 m/s ²	Aceleración de la gravedad
H =	0.005 m	Máxima altura del agua sobre el orificio en m

CAPACIDAD HIDRÁULICA DE UNA TUBERÍA DE PVC D=150mm

D (mm)	150	<i>Ecuación de Manning:</i>	$Q_{salida} = \frac{A * R^{2/3} * S^{1/2}}{n}$
e (mm)	2.2		
S (%)	3.27		
n	0.013		
Área sección mojada (m ²)	0.017		$Q_{salida} = \frac{0.017 * 0.036^{2/3} * 3.27^{1/2}}{0.013}$
Perímetro mojado (m)	0.457		
R (m ²)	0.036		$Q_{salida} = 0.025438 \text{ m}^3/\text{seg}$
h/D	1		$Q_{salida} = 25.438 \text{ L/seg}$
Q (l/s)	25.438		
V (m/s)	1.53		

La capacidad hidráulica del dren sustituirá la capacidad de infiltración al terreno, motivo por el cual se procede a calcular dicha infiltración.

Calculamos la nueva tasa de infiltración que será reemplazada por la capacidad hidráulica

$$f = \frac{Q_{salida}}{A_e} \Rightarrow f = \frac{25.438}{2151.62} * 3600 \Rightarrow f = 42.56 \text{ (mm/h)}$$

Calculado la tasa de infiltración, se procede a calcular los volúmenes de almacenamientos finales obtenidos con dicha tasa de infiltración.

Volúmenes acumulados afluente, infiltrados y de almacenamiento				
Duración (h)	P_t^0 (mm)	V_{afI} (m ³)	V_{inf} (m ³)	V_{alm} (m ³)
0.17	10.53	74.90	7.63	67.27
0.33	14.69	104.47	15.26	89.21
0.50	17.47	124.30	22.89	101.41
0.67	19.63	139.63	30.53	109.10
0.83	21.41	152.31	38.16	114.15
1.00	22.94	163.21	45.79	117.42
2.00	29.45	209.49	91.58	117.91
3.00	33.81	240.51	137.36	103.15
4.00	37.19	264.52	183.15	81.37
5.00	39.98	284.36	228.94	55.42
6.00	42.37	301.42	274.73	26.69
8.00	46.39	329.96	366.30	-36.34
10.00	49.70	353.56	457.88	-104.32
12.00	52.56	373.84	549.45	-175.61
14.00	55.07	391.73	641.03	-249.30
16.00	57.33	407.79	732.61	-324.82
18.00	59.38	422.40	824.18	-401.78
20.00	61.27	435.85	915.76	-479.91
22.00	63.03	448.85	1007.33	-558.48
24.00	64.66	459.97	1098.91	-638.94

E.6) ESPESOR DE LA SUBBASE

$$e = \frac{V_{alm}}{(p * A_s)} \Rightarrow e = \frac{117,91}{0.3 * 2151.62} \Rightarrow e = 0.183 \text{ m}$$

e = 0.20 m

E.7) TIEMPO DE VACIADO

$$t_m = \frac{p * e_s}{(C_s * f)} \Rightarrow t_m = \frac{0.3 * (0.20 * 1000)}{0.5 * 42.56}$$

$t_m = 2.82$ **< 24 horas OK**

6.2.2 Diseño hidráulico (Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco)

Las siguientes consideraciones a tomar en cuenta para el diseño hidráulico son:

- Para obtener la capacidad de infiltración en el terreno se realizó 2 ensayos Porchet. Obteniendo, como capacidad más desfavorable igual 243 mm/hr, la cual fue empleada en el diseño hidráulico.
- Se obtuvo un índice CBR del terreno igual a 12%.
- Se identificó pendientes de 1% en sentido longitudinal y 0.5% en sentido transversal.
- De las 3 calicatas excavadas hasta 3 m, no se detectó la presencia de la napa freática.
- El área de pavimento fue 2603.75 m², encontrándose dentro del área máxima recomendado igual a 40 000 m².

Cálculo de volumen afluente acumulado.

Zona	C	Área (m ²)	$V_{afi}(t) = 0,00125 * C * A * P_t^T$ T= 10 años.
I	0,90	2603,75	$2,93 * P_t^{10}$

Cálculo de volumen acumulado infiltrado.

Zona	Cs	i (mm/hora.)	Ae (m ²)	$V_{inf}(t) = 0,001 * C_s * f * A_e * t$
I	0.75	243	1456.96	$265.56 * t$

Tabla N° 29: Respuesta del sistema ante la tormenta de diseño con T=10 años

Duración		Cb	P_D^{10} (mm)	I (mm/h)	Zona I		
(h., min.)	(h.)				V _{at} (l)	V _{in} (l)	V _{an} (l)
0h 0m	0	0.00	0.00	0	0	0.00	0.00
0h 5m	0.08	0.31	5.29	66,11	15,49	21,24	-5,75
0h 10m	0.17	0.46	7.92	46,57	23,19	45,14	-21,95
0h 15m	0.25	0.56	9.68	38,71	28,35	66,38	-38,03
0h 20m	0.33	0.64	11.04	33,46	32,34	87,63	-55,28
0h 30m	0.5	0.76	13.14	26,27	38,48	132,77	-94,28
0h 40m	0.67	0.89	14.76	22,03	43,23	177,91	-134,68
0h 50m	0.83	0.94	16.10	19,40	47,16	220,39	-173,24
1h	1	0.19	17.20	17,20	50,38	265,53	-215,15
2h	2	0.31	28.06	14,03	82,21	531,06	-448,86
4h	4	0.47	42.55	10,64	124,64	1062,12	-937,49
6h	6	0.58	52.51	8,75	153,81	1593,19	-1439,38
8h	8	0.65	58.84	7,36	172,37	2124,25	-1951,88
10h	10	0.71	64.28	6,43	188,28	2655,31	-2467,03
12h	12	0.79	71.52	5,96	209,49	3186,37	-2976,88
14h	14	0.82	74.23	5,30	217,45	3717,43	-3499,98
18h	18	0.91	82.38	4,58	241,32	4779,56	-4538,24
24h	24	1.00	90.53	3,77	265,18	6372,74	-6107,56

Fuente: Barahona (2014)

- Espesor de la sub-base:

Zona I: No existe volumen de almacenamiento en esta capa, es por ello que, para que drene el volumen afluente acumulado, solo basta con la superficie de contacto entre la subbase y la subrasante. Siendo de esta manera, el espesor de la subbase dependiente del diseño estructural

- Subrasante:

La subrasante de suelo natural se deberá excavar, previniendo que el suelo original sea compactado, para de esta manera mantener su capacidad de infiltración

- Diseño de los elementos de detalle:

- Zarpas o separadores:

Se instalan para dividir los bloques y seccionar el flujo horizontal de agua en la zona del proyecto. La distancia máxima entre separadores se detalla en la Tabla N°30.

Tabla N° 30: Cálculo de la distancia máxima entre separadores

Zona	e_s (m.)	Sentido pendiente	S_o (tanto por uno)	$L_{max} = \frac{e_s}{2 \cdot S_o}$ (m)
I	0,100	Longitudinal	0,010	5
	0,100	Transversal	0,005	10

Fuente: Barahona (2014)

6.3 Resultados del Diseño Estructural

6.3.1 Diseño estructural (Jr. Corpus Cristi - Molinopampa)

De los ensayos realizados por Vela y Cruz a nivel de la subrasante, se obtuvo un índice de CBR igual 8 % y tasa de infiltración de 3.33×10^{-6} m/s. De acuerdo a la tabla N°9, indica que el suelo de fundación en el cual se implementará el pavimento permeable se clasifica como arcilla arenosa.

Etapa 1: Categoría de carga y tránsito.

Para el desarrollo de esta investigación se optó por diseñar una vía urbana local que según CE. 010 Pavimentos Urbanos, se clasifica en la categoría :

- Residencial Ligera: Categoría 4 (menor a 200 vehículos por día)

Etapa 2: Selección de material y espesor

Para la categoría de carga 4 y para un sistema C (sin infiltración) obtenemos los siguientes espesores y materiales como se muestra en las figuras:

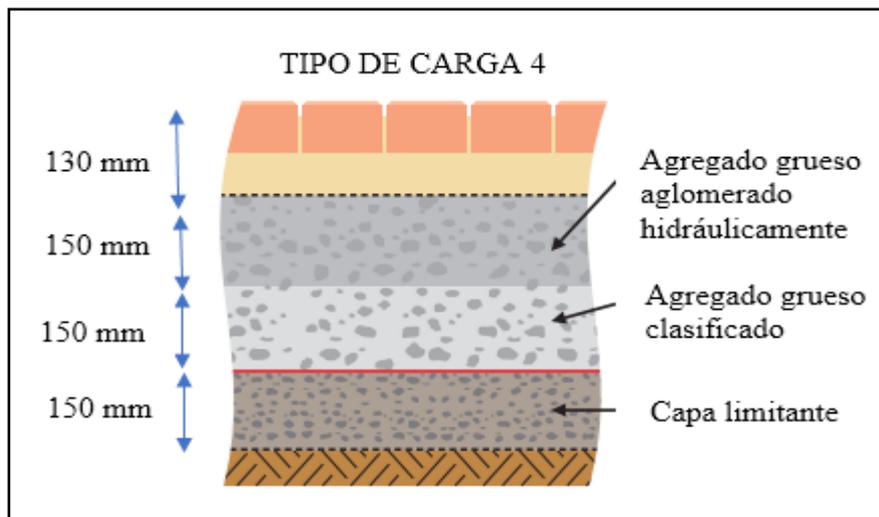


Figura N° 16: Espesores de capas de un pavimento permeable con tipo de carga 4
Fuente: Adaptado de Interpave (2010)

Etapa 3: Ajuste de CBR de la subrasante baja

Debido a presentar un índice de CBR igual a 8% y tomando como referencia lo propuesto en la tabla 8, no se requiere un reajuste del espesor calculado anteriormente.

