



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Sistema de subdrenaje utilizando geodrén para captar y conducir el agua en
una carretera de la selva peruana

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Pacheco Caballero, Cesar Abraham
ORCID: 0000-0002-7056-7809

Pari Pachas, Roger Ronaldo
ORCID: 0000-0001-5819-2760

ASESOR

Torres Chung, Cesar Roberto
ORCID: 0000-0002-3212-2817

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos de los autores

Pacheco Caballero, Cesar Abraham

DNI: 70003629

Pari Pachas, Roger Ronaldo

DNI: 71335153

Datos de asesor

Torres Chung, Cesar Roberto

DNI: 41182279

Datos del jurado

JURADO 1

Donayre Córdova, Oscar Eduardo

DNI: 06162939

ORCID: 0000-0002-4778-3789

JURADO 2

Chavarry Vallejos, Carlos Magno

DNI: 07410234

ORCID: 0000-0003-0512-8954

JURADO 3

Chavarría Reyes, Liliana Janet

DNI: 25481792

ORCID: 0000-0002-1759-2132

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 02.01.01

Código del Programa: 732016

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, abuela, madrina, hermanos, compañeros y amigos quienes, en conjunto, han sido el soporte perfecto para mantenerme firme en cada etapa del proceso del desarrollo de esta tesis.

(Pacheco Caballero, Cesar Abraham)

Esta tesis está dedicada a todos mis seres amados; a mis padres, a mi enamorada, a mis amigos, quienes me brindaron consejos, apoyo y conocimientos a lo largo de mis cinco años de estudio.

(Pari Pachas, Roger Ronaldo)

AGRADECIMIENTO

Nuestro sincero agradecimiento a nuestra alma mater, por habernos brindado los conocimientos de esta maravillosa carrera; a nuestro asesor Mg. Ing. Cesar Torres Chung; y el Dr. Carlo Magno Chavarry Vallejos por su constante apoyo y a todas las personas que de alguna manera nos apoyaron en el desarrollo de la tesis, entre ellos docentes y familiares.

(Pacheco Cesar y Pari Roger)

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	1
1.1.1. Problema e importancia	1
1.1.2. Árbol del problema (Causas - Problema - Consecuencias).....	2
1.2. Formulación del problema	2
1.2.1. Problema general.....	2
1.2.2. Problemas específicos	2
1.3. Objetivos de la investigación.....	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Delimitación de la investigación	3
1.4.1. Geográfica.....	3
1.4.2. Temporal	3
1.4.3. Temática.....	3
1.4.4. Muestral	3
1.5. Justificación del estudio.....	4
1.5.1. Conveniencia.....	4
1.5.2. Relevancia social.....	4
1.5.3. Aplicaciones prácticas.....	4
1.5.4. Utilidad metodológica.....	4
1.5.5. Valor teórico	4
1.6. Importancia del estudio.....	5
1.6.1. Nuevos conocimientos	5
1.6.2. Aporte	5
1.7. Limitaciones del estudio	5
1.7.1. Falta de estudios previos de investigación	5
1.7.2. Metodológicos o prácticos	6
1.7.3. Medidas para la recolección de los datos	6
1.7.4. Obstáculos en la investigación	6
1.8. Alcance	6
1.9. Viabilidad del estudio	6

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1. Marco histórico (Antecedentes).....	8
2.2. Investigaciones relacionadas con el tema	9
2.2.1. Investigaciones internacionales.....	9
2.2.2. Investigaciones nacionales.....	11
2.2.3. Artículos relacionados con el tema	12
2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio	25
2.3.1. Fundamentación teórica (Introducción)	25
2.3.2. Ciclo del agua.....	26
2.3.3. Geosintético	30
2.3.4. Métodos de diseño	40
2.3.5. Evaluación de geotextil	43
2.3.6. Sistema de drenaje superficial.....	47
2.3.7. Sistema de drenaje subterráneo.....	55
2.3.8. Geocompuesto MacDrain TD 2L.....	60
2.3.9. Procesos constructivos de instalación de geodrén.....	61
2.4. Definición de términos básicos.....	63
2.5. Fundamentos teóricos que sustentan la hipótesis	65
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	66
3.1. Hipótesis	66
3.1.1. Hipótesis General.....	66
3.1.2. Hipótesis específicas	66
3.2. Variables	66
3.2.1. Variables independientes	66
3.2.2. Variables dependientes	66
3.3. Sistema de variables	67
3.3.1. Definición conceptual	67
3.3.2. Definición Operacional	67
3.3.3. Sistema de Operacionalización de variables	68
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DEL ESTUDIO.....	69
4.1. Método, orientación, enfoque e instrumento de recolección de datos.....	69
4.2. Tipo de la investigación.....	69
4.3. Nivel de investigación	69
4.4. Diseño de la investigación	69
4.5. Población y muestra.....	70