6.3.2 Diseño estructural (Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco)

Zona I: Por tratarse de un área para estacionamientos, se consideró en el nivel de Tráfico Liviano y en la categoría III-B, según como se observa en la Tabla N° 31 propuesta por el manual de diseño de pavimentos de adoquines de concreto hidráulico. Esta categoría incluye a estacionamientos de desarrollos comerciales, industriales, deportivos u otros que reciben eventualmente vehículos pesados (vehículos de más de 1500 kg).

- Dimensionamiento

Especificadas las categorías dentro de la que se incluye el pavimento permeable del proyecto y la capacidad de soporte CBR a nivel de la subrasante, correspondiente a 12%, se procedió con el dimensionamiento en base a la Tabla N°32. En esta se asigna a la zona I el color rojo. Obteniendo 10 cm para la base,

10 cm para la sub-base y 10 cm para la superficie permeable de adoquín de concreto hidráulico.

Tabla N° 31: Clasificación de tráfico según nivel de solicitaciones

Nivel	Categoría	EE/día	EEAx10 ⁶	Veh/día		
PESADO	I	IA	>1000	>0,5	Estimar	Calles, caminos y accesos a desarrollos industriales, comerciales y otro con alta presencia de vehículos pesados.
		IB	<1000	>0,5	Estimar	
		IC	<200	>0,5	Estimar	
MEDIO	II	IIA	<60	>0,5	>5	Calles, caminos , pasajes, retornos, estaciones de servicio y espacios peatonales con presencia de vehículos pesados.
		IIB	<60	<0,5	<5	
LIVIANO	III	IIIA	<5	-	<1	Áreas peatonales en que circulan eventualmente vehículos pesados como pasajes o calles de condominios. Estacionamientos de desarrollos comerciales, industriales, deportivos u otros que reciben vehículos pesados
PEATONAL		IIIB	0	-	0	
	IV	0	-	0	0	Áreas peatonales, estacionamientos interiores a domicilios, parques y jardines, veredas, paseos peatonales.

Fuente: Manual de diseño de pavimentos de adoquines de concreto hidráulico. Echaveguren, 2013.

Tabla N° 32: Espesor de la base y sub-base para el diseño con adoquín - Zona I: IIIB

Tipo de Tráfico		Espesor de subbase granular, en mm, según CBR, en %					Espesor de base tratada (mm)	Espesor de cama de arena (mm)	Clase de Adoquín mínima	
Nivel	Categoría	2	3	4	5	≥6				
Medio	II	400	350	250	150	150	150	40	80	
	IIA IIB									
Liviano		IIA	350	300	225	150	150	100	40	60
	III	IIA	250	150	100	100	0	100	40	60
		IIB	300	250	180	100	100	100	40	60
Peatonal	IV	200	150	130	100	100	100	40	60	

Fuente: Manual de diseño de pavimentos de adoquines de concreto hidráulico. Echaveguren, 2013.

Las consideraciones a tomar en cuenta para cada una de las capas del pavimento permeable son:

- Adoquines

Los adoquines en general deben cumplir especificaciones de fabricación y desempeño, en base a ensayos propuestos en el manual chileno de diseño de pavimentos de adoquines de concreto hidráulico mencionadas en la Tabla N°33.

Tabla N° 33: Especificaciones y criterios para la colocación de adoquines

Especificación	Criterio	Normativa de diferencia
Dimensión	Largo: var \pm 2mm Ancho: var \pm 2mm Espesor: 60, 80, 100 \pm 3mm Largo/Ancho > 4 Largo/Espesor > 4	Dimensiones: NTC 2017-04 Espesor: NTC 2017-04 Tolerancias: ASTM C936-01
Resistencia a la flexotracción	Mínimo individual: 3 Mpa Mínimo promedio: 4 Mpa	Ensayo: BS 6717, NTC 2017-04 Valores: BC 6717
Resistencia a la compresión	Mínimo individual: 50 Mpa Mínimo promedio: 55 Mpa	Ensayo: MCV8, B-402, 11 (LNV 82) Valores: ASTM C936-01
Resistencia a la hielo/deshielo	< 1% en 50 ciclos	Ensayo: ASTM C1645-09 Valores: ASTM C936-01
Resistencia a la abrasión	Pérdida volumen: 15 cm ³ / 500 cm ² Pérdida espesor: <3mm	Ensayo: ASTM C1138, NTC 5147-03 Valores: ASTM C936-01
Absorción	Mínimo individual: < 7 % Mínimo promedio: < 5%	Ensayo: ASTM C1585 -11 Valores: ASTM C936-01
Resistencia al deslizamiento	> 65 BPN (calle de rodaje) > 55 BPN (vehicular) > 40 BPN (peatonal)	Ensayo: MCV8 8.602.24 Valores: MCV5 5.408.303C AS/NZS 3661.1.1993

Fuente: Manual de diseño de pavimentos de adoquines de concreto hidráulico. Echaveguren, 2013.

Los parámetros a utilizar en el diseño basado en MINVU (2008), son:

- Cama de arena

La capa debe tener un tamaño máximo de 1,0 mm y un contenido de finos hasta del 10%.

Tabla N° 34: Banda granulométrica para el material de la cama de arena

TAMIZ		% que pasa en peso
ASTM	NCH	
3/8"	10	100
#4	5	95-100
#8	2.5	80-100
#16	1.25	50-95
#30	0.63	25-60
#50	0.315	10-30
#100	0.16	5-15
#200	0.08	0-10

Fuente: Adaptada de Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación. MINVU, 2008.

- Base granular
Capacidad de soporte: $CBR \geq 80\%$

- Subbase granular
Capacidad de soporte: $CBR \geq 35\%$

6.4 Resultados del Diseño de Mezcla Asfáltica Drenante

6.4.1 Diseño Método Cantabro

- Granulometría empleada

Albuhajar (2012) tomó de guía la normativa PG-03, en la cual consideró la curva granulométrica para mezclas abiertas, PA-12 para el desarrollo de los ensayos.

Tabla N° 35: Curva granulométrica Normativa Española

TAMIZ (#)	TAMIZ (mm)	ESPECIFICACIÓN ESPAÑOLA	P		PA	
			10	12	10	12
3/4	19	20	100	100	100	100
0,53	13,2	12,5	100	75-100	100	75-100
3/8	9,5	10	80-90	60-90	70-90	60-90
Nº4	4,75	5	40-50	32-50	15-30	18-30
Nº8	2,36	2,5	10-18	10-18	10-22	10-22
Nº50	0,3	0,63	6-12	6-12	6-13	6-13
Nº200	0,075	0,08	3-6	3-6	3-6	3-6

Fuente: Albuhajar (2010)

- Porcentaje de asfalto

Se emplearon para los ensayos, porcentajes de asfalto de 3%, 3.5%, 4%, 4.5% y 5%. Luego de realizar el tamizado, se procedió a la dosificación de los agregados en base a la curva PA-12. En la que no se utilizó arena, solo agregados 3/4 y 3/8 al 70% y 30 % respectivamente.

Tabla N° 36: Curva Granulométrica de los agregados de la mezcla
DISEÑO DE PASTILLAS

MASA	100 GR		% ASFALTO		3%		
	3/4	3/8	3/7 - 70%	3/8 - 30%	SUMATORIA	TOTAL	
3/4"							
1/2"	37.2		26		26	260.4	
3/8"	17.9	7.5	12.5	2.25	14.8	147.8	
No. 4	42.6	17.8	29.8	5.34	35.2	351.6	
No. 8	0.6	19.9	0.4	5.97	6.4	63.9	
No. 30	0.5	21.3	0.4	6.39	6.7	67.4	
No. 200	0.6	21.5	0.4	6.45	6.9	68.7	
PASANTE	0.6	12	0.4	3.6	4	40.2	

Fuente: Adaptado de Albuajar (2010)

- Polímeros a usar

Se escogió el **polímero SBR**, dado que mejora las propiedades del asfalto, bien sea en la modificación mezcla caliente o en emulsiones asfálticas.

Además, la modificación del Asfalto con SBR permite mejorar su desempeño y resistencia al ahuellamiento, esto resultará en vías de mejor calidad y con mayor durabilidad Albuajar (2010).

6.4.2 Ensayos realizados

Las pruebas realizadas por Albuajar (2010), se mencionan a continuación.

6.4.2.1 Porcentaje de vacíos

Debido al alto porcentaje de vacíos, se utilizó el método de ensayo ASTM D 1188.

En la Tabla N° 37 se muestran los % de vacíos para cada porcentaje de asfalto ensayado.

Tabla N° 37: Resultados obtenidos en Ensayo de Porcentaje de Vacíos

% ASFALTO	% VACÍOS
3.5	28.255
4	25.44
4.5	21.899
5	19.963

Fuente: Adaptado de Albuajar (2010)

6.4.2.2 Pérdida por desgaste

En la Tabla N° 38 se muestran los % de pérdidas obtenidos para cada porcentaje de asfalto ensayado.

Tabla N° 38: Resultados obtenidos en Ensayo de Pérdida por Desgaste.

NRO. DE MUESTRA	% ASFALTO	P1 (PRE ENSAYO)	P2 (POST ENSAYO)	% DE PÉRDIDAS	PROMEDIO
4	3,5	998,4	489,9	50,9	59,3
5	3,5	1002	323,9	67,7	
9	4	1000	680,8	31,9	42,06
10	4	997,4	476,8	52,2	
15	4,5	1004,8	792,6	21,1	21,6
13	4,5	1003,7	781,5	22,1	
19	5	1004,3	856	15,1	14,74
20	5	932,3	798	14,4	

Fuente: Adaptado de Albuajar (2010)

6.4.2.3 Pérdida por desgaste tras inmersión

En la Tabla N° 39 se muestran los % de pérdidas tras inmersión obtenidos para cada porcentaje de asfalto ensayado.

Se sumergió las probetas en agua a una temperatura de 60°C durante 24 horas.

Tabla N° 39: Resultados obtenidos en Ensayo de Pérdida por Desgaste.

NRO. DE MUESTRA	% ASFALTO	P1 (PRE ENSAYO)	P2 (POST ENSAYO)	% DE PÉRDIDAS	PROMEDIO
2	3,5	1008,40	152,10	84,92	58,63
3	3,5	1006,70	681,00	32,35	
7	4	1007,90	394,50	58,00	55,95
8	4	1012,00	454,00	53,90	
12	4,5	1005,50	349,50	29,00	30,50
14	4,5	1000,90	456,00	32,00	
17	5	1000,90	692,20	27,50	28,20
18	5	983,30	679,80	28,90	

Fuente: Adaptado de Albuajar (2010)

6.4.2.4 Capacidad de infiltración (ICP)

Abuhajar no realizó en su trabajo de investigación el ensayo de Infiltración por lo que no se pudo obtener dicho valor, sin embargo, Rodríguez (2008) en su trabajo de investigación sí realizó el ensayo. De lo cual obtuvo las 3 intensidades de lluvia a simular, correspondientes a periodos de retorno de 10, 50 y 500 años, obtenidas del método detallado en la Instrucción Española de Drenaje Superficial, de esa manera se toman los datos respectivos de Máximas Intensidades de Lluvia Diarias. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla N° 40.

Tabla N° 40: Intensidades de Precipitación para las 2 mezclas asfálticas drenantes

LOCALIZACIÓN	INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN (mm/h)		
	Tr = 10 años	Tr = 50 años	Tr = 500 años
PA1	109.5	152.61	224.84
PA2	92.03	126.98	182.9

Fuente: Adaptado de Rodriguez (2008)

Se observan diferentes tiempos de retorno para PA1 ya que es una mezcla asfáltica porosa solicitada (carretera de tráfico pesado) y la PA2 es una mezcla asfáltica poroso poco solicitada (aparcamiento ligero). Además, estas mezclas se encuentran ubicadas en diferentes zonas. Se asume también un porcentaje de asfalto de 4.5 % y un porcentaje de vacíos de 25%.

6.5 Análisis de los Resultados de la Investigación

6.5.1 Análisis de los resultados de caracterización hidrológica

6.5.4.1 Análisis de los resultados de la caracterización hidrológica (Jr. Corpus Cristi - Molinopampa)

Analizando los resultados obtenidos con la distribución Log Gumbel, de las intensidades de precipitación para un tiempo de retorno de 10 años y diferente tiempo de concentración, de los 2 métodos evaluados, se obtuvo el siguiente gráfico:

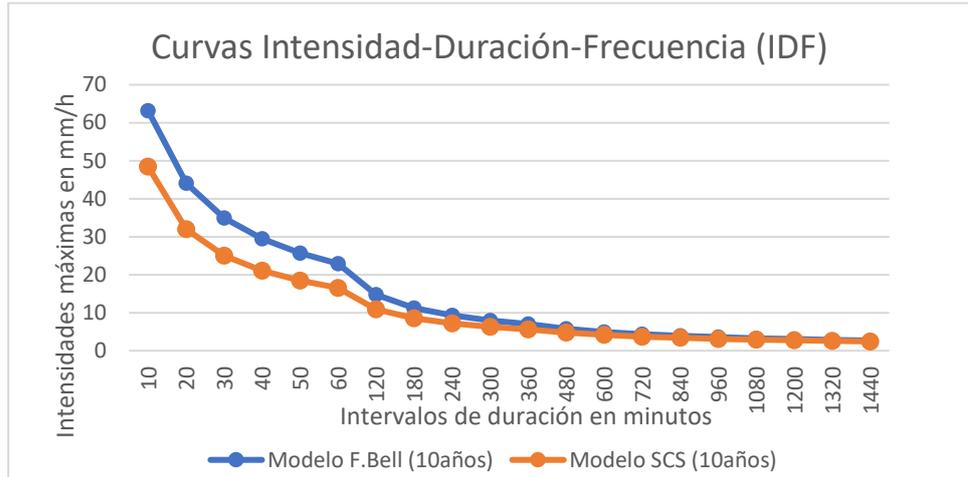


Figura N° 17: Curvas IDF Modelo Frederick Bell vs Soil Conservation Service
Fuente: Adaptado de Vela y Cruz (2019)

La Figura N°17 muestra los mayores valores de las intensidades de precipitación obtenidos de la distribución Log Gumbel, por lo que se consideraron estos valores para el desarrollo del diseño.

6.5.4.2 Análisis de los resultados de la caracterización Hidrológica (Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco)

Con un tiempo de retorno de 10 años se obtuvo el siguiente gráfico

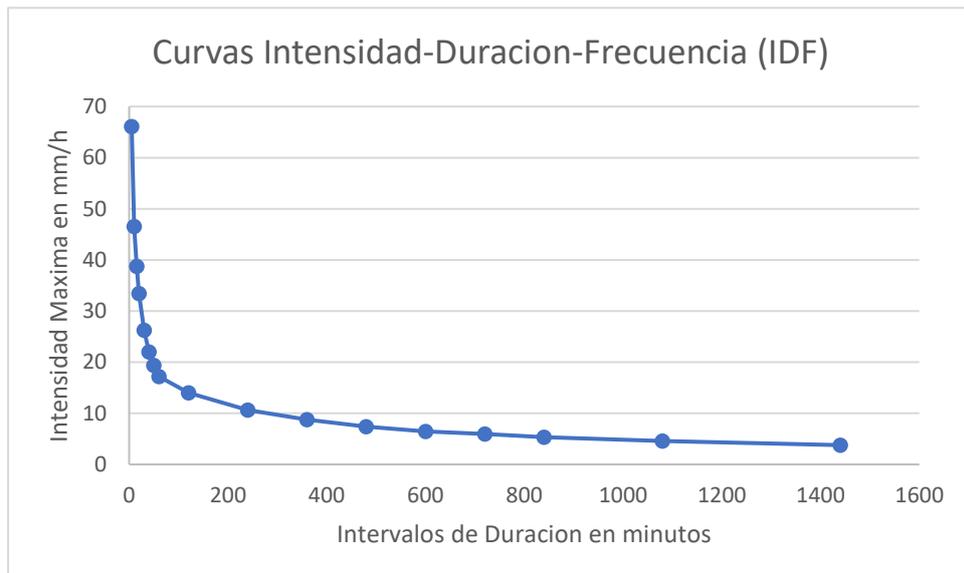


Figura N° 18: Curvas IDF en el Condominio Ercilla

Fuente: Elaboración Propia

Se consideraron estos valores para el desarrollo del diseño.