4.5.1. Población.....	70
4.5.2. Muestra.....	70
4.6. Técnicas e instrumentación de recolección de datos	71
4.6.1. Instrumento de recolección de datos	71
4.6.2. Métodos y técnicas.....	71
4.7. Descripción de procesamientos de análisis.....	71
CAPÍTULO V: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	73
5.1. Descripción general del proyecto	73
5.1.1. Localización del área del proyecto.....	73
5.1.2. Acceso a la zona del proyecto.....	74
5.1.3. Clima e hidrología.....	74
5.1.4. Topografía.....	74
5.1.5. Geología.....	75
5.1.6. Característica de carretera.....	75
5.2. Diagramas de procedimientos.....	76
5.2.1. Diagrama de estimación de caudal superficial.....	76
5.2.2. Diagrama de estimación de drenaje superficial.....	77
5.2.3. Diagrama de estimación de caudal subterráneo	78
5.2.4. Diagrama de estimación de drenaje subterráneo.....	79
5.3. Cálculos en Microsoft Excel.....	80
5.3.1. Estimación de caudal superficial.....	80
5.3.2. Diseño de drenaje superficial (cuneta).....	85
5.3.3. Estimación del caudal subterráneo.....	87
5.3.4. Diseño de drenaje subterráneo	88
5.4. Software Macflow Road Works	91
5.5. Presentación de resultados	93
5.6. Contrastación de resultados	95
5.6.1. Contrastación de la primera hipótesis	95
5.6.2. Contrastación de la segunda hipótesis.....	96
5.6.3. Contrastación de la tercera hipótesis.....	97
5.7. Discusión de resultados	99
CONCLUSIONES	101
RECOMENDACIONES	103
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104
ANEXOS.....	108