6.5.2 Análisis de los resultados del diseño hidráulico

6.5.2.1 Análisis de los resultados del diseño hidráulico (Jr. Corpus Cristi -

Molinopampa)

Al obtener los resultados del desarrollo del método MINVU-DICTUC (1996) en la calle Corpus Cristi – Amazonas, en la cual el CBR de la subrasante resultó 8.31%, mayor a 6 % que es lo que recomienda el método, no necesitó excavarse y rellenarse con material adecuado ni de ser compactado. Cabe precisar que la compactación en la subrasante es conveniente si no se desea infiltración en esta capa.

Inicialmente se consideró una tasa de infiltración igual a 0 mm/hr debido a que no se pretende infiltrar el agua a la subrasante, esto permitió calcular el volumen afluente más no el volumen de infiltración. Sin embargo, Al asumir la subbase con un espesor de 0.20 m y con una porosidad al 30%, se obtuvo un máximo volumen de almacenamiento de 129.1 m³ y una tasa de infiltración de 37.36 mm/h para los 2151.62 m² de pavimento permeable propuesto. Esta capacidad de infiltración permitió calcular la capacidad de descarga del dren resultando así un caudal de 22.33 L/seg.

Obtenido este caudal se estimó el diámetro mínimo necesario para los drenes longitudinales, el cual debe ser adecuado para retirar todo el flujo de descarga de la subbase. De igual modo, se obtuvo el flujo en las perforaciones que se va disponer por metro lineal de dren. Cabe señalar que la capacidad de salida del sistema es controlada por la capacidad hidráulica de la tubería, no por la suma de flujos a través de las perforaciones, debido a que el sistema debe acumular a lo largo de toda la longitud de la tubería de drenaje.

Utilizando la ecuación de Manning, estimando un diámetro de tubería de 150 mm, se obtuvo un caudal de descarga igual a 25.438 L/seg, siendo esta mayor que la capacidad de descarga requerida en el diseño.

$$Q_{smin} = 22.33 \text{ L/seg} < Q_{salida} = 25.438 \text{ L/seg}$$

Siendo así el diámetro de tubería de 150 mm adecuado para el sistema.

La capacidad hidráulica del dren longitudinal ubicado en la subbase, reemplazará a la capacidad de infiltración al terreno debido a que no se permitirá la infiltración en la subrasante. Por lo que, con la capacidad hidráulica calculada, se obtiene la mayor tasa de infiltración. Resultando esta igual a 42.56 mm/h.

Dicha tasa de infiltración permite calcular un volumen de infiltración y volumen de almacenamiento, resultando este último 117.91 m³ tal como se observa en la Tabla N° 41.

Tabla N° 41: Resultados de volúmenes afluente, infiltrados y de almacenamiento

Duración (hr)	$P_t^{10}(mm)$	$V_{afl} (m^3)$	$V_{inf} (m^3)$	$V_{alm} (m^3)$
2.00	29.45	209.49	91.58	117.91

Fuente: Adaptado de Vela y Cruz (2019)

Este valor no superó al máximo volumen de almacenamiento, siendo así el espesor de subbase igual a 0.20 m y una porosidad de 30%, suficiente para almacenar el volumen de agua.

$$Valm = 117.91 m^3 < Valm \text{ máx} = 129.10 m^3$$

Respecto al tiempo de vaciado obtenido igual a 2.82 horas, resultó mucho menor a 48 horas, cumpliendo con la recomendación del método MINVU-DICTUC (1996).

6.5.2.2 Análisis de los resultados del diseño hidráulico (Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco,)

Dado el área de pavimento igual a 2603.75 m² y con los resultados de desarrollo del método MINVU-DICTUD (1996) en el Condominio Ercilla, Comuna de Temuco, Región de la Araucanía; se obtuvo dos resultados distintos debido a dos pruebas Porchet (pruebas de infiltración en el terreno), se tomó la más desfavorable cuyo valor es 243mm/h. El CBR de la subrasante

resultado 12% con la cual según el método MINVU-DICTUC no requiere excavarse y rellenarse con material adecuado ni de ser compactado. Además, se consideró que la Subbase cuente con un 30% de porosidad.

El proyecto contó con tres calicatas de hasta 3 metros de profundidad y en todas se obtuvo que la distancia de la parte inferior del pavimento a la napa freática es mayor que 1,20 metros.

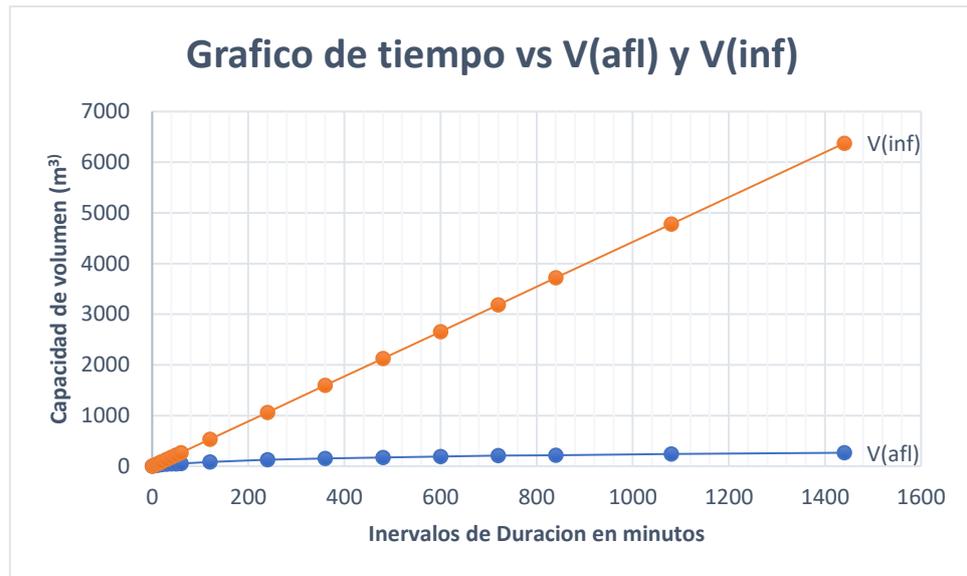


Figura N° 19: Gráfico de Intervalos de Duración en minutos vs V(afl) y V(inf).

Fuente: Elaboración Propia

De la Figura N° 19, se analiza que el Volumen de infiltración es mucho mayor que el Volumen afluente por lo cual solo bastará con la superficie de contacto entre la Subbase y la sub rasante para la infiltración. Es decir, el espesor de la Subbase estará definida por el diseño estructural dado que diseñará un sistema con infiltración total.

6.5.3 Análisis de los resultados del diseño Estructural

6.5.3.1 Análisis de los resultados del diseño estructural (Jr. Corpus Cristi - Molinopampa)

Con respecto a los ensayos desarrollados en la subrasante, se obtuvo 8% el valor de CBR y la tasa de infiltración de 3.33×10^{-6} m/s. Clasificando así la subrasante como arcilla arenosa, respecto a la Tabla N° 42.

Tabla N° 42: Resultados de volúmenes afluyente, infiltrados y de almacenamiento

Clasificación de suelo	El rango típico de coeficiente de la permeabilidad K (ms)	El rango típico de los valores de CBR
Arcilla pesada	10^{-10} a 10^{-8}	2 a 5
Arcilla limosa	10^{-9} a 10^{-8}	3 a 6
Arcilla arenosa	10^{-9} a 10^{-6}	5 a 20
Arena pobremente graduada	5×10^{-6} a 5×10^{-7}	10 a 40
Arena bien graduada	5×10^{-6} a 10^{-4}	10 a 40
Grava arenosa bien graduada	10^{-6} a 10^{-3}	30 a 80

Fuente: Interpave, 2010.

Fuente: Adaptado de Interpave (2010)

Al diseñar la vía considerando la categoría de Residencial Ligera, que según el método INTERPAVE se clasificaría en una vía con tipo de carga 4, obtendríamos un espesor mínimo de 0.15 m para la base y 0.15 m para la subbase. De igual manera, indica un espesor mínimo igual a 13 cm para la superficie permeable, cuya carpeta asfáltica porosa fue diseñada por el método Cantabro.