Anexo 01: Matriz de consistencia.....	109
Anexo 02: Análisis en hojas de Microsoft Excel.....	111
Anexo 03: Resultados del software Macflow	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Diagrama de causas, problemas y consecuencias	2
Figura N° 2: Patrones sucesivos de flujo hacia drenajes paralelos.....	22
Figura N° 3: Sección típica investigada en estudios de modelos	23
Figura N° 4: Tanque usado en el modelo de drenaje.....	24
Figura N° 5: Ábaco de McClelland	25
Figura N° 6: Ciclo hidrológico	26
Figura N° 7: Tipos de formación de escorrentía superficial.....	28
Figura N° 8: Representación de movimientos de tierra.....	29
Figura N° 9: Tipos de productos geosintéticos.....	30
Figura N° 10: Mecanismos producidos con la función de separación.....	32
Figura N° 11: Ensayo triaxial varía según ubicación de geotextil.....	33
Figura N° 12: Ensayo D4751 con diferentes tipos de geotextil.....	38
Figura N° 13: Sección típica de cuneta triangular	52
Figura N° 14: Geotextiles envueltos en tuberías de drenaje.....	55
Figura N° 15: Esquema del sistema de subdrenaje en la zanja.....	56
Figura N° 16: Gráfico velocidad vs pendiente de subdren y tamaño de agregado.....	59
Figura N° 17: Preparación de terreno	62
Figura N° 18: Instalación del geodrén	62
Figura N° 19: Relleno y compactación.....	63
Figura N° 20: Esquema del planteamiento del sistema de subdrenaje	65
Figura N° 21: Longitud total de carretera.....	70
Figura N° 22: Longitud de estudio de la carretera.....	71
Figura N° 23: Ubicación del proyecto en estudio.....	73
Figura N° 24: Diagrama de estimación de caudal superficial	76
Figura N° 25: Diagrama de drenaje superficial	77
Figura N° 26: Diagrama de estimación de caudal subterráneo.....	78
Figura N° 27: Diagrama de estimación de drenaje subterráneo	79
Figura N° 28: Curvas intensidad, duración y frecuencia (IDF).....	83
Figura N° 29: Histograma de duración dos horas.....	84
Figura N° 30: Dimensionamiento de la carretera de estudio	94
Figura N° 31: Dimensionamiento de cunetas	94
Figura N° 32: Dimensionamiento de geodrén	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Propiedades de los suelos de ensayos McClelland.....	25
Tabla N° 2: Funciones primarias según tipos de geosintéticos.....	31
Tabla N° 3: Propiedades de geotextiles	36
Tabla N° 4: Coeficientes de permeabilidad según tipo de geotextil	39
Tabla N° 5: Rango de valores de factores de reducción	42
Tabla N° 6: Valores mínimos de geotextiles para criterio de supervivencia	47
Tabla N° 7: Valores máximos de riesgo admisible	48
Tabla N° 8: Valores de talud interior según IMDA y velocidad de diseño	51
Tabla N° 9: Valores de coeficiente de Strickler (k) más usados.....	53
Tabla N° 10: Velocidades admisibles según tipo de superficie (material) de cunetas...	54
Tabla N° 11: Valores recomendados para el factor de infiltración (Fi).....	57
Tabla N° 12: Valores recomendados para el factor de retención de base (Fr).....	57
Tabla N° 13: Capacidad de flujo de MacDrain TD 2L	61
Tabla N° 14: Propiedades hidráulicas MacDrain TD 2L	61
Tabla N° 15: Matriz de operacionalización de variables	68
Tabla N° 16: Parámetros de la carretera de estudio	75
Tabla N° 17: Precipitaciones del SENAMHI.....	80
Tabla N° 18: Precipitación promedio y desviación estándar	81
Tabla N° 19: Tiempo de retorno con su respectivo factor de corrección.....	81
Tabla N° 20: Precipitaciones corregidas según tiempos de retorno.....	81
Tabla N° 21: Estimación de precipitación en 2 horas, método de Dick Peschke	82
Tabla N° 22: Intensidades máximas en dos horas.....	82
Tabla N° 23: Parámetros de diseño de drenaje superficial	83
Tabla N° 24: Resultados de intensidad por tramos de la carretera	83
Tabla N° 25: Precipitaciones netas y abstracciones	84
Tabla N° 26: Caudal superficial por tramos.....	85
Tabla N° 27: Parámetros para dimensionamiento de drenaje superficial	86
Tabla N° 28: Verificación de velocidad y caudal superficial	86
Tabla N° 29: Parámetros para cálculo de caudal por abatimiento del nivel freático	87
Tabla N° 30: Parámetros para estimación de caudal por infiltración.....	87
Tabla N° 31: Caudal por abatimiento del nivel freático y caudal por infiltración.....	88
Tabla N° 32: Diámetro de tubería corrugada por tramos	88

Tabla N° 33: Evaluación de presión de MacDrain 2L	89
Tabla N° 34: Evaluación de tasa de flujo por tramos.....	90
Tabla N° 35: Evaluación de permitividad por tramos.....	91
Tabla N° 36: Datos de ingreso al software Macflow Road Works	91
Tabla N° 37: Geometría del sistema al software Macflow Road Works	92
Tabla N° 38: Factores de reducción MacDrain 2L	92
Tabla N° 39: Resultados del software Macflow Road Works	93

RESUMEN

En el presente trabajo nos enfocamos en diseñar el sistema de drenaje superficial y subterráneo con la finalidad de captar y conducir el agua infiltrada en el terreno de fundación de la carretera ubicada entre las progresivas del 6+000 al 7+000 del cruce Tarapoto – Sisa, en el km 36 – Santa Martha, Distrito de Santa Rosa, Provincia El Dorado, departamento de San Martín, entre los centros poblados de Santa Martha y Nuevo Santa Rosa para contrarrestar los efectos de las precipitaciones de la selva peruana que perjudican a la estructura del pavimento.

Tiene un enfoque cuantitativo ya que en el proceso de investigación vamos a obtener valores de caudales superficiales, infiltrados comparándolos con la capacidad de respuesta del sistema de subdrenaje. La carretera se evaluó en 5 tramos de 200 metros, estimamos el caudal superficial utilizando los datos registrados de precipitaciones proporcionados por el SENAMHI mediante la estación Alao ubicada en la zona de estudio. Para el caudal infiltrado empleamos parámetros de diseño de la carretera y las propiedades de suelo de fundación. Los softwares utilizados fueron el Microsoft Excel y el software Macflow, obteniendo valores de caudales superficiales que son menores a los caudales obtenidos mediante la ecuación Manning para la cuneta diseñada. Al evaluar el MacDrain 2L se observó que tiene altas propiedades hidráulicas y mecánicas comparadas con las condiciones de la zona, utilizando los criterios de retención, permeabilidad, colmatación y supervivencia según el manual Federal Highway Administration (FHWA). Los valores obtenidos de diámetro de tubería se uniformizó a 6 pulgadas.

Finalmente, se concluye que el sistema de drenaje subterráneo, compuesto por el geotextil MacDrain 2L y la tubería perforada, cumple con su función de filtrar, captar y conducir el agua subterránea hacia la fuente de agua ubicada en el centro poblado Santa Martha.

Palabras Clave: Sistema de subdrenaje, geodrén, carretera, precipitaciones, infiltración, caudal, vida útil, tubería de subdrenaje

ABSTRACT

In the present work we focus on designing the surface and underground drainage system in order to capture and conduct the infiltrated water in the foundation ground of the road located between the progressives from 6+000 to 7+000 of the Tarapoto - Sisa intersection. , at km 36 – Santa Martha, Santa Rosa District, El Dorado Province, San Martín Department, between the populated centers of Santa Martha and Nuevo Santa Rosa to counteract the effects of rainfall in the Peruvian jungle that harm the structure of the pavement.

It has a quantitative approach since in the research process we are going to obtain values of surface flows, infiltrated, comparing them with the response capacity of the subdrainage system. The road was evaluated in 5 sections of 200 meters, we estimated the surface flow using the recorded rainfall data provided by SENAMHI through the Alao station located in the study area. For the infiltrated flow we use design parameters of the road and the properties of the foundation soil. The software used was Microsoft Excel and Macflow software, obtaining values of surface flows that are lower than the flows obtained through the Manning equation for the designed ditch. When evaluating the MacDrain 2L, it was observed that it has high hydraulic and mechanical properties compared to the conditions of the area, using the retention, permeability, clogging and survival criteria according to the Manual Federal Highway Administration (FHWA). The values obtained for the pipe diameter were standardized at 6 inches.

Finally, it is concluded that the underground drainage system, made up of the MacDrain 2L geotextile and the perforated pipe, fulfills its function of filtering, capturing and conducting the groundwater towards the water source located in the Santa Martha populated center.

Keywords: Subdrainage system, geodrain, highway, rainfall, infiltration, flow, useful life, subdrainage pipe.

INTRODUCCIÓN

La infiltración del agua en los estratos del suelo es un problema que afecta directamente a las carreteras, siendo uno de los medios más importantes de comunicación de nuestro país. Es por ello la necesidad de construir un sistema de drenaje subterráneo que logre mitigar evacuar el agua retenida en el suelo de fundación, protegiendo su vida útil proyectada y manteniendo sus condiciones de serviciabilidad.

La presente tesis es deductiva ya que utilizaremos fórmulas para plantear nuestro diseño de subdrenaje y demostrar que tendrá la capacidad suficiente de poder drenar el agua infiltrada. La investigación es aplicada porque buscamos solucionar el problema del agua retenida en las profundidades de la base de las carreteras, evitando el deterioro del paquete estructural y prolongando su vida útil. Tiene enfoque cuantitativo ya que en el proceso de investigación vamos a obtener valores de caudales superficiales, infiltrados comparándolos con la capacidad de respuesta del sistema de subdrenaje. Es de carácter retroelectivo porque contamos con fuentes existentes antes de realizar el proyecto, con información registrada con fines distintos al estudio, como expedientes.

La presente investigación enfocó su análisis en las progresivas 6+000 a la 7+000 de la carretera ubicada en el distrito de Santa Rosa, Provincia El Dorado, departamento de San Martín y se estructuró en cinco capítulos de la siguiente manera:

Capítulo I, se desarrolla el planteamiento del problema incluyendo su problema general y específico, seguido del objetivo general y los objetivos específicos, la justificación y las limitaciones de la investigación.

Capítulo II, está conformado por el marco teórico y las investigaciones relacionadas con el sistema de drenaje superficial y subterráneo, describimos las funciones y sus propiedades hidráulicas del geotextil. También se incluyó, para un mejor entendimiento, la definición de términos básicos.

Capítulo III, constituido por el sistema de hipótesis que incluye la hipótesis general y las específicas. Además, se describen los tipos de variables independientes y dependientes y el sistema de variables.