6.5.3.2 Análisis de los resultados del diseño estructural (Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco)

Se obtuvo como espesores, tomando como referencia el Manual de diseño de pavimentos de adoquines de concreto hidráulico (2013): 6 cm para el adoquín,

4 para la cama de arena, 10 cm para la base y 10 cm para la subbase. Sin embargo, aplicando la metodología INTERPAVE, considerando las mismas características al diseño estructural del pavimento, se detallan los siguientes espesores para un sistema con infiltración total:

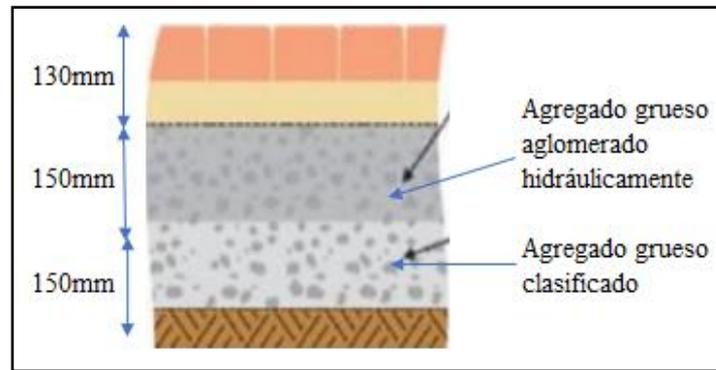


Figura N° 20: Pavimento permeable de categoría 4 con infiltración total
Fuente: Adaptado de Interpave (2010)

Obteniendo de esta manera espesores mínimos iguales a: 15 cm para la base, 15 cm para la sub-base y 13 cm para la superficie de adoquín de concreto hidráulico.

6.5.4 Análisis de los resultados del diseño de la mezcla asfáltica drenante

6.5.4.1 Análisis del ensayo de porcentaje de vacíos

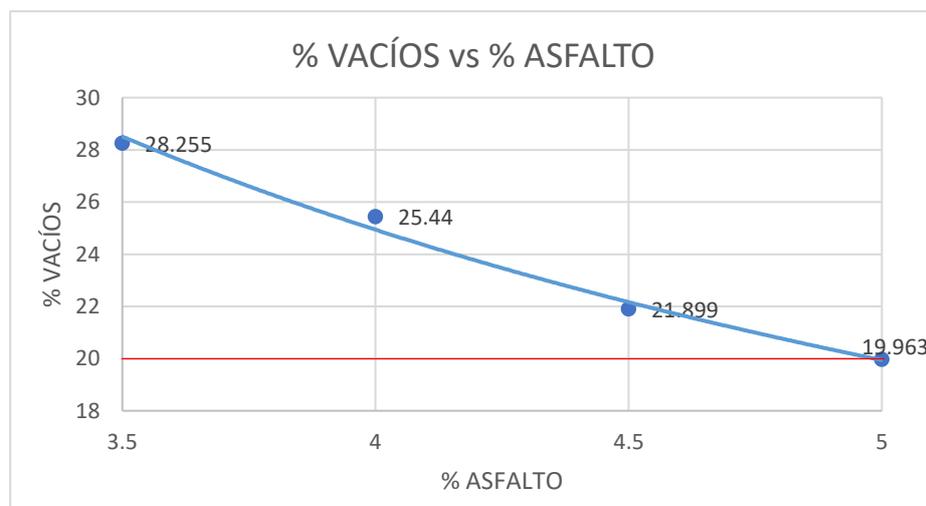


Figura N° 21: Curva % Vacíos vs % Asfalto
Fuente: Albuajar (2010)

De la Figura N° 21 se puede analizar cómo es que el porcentaje de vacíos de la mezcla varía con respecto al porcentaje de asfalto. Resultando así que, para todos los porcentajes de asfalto ensayados cumplen con el requerimiento mínimo de 20% de vacíos, el cual especifica la normativa española Cantabro.

6.5.4.2 Análisis del ensayo de Pérdida por Desgaste

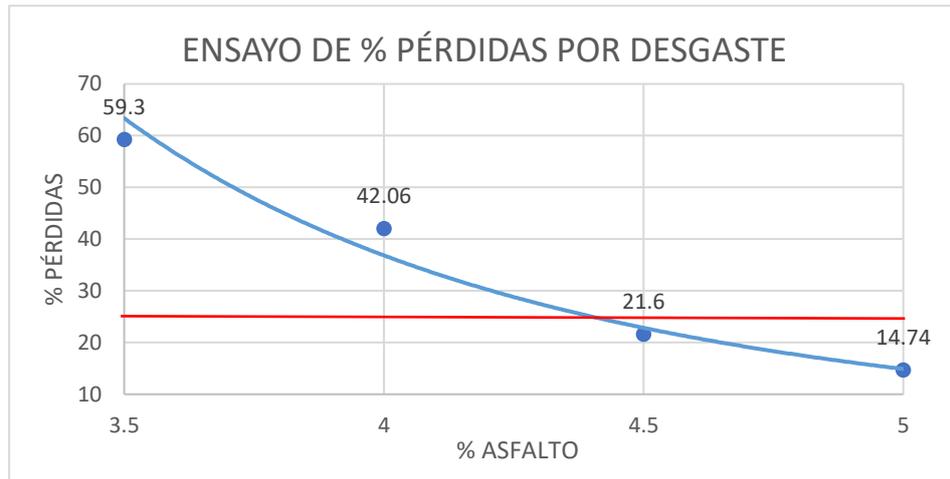


Figura N° 22: Curva %Pérdidas vs %Asfalto
Fuente: Albuajar (2010)

De la Figura N° 22 se puede analizar cómo es que el porcentaje de pérdidas por desgaste varía con respecto al porcentaje de vacíos. Resultando así que, para 4.5 - 5 % de asfalto, cumple con el requerimiento mínimo de 25 % de pérdida por desgaste.

6.5.4.3 Análisis del ensayo de pérdida por desgaste tras inmersión

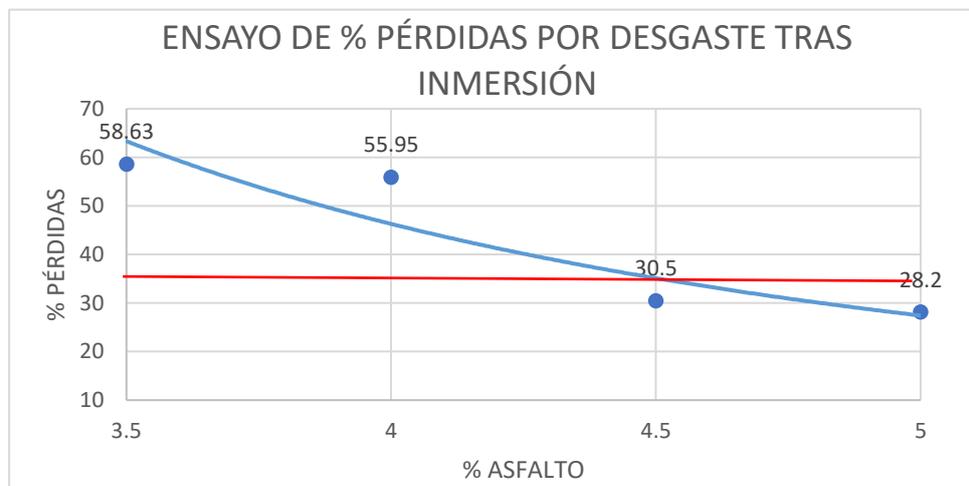


Figura N° 23: Curva % Pérdidas tras inmersión vs %Asfalto
Fuente: Albuajar (2010)

De la Figura N° 23 se puede analizar cómo es que el porcentaje de pérdidas por desgaste tras inmersión varía con respecto al porcentaje de vacíos. Resultando así que, para 4.8 - 5 % de asfalto, cumple con el requerimiento mínimo de 35 % de pérdida.

6.5.4.4 Análisis del ensayo de infiltración

Se observan diferentes tiempos de retorno para PA1 ya que es una mezcla asfáltica porosa solicitada (carretera de tráfico pesado) y la PA2 es una mezcla asfáltica porosa poco solicitada (aparcamiento ligero). Además, estas mezclas se encuentran ubicadas en diferentes zonas.

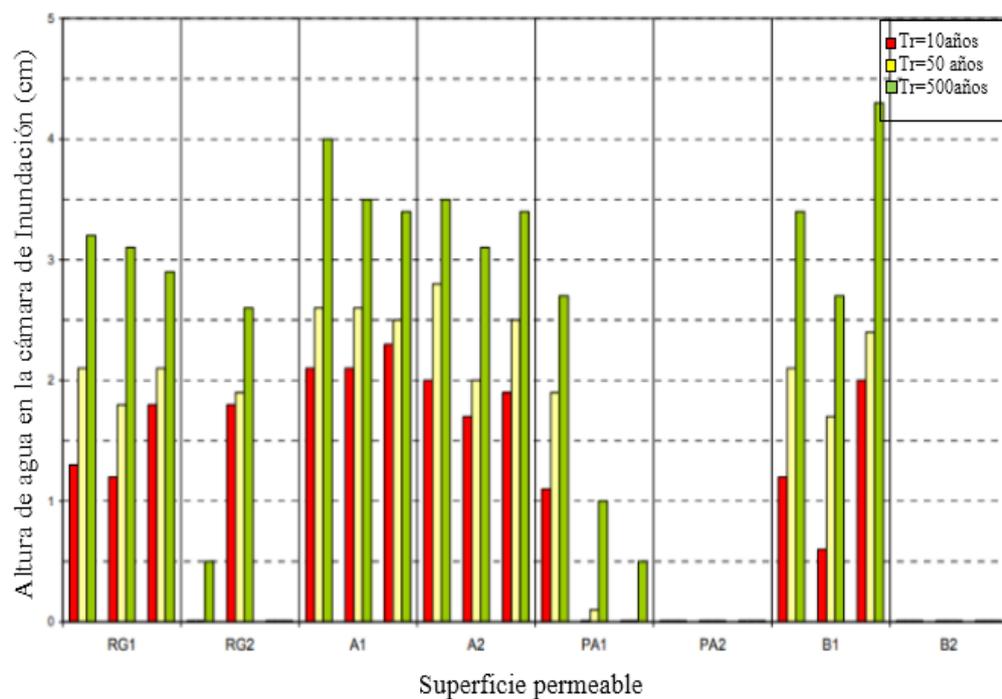


Figura N° 24: Alturas de agua en la cámara para cada superficie permeable
Fuente: Adaptado de Rodríguez (2008)

En la Figura N° 24 se puede analizar los resultados logrados con el ICP para los diferentes tiempos de retorno, ensayados en distintos puntos de la zona. Cabe resaltar que Rodríguez en su trabajo de investigación, realizó el ensayo para diferentes superficies permeables. Resultando que los que no presentaron ningún problema de inundación fueron: mezcla asfáltica porosa expuestas a tráfico ligero (PA2) y adoquines con juntas libres (B2).

6.6 Contrastación de Hipótesis

6.6.1 Contrastación de hipótesis general

Hipótesis general: El espesor total del paquete estructural del pavimento permeable expuesto a tráfico medio y a intensidad de precipitación menor a 100 mm/h, implementado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa y en el Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco, resulta entre los 45 - 50 cm.

Esta hipótesis fue corroborada por la investigación, al obtener un espesor total de 45 cm del paquete estructural del pavimento permeable con un sistema sin infiltración, diseñado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa. Este resultado, se obtuvo tomando en cuenta que el pavimento permeable limitará su capacidad de carga a la de un tráfico medio y no será expuesta a precipitaciones mayores a 100mm/h. Sin embargo, cabe resaltar que este espesor total se verá influenciado por el estudio de suelos respectivo y el sistema de infiltración, que se realice en la zona a implementar el pavimento permeable. Esto último se corrobora en el diseño del pavimento permeable con un sistema de infiltración total, ubicado en el Condominio de Ercilla – Comuna de Temuco, en el cual se obtuvo un espesor total del paquete estructural de 30 cm, según el Manual de diseño de pavimentos de adoquines de concreto hidráulico (2013) y según el método INTERPAVE (2010) se obtuvo un espesor total del paquete estructural igual a 43cm.

6.6.2 Contrastación de hipótesis específicas

a) Hipótesis específica 1

Es posible diseñar pavimentos permeables, aplicando los métodos MINVU-DICTUC e INTERPAVE.

Esta hipótesis se corroboró al diseñar hidráulicamente el pavimento permeable por el método MINVU-DICTUC, 1996 y diseñar estructuralmente el pavimento por el método INTERPAVE, 2010.

b) Hipótesis específica 2

El espesor de la superficie permeable expuesta a tráfico medio y a una intensidad de precipitación menor a 100 mm/h, implementado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa y en el Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco, resulta entre 10-15 cm.

En el Jr. Corpus Cristi – Molinopampa, se propuso como superficie permeable a una carpeta de rodadura asfáltica porosa, por lo que, al diseñarlo cumpliendo y siguiendo los requerimientos que exige la normativa española Cantabro, se obtuvo que 10 cm de espesor resulta adecuado para soportar una carga generada por tráfico medio y estar expuesta a una intensidad de precipitación menor a 100 mm/h. Y en el Condominio de Ercilla – Comuna de Temuco, se obtuvo como espesor de una superficie permeable de adoquín de concreto hidráulico igual a 10 cm, basándose en el Manual de diseño de pavimentos de adoquín de concreto hidráulico y 13 cm de espesor, según la metodología INTERPAVE; Por lo tanto, se valida la hipótesis específica 2.

c) Hipótesis específica 3

El espesor en conjunto de la base y subbase de un pavimento permeable, expuesta a tráfico medio y a una intensidad de precipitación menor a 100 mm/h, implementado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa y en el Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco, resulta entre 20-35 cm

Al realizar el diseño hidráulico de un sistema sin infiltración a la subrasante, en el Jr. Corpus Cristi – Molinopampa, se obtuvo el espesor de la subbase igual a 20 cm, siendo este espesor capaz de almacenar un volumen máximo de 129.10 m³ en un área de pavimento igual a 2151.62 m². De igual manera, al realizar el diseño estructural del pavimento permeable, se obtuvo que para una vía de tipo de carga 4, clasificado por el método INTERPAVE, corresponde un espesor de 15 cm para la base y 15 cm para la subbase. Definiendo como espesores finales, 15 cm para la base y 20 cm para la subbase. Obteniendo un espesor en conjunto de 35 cm.

De igual manera, del diseño realizado a un pavimento permeable con sistema de infiltración total, ubicado en el Condominio de Ercilla – Comuna de Temuco, se obtuvo un espesor en conjunto de 20 cm: 10 cm para la base y 10 cm para la subbase, tomando como referencia el Manual de diseño de pavimentos de adoquines de concreto hidráulico (2013). Y tomando como referencia la metodología INTERPAVE (2010), se obtuvo un espesor en conjunto de 30 cm: 15 cm para la base y 15 cm para la sub-base; Por lo tanto, se convalida la hipótesis específica 3.

CONCLUSIONES

1. De los estudios y análisis de diseños realizados de los pavimentos permeables expuestos a tráfico medio y a intensidad de precipitación menor a 100 mm/h, se obtiene un espesor total del paquete estructural igual a 45 cm para un pavimento permeable sin infiltración a la subrasante, diseñado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa. Y para un sistema con infiltración total, diseñado en el Condominio Ercilla – Comuna de Temuco, se obtuvo espesores totales del paquete estructural del pavimento permeable, iguales a 30 cm y 43 cm.
2. La aplicación de la metodología propuesta por MINVU-DICTUC (1996) e INTERPAVE (2010) permitió diseñar el pavimento permeable hidráulicamente y estructuralmente, respectivamente.
3. En el diseño del pavimento permeable con sistema sin infiltración a la subrasante, ubicado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa, se obtuvo como un espesor para la carpeta de rodadura igual a 10 cm. Del mismo modo, en el diseño del pavimento permeable con sistema de infiltración total, ubicado en el Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco, se obtuvo como espesor igual a 10 cm, para la superficie permeable de adoquín de concreto hidráulico.
4. En el diseño del pavimento permeable con sistema sin infiltración a la subrasante, ubicado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa, se obtuvo como espesores: 15 cm para la base y 20 cm para la sub-base. De igual manera, en el diseño del pavimento permeable con sistema de infiltración total, ubicado en el Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco, se obtuvo como espesores: 10 cm para la base y 10 cm para la subbase.
5. Con respecto al diseño de la carpeta de rodadura realizada por Albuhajar (2010), se pudo optar por asumir la capacidad de infiltración obtenida para mezclas asfálticas porosas de tráfico ligero (PA2), estudiada en el trabajo de Rodríguez (2008); presentando un porcentaje de asfalto de 4.5%, índice de vacíos de 22% y resultados de ensayos similares en ambas investigaciones.

6. En el diseño estructural del pavimento permeable, basado en la metodología INTERPAVE (2010), ubicado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa, se obtuvo un espesor para la capa limitante igual a 15 cm debido a presentar un sistema sin infiltración a la subrasante y categoría de carga 4.