Capítulo IV, conformado por la metodología de la investigación, contiene el método de investigación, el tipo de investigación, el nivel de investigación, el diseño de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos y análisis de la información.

Capítulo V, constituido por el desarrollo de la investigación que contiene la descripción general del proyecto, diagramas de procedimientos, cálculos e interpretación de los resultados, contrastación de los resultados y la discusión.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

1.1.1. Problema e importancia

La infiltración es un fenómeno en el cual las aguas superficiales atraviesan e ingresan al suelo hasta una determinada profundidad, este comportamiento del agua se desarrolla en su máxima expresión en zonas de altas precipitaciones, como en la selva peruana. El agua infiltrada recorre con mucha mayor velocidad cuando se trata de suelos granulares los cuales se caracterizan por tener altos índices de vacíos entre sus partículas; se ha demostrado que cuando nos encontramos en un tipo de suelo con alta presencia de finos, la velocidad de recorrido del agua disminuye, lo cual da como resultado que se quede retenida en las profundidades del suelo.

Este comportamiento del agua no es considerado en los diseños y ejecución de las obras de transporte, las carreteras cuentan con drenaje superficial, las cuales tienen como finalidad darle una salida al agua que escurre por la superficie del terreno, pero no reduce los efectos del agua infiltrada, algunos de ellos son: la reducción de capacidad portante del terreno, el reacomodo de las partículas del suelo por el paso del agua (socavación), asentamientos, alteración de la densidad. El cambio de las propiedades del suelo provoca que la carretera no cumpla con su vida útil, aparición de fallas estructurales trayendo consigo reparaciones no previstas y mantenimientos costosos.

Las obras de transporte son importantes medios de comunicación que permiten el desarrollo del país, conectando los lugares más alejados y que la población tenga acceso a servicios básicos de salud, trabajo y educación. Todos los beneficios de contar con medios de comunicación no pueden verse afectado por la falta de un sistema de subdrenaje, que deje desconectado a la población hasta su reparación de la carretera.

1.1.2. Árbol del problema (Causas - Problema - Consecuencias)

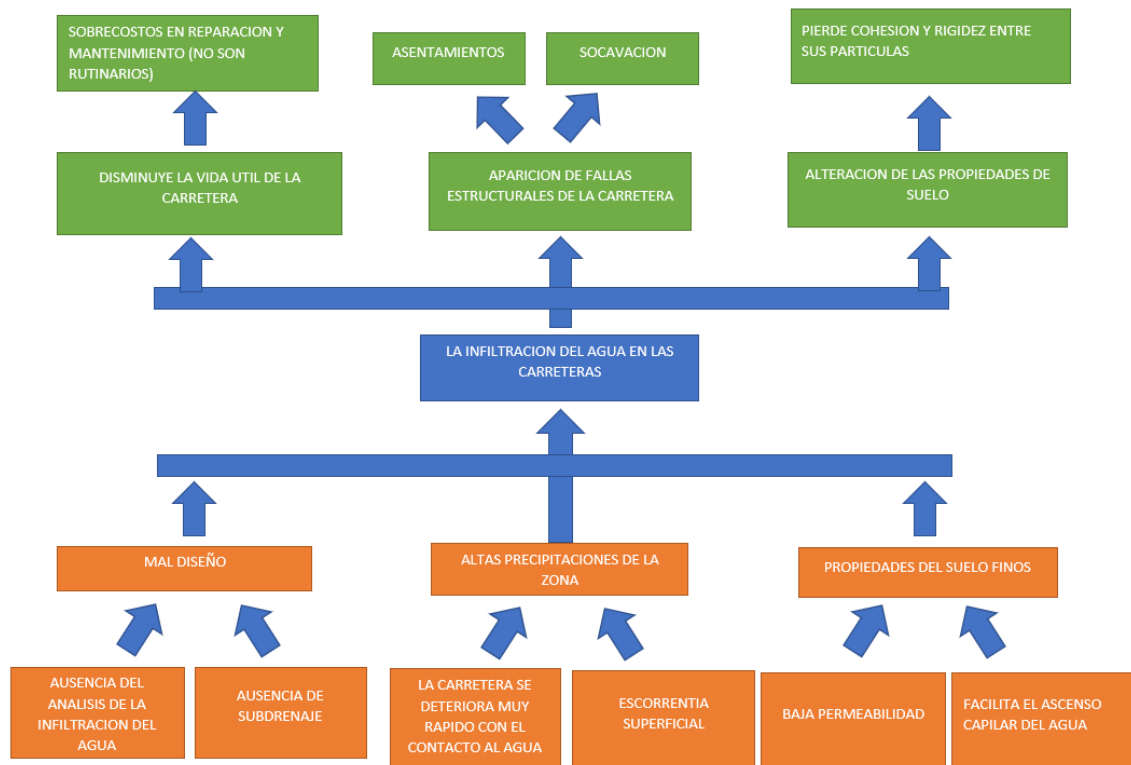


Figura N° 1: Diagrama de causas, problemas y consecuencias

Fuente: Elaboración propia

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera un sistema de subdrenaje capta y conduce el agua infiltrada en el terreno de fundación de la carretera ubicada en el cruce Tarapoto – Sisa, en el km 36 – Santa Martha, Distrito de Santa Rosa, Provincia El Dorado, departamento de San Martín?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son los valores del caudal superficial y el caudal infiltrado para dimensionar el sistema de drenaje superficial y subterráneo de la carretera?
- ¿Como evaluamos el geocompuesto para cumplir con las condiciones de la zona de estudio?
- ¿Cuál es el valor del diámetro de tubería para conducir el flujo del agua infiltrada aplicando la metodología de Manning?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de subdrenaje para captar y conducir el agua infiltrada en el terreno de fundación de la carretera ubicada en el cruce Tarapoto – Sisa, en el km 36 – Santa Martha, Distrito de Santa Rosa, Provincia El Dorado, departamento de San Martín.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Determinar los valores del caudal superficial y el caudal infiltrado de la zona de estudio para dimensionar el sistema de drenaje superficial y subterráneo de la carretera.
- b) Evaluar el geocompuesto para cumplir con las condiciones de la zona de estudio.
- c) Calcular el diámetro de tubería para conducir el flujo del agua infiltrada aplicando la metodología de Manning.

1.4. Delimitación de la investigación

1.4.1. Geográfica

Geográficamente se investigará en la selva peruana

1.4.2. Temporal

La investigación se realizará el presente año 2022

1.4.3. Temática

La temática es el sistema de subdrenaje utilizando geodrén

1.4.4. Muestral

La unidad de análisis de la investigación será la carretera de la selva peruana ubicada en el cruce Tarapoto – Sisa, en el km 36 – Santa Martha, Distrito de Santa Rosa, Provincia El Dorado, departamento de San Martín.

1.5. Justificación del estudio

1.5.1. Conveniencia

La presente investigación tiene como finalidad dimensionar un sistema de drenaje superficial y subterráneo que permita la salida del agua infiltrada, protegiendo y asegurando el cumplimiento de la vida útil del medio de comunicación más importante del país como lo son las carreteras. Este sistema de subdrenaje evita que las capas del pavimento se vean afectados por la aparición de fallas estructurales.

1.5.2. Relevancia social

El sistema de subdrenaje con geodrén ayudará a cumplir con la vida útil de las carreteras lo cual beneficiara a la población satisfaciendo las necesidades básicas como lo son la educación, salud y trabajo, además integrará los comercios ya que estas vías de comunicación mantendrán un uso continuo evitando paralizaciones por reparaciones y mantenimientos tempranos.

1.5.3. Aplicaciones prácticas

La finalidad de la presente investigación es dimensionar un sistema de subdrenaje que con su aplicación podamos extender el mayor tiempo posible de vida útil a la carretera evitando que haya incomunicaciones debidas a las fallas en las carreteras.

1.5.4. Utilidad metodológica

La investigación ayudará a que se considere utilizar el diseño de un subdrenaje, el cual sería un reforzamiento al drenaje convencional o superficial, dado que este sistema no protege completamente a la carretera.

1.5.5. Valor teórico

Se busca que la presente investigación se enfoque en sistema de subdrenaje de las carreteras en un escenario extremo como lo es la selva, la cual posee un tipo de suelo con alta presencia de finos y están expuestos constantemente a máximas precipitaciones. Este trabajo tiene como objetivo diseñar un drenaje subterráneo que abata la presencia del agua, reduciendo los volúmenes de agua infiltrada, y

a la misma vez disminuir la probabilidad de que ocurran cambios volumétricos que provoquen fallas estructurales y crear precedente para que sea considerado en la norma.