7. La implementación del dren longitudinal, de 150 mm de diámetro, en el diseño del pavimento permeable sin infiltración a la subrasante, permitió la descarga del flujo de 22.33 L/s, reemplazando así la capacidad de infiltración al suelo. Por otro lado, en el diseño del pavimento permeable con infiltración total, la capacidad de infiltración al terreno resultó siempre mayor que la precipitación de diseño, por lo que esta zona no requiere de un volumen de almacenamiento en la sub-base.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda como línea de investigación a futuro, el estudio y análisis del comportamiento de la losa de concreto hidráulico poroso y césped reforzado, como superficies permeables para su posible aplicación en Perú; Ya que como alcance de esta investigación solo se analizó y propuso a la mezcla asfáltica porosa y al adoquín de concreto hidráulico como superficies permeables.
2. Se recomienda estudiar y proponer una metodología detallada con respecto al mantenimiento de pavimentos permeables y la influencia en el costo que estos generan, debido que este es un factor importante mitigar la presencia de colmatación para el buen funcionamiento del pavimento permeable.
3. Se recomienda restringir el área de drenaje del pavimento permeable para que no fluyan grandes cantidades de agua de otras áreas no estimadas en el diseño, o las corrientes de agua de mala calidad con sedimentos y petróleo no lleguen a esta área. Puede optarse por construir soleras o elevar la pendiente en la superficie para conducir claramente la dirección de la escorrentía hacia el exterior del pavimento permeable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (MEF), Ministerio de Economía y Finanzas. (2015). *Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras*. Obtenido de www.mef.gob.pe
- ABNT NBR 1253. (2003). *Geosintético - Terminología*. Asociación Brasileira de Normas Técnicas. Obtenido de <https://bit.ly/2EazEsW>
- Abuhajar Vera, J. (2010). *Diseño y comportamiento de mezclas asfálticas drenantes*. Obtenido de <https://bit.ly/2HBd9im>
- Aguirre Herrera , B. A., & Anchiraico Giraldo, M. L. (2020). *Elaboración de un diseño óptimo de pavimento drenante de concreto y la utilización del software SWMM 5.1 para evaluar la efectividad en la reducción de la escorrentía superficial*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/648852>
- Bahamondes, R. E.-T. (2013). Análisis de métodos de diseño de pavimentos de adoquines de hormigón. *Revista de la construcción*, 12(3), 17-26. Obtenido de <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2013000300002>
- Barahona Añazco, J. (2014). *Análisis Y Diseño Para Solución De Aguas Lluvias Mediante Sistemas Urbanos De Drenaje Sostenible Aplicando La Técnica De Firmes Permeables En Condominio Ercilla, Comuna De Temuco, Ix Región De La Araucanía*. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/>
- British Standards Institution. (2002). *BS EN 13242: 2002, Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction*. Obtenido de <https://bit.ly/3mWdlZh>
- British Standards Institution. (2004). *4227-1:2004, Hydraulically bound mixtures - Specifications - Part 1: Cement bound granular mixtures*. Obtenido de <https://bit.ly/326wfo3>
- Cajal, A. (2018). *Fundamento Teórico de una Investigación o Proyecto*. Obtenido de Lifer: <https://bit.ly/2XqeoGh>
- Castro Espinosa, M. L. (2011). *Pavimentos Permeables Como Alternativa de Drenaje Urbano*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10554/7483>
- Castro Fresno, D., Rodríguez Hernández, J., Bayón, J. R., & Ballester Muñoz, F. (2005). Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS). *Interciencia*, 30, 255.

- Córdova Cantero, R. (2016). *Determinación del grado de permeabilidad y evaluación de la resistencia a la colmatación, haciendo uso de aditivos de las marcas Sika y Euco para la fabricación de concreto poroso en la ciudad de Arequipa*. Obtenido de <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/5530>
- De La Cruz Morales, Y. (2017). *Pavimentos permeables como alternativa de drenaje en las principales calles de la ciudad de Ayacucho, Perú*. Obtenido de <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1975>
- De Solminihaç , H., & Castro , J. (2002). "Pavimentos porosos de hormigón: una opción para. *BIT*.
- Echaveguren Navarro, T. (2013). *Manual de Diseño de Pavimentos de Adoquines de Hormigón*. Obtenido de www.ich.cl
- Esquerre García, M. M., & Silva Silva, H. W. (2019). *Propuesta de diseño de pavimento drenante para la captación de agua de lluvias en zonas urbanas del norte del Perú*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/625617>
- Ferguson, B. (2005). *Porous pavements*. Obtenido de CRC Press.
- Fernández A., R. (2010). *Elementos de la Teoría del Tráfico Vehicular*. Lima - Perú: Fondo Editorial PUCP. Obtenido de <https://bit.ly/337IDVm>
- Fundación Conama. (2018). Agua y Ciudad, Sistemas urbanos de drenaje sostenible. *RUMBO 20.30*, 6.
- García Haba, E. (2011). *Control de escorrentías urbanas mediante pavimentos permeables: Aplicación en climas mediterráneos*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/15383>
- GCPSP. (2005). GCPSP.
- Gestión de Proyectos de Instalaciones de Telecomunicaciones 2º STI. (2008). *Documentos de las instalaciones de telecomunicaciones*. Obtenido de <https://bit.ly/2BVOVNB>
- González Fernández, J. (2016). *Estudio de alternativas para la construcción de firmes permeables*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10902/9259>
- Grupo IEA. (2019). *Construcciones Especializadas en Aluminios*. Obtenido de <https://bit.ly/3fnUh1x>
- Guerra Chayña, P. R. (2019). *Calidad en el drenaje y diseño de un pavimento rígido permeable con agregados de la cantera Isla, en las vías de la Villa Chullunquiani del sector nor-oeste de la ciudad de Juliaca*. Obtenido de <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/3013>

- Hernández Pachón, C. A., & Orejuela Jiménez, J. D. (2018). *Diseño, construcción y calibración de un permeámetro LCS para mezclas asfálticas drenantes (medido in situ y en laboratorio)*. Obtenido de <https://bit.ly/2YtTdnx>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México, D.F: McGraw-Hill. Recuperado el 03 de 08 de 2020
- Highways Agency's. (2002). *Specification for Highway Works – Series 600 – Earthworks*. Obtenido de www.gov.uk/government/organisations/highways-england
- Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG). (2010). *Norma Técnica CE.010 Pavimentos Urbanos*. Obtenido de www.construccion.org
- Interpave. (2010). *Permeable Pavements. Guide to the design, construction and maintenance of concrete block permeable pavements*. Leicester LE1 1FB: Ed. 5.
- Interpave. (2020). Understanding Permeable Paving. *The Precast concrete paving and kerb association*, 11. Obtenido de www.paving.org.uk
- López Moreno , C. P. (2013). *Comportamiento mecánico de mezclas asfáltica drenante*. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/50603/>
- Maine Department of Environmental Protection. (2012). *Infiltration BMPs. Maine Stormwater Best Management Practices Manual*. Obtenido de <https://bit.ly/3lzvb3p>
- Ministerio de Agricultura de Chile. (2017). Infiltración de agua en el suelo. *Comisión Nacional De Riego Dirección*, 1-4. Obtenido de <https://www.cnr.gob.cl/>
- MINVU - DICTUC, Ministerio de Vivienda y Urbanismo y Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Pontificia Universidad Católica de Chile. (1996). *Guía de Diseño de Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos*. Obtenido de <https://bit.ly/3mzhpyr>
- MINVU, Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2008). *Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación*. Obtenido de <https://bit.ly/3mzhpyr>
- MOP. (2013). *Ministerial de Obras Públicas (Vol. 4)*. Santiago, Chile: Planos de obras tipo, Manual de Carreteras.
- MTC. (2012). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. Obtenido de <https://bit.ly/31zQNVN>

- MTC. (2013). *Manual de carreteras: Especificaciones técnicas Generales para construcción*. Obtenido de <https://bit.ly/3eevaiJ>
- MTC. (2014). *Manual de carreteras: Diseño geométrico DG-2014*. Lima. Obtenido de <https://bit.ly/31zQNVN>
- NACIF, N. (2015). *Métodos de Diseño*. Obtenido de Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño - Universidad Nacional de San Juan: <https://bit.ly/2DqHJt7>
- NAPA. (2003). *Porous Asphalt Pavements for Stormwater Management*. Obtenido de www.asphaltpavement.org
- Perales Momparler, S., & Andrés-Doménech, I. (2008). *Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: Una alternativa a la gestión del agua de lluvia*. Obtenido de <https://bit.ly/31yu7oY>
- Quispe Mamani, J. C. (2018). *Curvas IdF Para La Estación Meteorológica De Viacha, Departamento De La Paz*. Obtenido de <https://bit.ly/3hkAmlS>
- Real Academia Española. (2019). *Erosión*. En Diccionario de la Lengua Española (edición del tricentenario). Obtenido de <https://www.rae.es/>
- Real Academia Española. (2019). *Precipitación*. En Diccionario de la Lengua Española (edición de tricentenario). Obtenido de <https://www.rae.es/>
- Rodríguez Hernández, J. (2008). *Estudio, análisis y diseño de secciones permeables de firmes para vías urbanas con un comportamiento adecuado frente a la colmatación y con la capacidad portante necesaria para soportar tráfico ligero*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10803/10711>
- Rodríguez Quezada, E. M., & Castillo Castillo, B. J. (2016). *Relación costo-beneficio del uso del asfalto drenante en la República Dominicana*. Obtenido de <https://repositorio.unphu.edu.do/handle/123456789/1005>
- Rondoy Aguilar, R. (2019). *Diseño de un Pavimento Permeable y Drenaje Pluvial del Tramo Jr. San Lorenzo – Mercado de Piura, 2018*. Obtenido de <https://bit.ly/3dWSh18>
- Sañudo Fontaneda Luis, L., Rodríguez Hernández, J., & Castro Fresno, D. (2012). *Diseño y Construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)*. Obtenido de <https://bit.ly/3a4gAZ9>
- Saucedo Vidal, A. (2010). *Concreto hidráulico permeable, una alternativa para la recarga de los mantos acuíferos del Valle de México*. Obtenido de <https://bit.ly/3nAGvhw>

- Saucedo Vidal, A. (2012). *Concreto hidráulico permeable, una alternativa para la recarga de los mantos acuíferos del Valle de México*. Obtenido de <https://bit.ly/3a91Vfc>
- Stormwater Center. (2009). *Design Specifications for Porous Asphalt Pavement and Infiltration Beds*. University of New Hampshire. Obtenido de <https://bit.ly/36Uc0Nu>
- Trujillo López , A., & Quiroz, L. D. (2013). *Pavimentos Porosos Utilizados Como Sistemas Alternativos Al Drenaje Urbano*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10554/11174>
- U.S.EPA. (2008). *Managing Stormwater in Your Community*. Center for watershed protection. London, UK.: CIRIA C697.
- Universidad Autónoma de Nueva León (UNAL). (1971). *Ier seminario sobre Diseño y Control de Calidad de Pavimentos Urbanos*. Obtenido de <https://bit.ly/3988Nen>
- Vela Tafur, E., & Cruz Goñas, L. (2019). *Pavimentos permeables como sistema alternativo para el drenaje urbano en la localidad de Molinopampa. Amazonas, 2018*. Obtenido de <http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/2071>
- Woods-Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray , R., & Shaffer, P. (2007). *The SUDS Manual*. London: CIRIA.
- Zambrano Medranda, B. A. (2012). *Mezclas asfálticas drenantes y su aplicación en las carreteras de Manibí*. Obtenido de <http://186.46.160.229/handle/123456789/11783>
- Zamora Castillo, F. R., & Mora Aldana, E. M. (2019). *Influencia de la cal hidratada en mezclas asfálticas drenantes*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10983/23895>

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia	115
Anexo 2: Cronograma de Tesis	118
Anexo 3: Presupuesto.....	120

Anexo 1: Matriz de Consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Cuál es el espesor total del paquete estructural del pavimento permeable expuesto a tráfico medio y a intensidad de precipitación menor a 100 mm/h, implementado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa y en el Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco?	Calcular y analizar el espesor total del paquete estructural del pavimento permeable expuesto a tráfico medio y a intensidad de precipitación menor a 100 mm/h, implementado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa y en el Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco, en base a experiencias realizadas a nivel nacional e internacional.	El espesor total del paquete estructural del pavimento permeable expuesto a tráfico medio y a intensidad de precipitación menor a 100 mm/h, implementado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa y en el Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco, resulta entre los 45 - 50 cm.	Espesor total del pavimento permeable	- Permeabilidad de la superficie de rodadura - Volumen de Infiltración de la subbase - Volumen de Almacenamiento de la subbase - Tasa de Infiltración - Estudio de tráfico	1. Tipo de Estudio El tipo de estudio es una investigación básica de nivel descriptiva porque se realizará el estudio y análisis de investigaciones realizadas.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE INDEPENDIENTE		2. Diseño de Investigación Es un diseño no experimental debido a que no se manipularán las variables.
¿Cuáles son los métodos para el diseño de pavimentos permeables?	Identificar las metodologías de diseño de pavimentos permeables.	Es posible diseñar pavimentos permeables, aplicando los métodos MINVU-DICTUC e INTERPAVE.	Intensidad de Precipitación	- Precipitación máxima en 24horas	3. Población y muestra de estudio Se tomará como población a los estudios y trabajos de investigación realizados con anterioridad, sobre los pavimentos permeables aplicados como
¿Cuál es el espesor de una superficie permeable expuesta a tráfico medio y a intensidad de precipitación menor a	Calcular y analizar el diseño y espesor de la superficie permeable expuesta a tráfico medio y a intensidad de precipitación menor a	El espesor de la superficie permeable expuesta a tráfico medio y a una intensidad de precipitación menor a			

<p>100 mm/h, implementado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa y en el Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco?</p>	<p>100 mm/h, implementado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa y en el Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco, en base a experiencias realizadas a nivel nacional e internacional.</p>	<p>100 mm/h, implementado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa y en el Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco, resulta entre 10-15 cm.</p>			<p>sistema de drenaje. Y como tamaño de la muestra a los pavimentos permeables expuestos a tráfico medio y a intensidad de precipitación menor a 100 mm/h, implementado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa y en el Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco.</p>
<p>¿Cuál es el espesor para la base y sub-base de un pavimento permeable, expuesto a tráfico medio y a intensidad de precipitación menor a 100 mm/h, implementado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa y en el Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco?</p>	<p>Calcular y analizar el diseño y espesor de la base y sub-base de un pavimento permeable, expuesto a tráfico medio y a intensidad de precipitación menor a 100 mm/h, implementado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa y en el Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco, en base a experiencias realizadas a nivel nacional e internacional.</p>	<p>El espesor en conjunto de la base y subbase de un pavimento permeable, expuesta a tráfico medio y a una intensidad de precipitación menor a 100 mm/h, implementado en el Jr. Corpus Cristi - Molinopampa y en el Condominio de Ercilla - Comuna de Temuco, resulta entre 20-35 cm.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p>	<p>- Ejes Equivalentes - IMDA</p>	<p>4. Técnicas e instrumentos</p> <p>Se aplicará la técnica de análisis documental, la cual se registrará en una matriz bibliográfica para organizar las fuentes de información revisadas.</p>
			<p>Tráfico Medio</p>		

Anexo 2: Cronograma de Tesis

Proyecto de tesis:

ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE PAVIMENTOS PERMEABLES EN PERÚ

Tesistas:

CRUZ BALABARCA, RENZO ; RODRÍGUEZ SALAZAR, MIGUEL ÁNGEL

Fecha de Inicio:

22/16/2020

Fecha de término:

14/12/2020

EDT	DESCRIPCIÓN	INICIO	FIN	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	TESIS	22/06/2020	14/12/2020							
1.00	CAPÍTULO 1: PROBLEMA	22/06/2020	07/07/2020							
1.10	Planteamiento del problema	22/06/2020	28/06/2020							
1.20	Los objetivos	29/06/2020	06/07/2020							
1.30	Justificación	29/06/2020	06/07/2020							
2.00	CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	23/06/2020	09/08/2020							
2.10	Investigaciones Nacionales	24/06/2020	01/07/2020							
2.20	Investigaciones Internacionales	24/06/2020	30/06/2020							
2.30	Bases Teóricas	01/07/2020	08/07/2020							
2.40	Marco Conceptual	01/07/2020	08/07/2020							
3.00	CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	10/08/2020	06/09/2020							
3.10	Revisión de hasta metodología	10/08/2020	24/08/2020							
3.20	PRESENTACIÓN DE DOCUMENTO	24/08/2020	31/08/2020							
3.30	Levantamiento de Observaciones de Metodología	31/08/2020	06/09/2020							
4.00	CAPÍTULO 4: MARCO REAL	24/08/2020	13/09/2020							
4.10	Revisión de Marco Real	24/08/2020	30/08/2020							
4.20	PRESENTACIÓN DE AVANCE	31/08/2020	13/09/2020							
5.00	CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS	14/09/2020	04/10/2020							
5.10	Revisión de Analisis de Resultados	14/09/2020	27/09/2020							
5.20	PRESENTACIÓN DE AVANCE	28/09/2020	04/10/2020							
6.00	CAPÍTULO 6: PROPUESTA	05/10/2020	15/11/2020							
6.10	Revisión de la Propuesta	05/10/2020	11/10/2020							
6.20	Levantamiento de Observaciones de la Propuesta	12/10/2020	25/10/2020							
6.30	PRESENTACIÓN DE DOCUMENTO -AVANCE	26/10/2020	15/11/2020							
7.00	CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	02/11/2020	06/12/2020							
7.10	Revisión de Conclusiones	02/11/2020	08/11/2020							
7.20	PRESENTACIÓN DE DOCUMENTO BORRADOR COMPLETO	02/11/2020	08/11/2020							
7.30	Revisión de Borrador de Tesis	09/11/2020	22/11/2020							
7.40	Entrega a tesistas para levantar observaciones	23/11/2020	29/11/2020							
8.00	SUSTENTACIÓN DE TESIS	14/12/2020	31/12/2020							

LEYENDA

- Controles y revisiones por asesor
- Duración de todo el capítulo
- Clases, revisiones y presentaciones de avance
- Sustentación de Tesis

Anexo 3: Presupuesto

PRESUPUESTO			
ítem	Cantidad	Precio Unitario (S/)	Total (S/.)
1. Personal			
Investigador	2	-	0
2. Equipos			
Computador	2	2200	4400
Internet	2	70	140
Impresora	2	250	500
3. Viajes			
Viáticos	30	5	150
Transporte	80	2.5	200
4. Materiales			
Fotocopias	100	0.1	10
Impresiones	150	0.3	45
5. Servicios Técnicos			
Mantenimiento del computador	1	150	150
6. TITES 2020			
Curso de tesis	2	6000	12000
TOTAL			17595