1.6. Importancia del estudio

1.6.1. Nuevos conocimientos

La presente investigación busca que se tome en consideración el sistema de subdrenaje con geodrenes el cual está compuesto por productos usados actualmente para obras de estabilización de taludes, pero esta vez, se utilizarán los geotextiles como componentes del sistema de subdrenaje en carreteras, marcando un precedente para futuras obras que requieren un sistema que permita la salida del agua retenida en el suelo, aplicando otros métodos componentes de drenaje con el mismo objetivo y dejando de lado el sistema anterior el cual consiste en la utilización de zanjas con grava.

1.6.2. Aporte

El aporte de esta investigación es el aprovechamiento de nuevas técnicas en los sistemas de subdrenaje en carreteras, para sus futuras aplicaciones en obras de construcción. El uso de geodrenes es el mejor en cuanto a proceso constructivo, carácter económico, mantenimiento de la obra. Además, de beneficiar a la población ya que al tener un eficiente sistema de subdrenaje permite que esta vía sea más duradera a lo largo de los años con el adecuado mantenimiento.

1.7. Limitaciones del estudio

1.7.1. Falta de estudios previos de investigación

Para esta investigación, no contamos con suficientes aplicaciones sobre el uso de geodrenes en las carreteras, por lo que nos limitaremos a hacer un estudio teórico y en la práctica utilizaremos fórmulas que demuestran que este estudio es viable y sostenible con el tiempo.

1.7.2. Metodológicos o prácticos

Utilizaremos la norma de hidráulica, hidrología y drenaje para el cálculo del caudal infiltrado y para la evaluación del geodrén, emplearemos el manual Federal Highway Administration (FHWA), basándonos también en el libro de diseño con geosintéticos de Koerner.

1.7.3. Medidas para la recolección de los datos

Para el cálculo de la infiltración del agua, se utilizará información de las precipitaciones del Senamhi y analizaremos la capacidad de transporte de agua del geodrén.

1.7.4. Obstáculos en la investigación

Contamos con poca información bibliográfica respecto a los sistemas de subdrenaje con geodrenes por lo que ha sido un obstáculo en la investigación y su aplicación en proyectos de las redes viales en nuestro país.

1.8. Alcance

El alcance de esta investigación será el de dimensionar el sistema de subdrenaje con geodrenes y demostrar su capacidad de evacuar el agua infiltrada y dar una solución sostenible a la carretera, utilizando la información recopilada del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi), para el cálculo de caudal de diseño y caudal infiltrado, a fin de obtener la permitividad necesaria del geotextil para captar y conducir el agua a través de la tubería del geodrén hacia una desembocadura donde no afecte o ponga en riesgo la estructura de la vía.

1.9. Viabilidad del estudio

La investigación se desarrolla en el presente año 2022, situándonos en un proyecto vial ubicado en la selva en el cruce Tarapoto – Sisa, en el km 36 – Santa Martha, Distrito de Santa Rosa, Provincia El Dorado, departamento de San Martín.

Las fuentes de información que usaremos serán las del centro de datos de Scopus, e-libro, Proquest. Nos limitaremos a hacer un estudio teórico y en la práctica utilizaremos fórmulas que demuestran que este estudio es viable y sostenible con el tiempo. Sobre el

aspecto económico, ya que la tesis es descriptiva, no vamos a contemplar realizar los ensayos ya que contamos con un expediente técnico con esos datos por lo que no estará dentro del presupuesto pagar por las pruebas de mecánica de suelos.

Finalmente, utilizaremos la siguiente metodología para el cálculo de la infiltración del agua, se utilizará información de las precipitaciones del Senamhi para obtener el caudal superficial, el caudal infiltrado y con el manual FHWA obtendremos la capacidad de retención del agua por parte de los geodrenes.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco histórico (Antecedentes)

El Perú tiene 38 tipos de climas, según el modelo de Clasificación Climática de Warren Thornthwaite - Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2020), esto se debe a la interacción de los diferentes factores climáticos, su posición geográfica y a la cordillera de los andes. Entre las regiones del Perú, la Selva representa más del 60% del territorio nacional, de los cuales el 26% posee un clima caracterizado por ser muy lluvioso y cálido durante todo el año y se encuentra en gran parte de Loreto, Ucayali, Madre de Dios y en pequeñas zonas de Amazonas, San Martín, Huánuco y Cusco. Esta región presenta en promedio, durante el año, temperaturas máximas de 31°C a 33°C en el norte y de 29°C a 31°C en el sur. Así mismo, los acumulados anuales de lluvia se encuentran entre los 2100 mm y los 5000 mm.

El Ministerio de Energías y Minas del Perú a través del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) se encarga de almacenar, registrar, procesar, administrar y difundir eficientemente información geocientífica y todo acerca de la geología básica, los recursos del subsuelo, los riesgos geológicos y el geoambiente (INGEMMET). Por lo que sabemos que el territorio amazónico litológicamente, está compuesto por depósitos aluviales (mezcla heterogénea de bolones, gravas y arenas, así como limos y arcillas) y formaciones ipururo (areniscas de coloración amarillenta, limonitas y lodolitas rojas).

Los limos y arcillas se caracterizan por tener el índice de poros menor al de los suelos granulares esto se debe al espacio mínimo que hay entre cada partícula; también poseen baja capacidad portante lo cual es perjudicial para las cimentaciones y son suelos impermeables, es decir que, la velocidad del paso del agua, cuando atraviesa sus partículas, se ve reducida, quedando prácticamente retenida en su estrato.

Contamos con redes viales departamentales y vecinales en condiciones no pavimentadas, careciendo de una capa de protección contra el contacto del agua. Para el caso de pavimentos flexibles, la carpeta asfáltica tiene como objetivo impermeabilizar la parte superior de la estructura del pavimento y en conjunto con las cunetas ubicadas en los extremos del eje de la vía cumplen la función de conducir el agua fuera de la zona de la

estructura. Como ya lo hemos descrito líneas arriba en territorio amazónico nos encontramos en condiciones de altas precipitaciones, cuyas aguas escurren sobre suelo arcilloso-limoso, quedando absorbida y retenida en las profundidades del suelo, este fenómeno se llama infiltración; el agua provoca que la estructura del pavimento pierda su grado de compactación, su capacidad portante disminuya, altera el contenido de humedad de las capas del material controlado, produce asentamientos, desniveles, agrietamiento, ahuellamiento y baches. Por lo expuesto, debemos controlar la aparición de fallas y proteger las obras viales (nacionales, departamentales y vecinales) aplicando técnicas de subdrenaje para darle una salida al agua infiltrada.

2.2. Investigaciones relacionadas con el tema

2.2.1. Investigaciones internacionales

Navarro (2019) en su investigación planteó como objetivo principal comparar el comportamiento de dos tipos de subdrenajes diferentes para un tramo de vía ubicado en la zona andina, se diseñó dos sistemas para un mismo caudal de infiltración evaluando la capacidad hidráulica y el costo de construcción entre subdren francés y del geodrén Lamidren L20DB. Con el fin de incursionar en nuevas técnicas de subdrenaje que mejoren la capacidad de drenaje de la vía y, por consiguiente, una reducción en los costos en su ejecución. Se observó que el sistema de subdrenaje realizado con el geodrén Lamidren L20DB aporta el triple de la capacidad de drenaje para un mismo caudal de infiltración en comparación con el subdren tradicional francés. Además, los resultados de análisis revelaron un ahorro económico del 41% implementando el subdrenaje con el geodrén debido a que su alta capacidad hidráulica permite la reducción de la cantidad de excavación para la zanja y del material triturado filtrante. En conclusión, el sistema de subdrenaje diseñado con el geodrén Lamidren L20DB presente mayor capacidad de drenaje y mayor economía en comparación con el diseño del sistema tradicional subdren francés.

Correa (2021) en su investigación planteó como objetivo principal dar a conocer la funcionalidad de los sistemas de drenaje denominado “Geodrén Planar

y Geodrén Circular”, al igual que el dren convencional o también conocido como Dren Francés para así poder conocer cuáles son sus características físico-mecánicas. Este proyecto propone la construcción de drenajes con este sistema; hoy en día es muy importante el contexto del medio ambiente, es por esa razón que con este método reduciremos la explotación de canteras para la obtención de material granular y por ende lograremos la reducción del costo de material granular utilizado anteriormente por el sistema de Dren Francés para el drenaje longitudinal de la vía.

Bravo y Lumbi (2020) en su investigación se planteó como objetivo proponer una solución para la estabilidad en el sector Agua Blanca de la vía que une Guanajuato - Echeandía. Con los datos obtenidos en campo y laboratorio se determina el tipo de deslizamiento, para determinar un método de análisis de estabilidad de talud y así poder optar por una solución factible y eficaz. Se plantean dos propuestas; la primera consiste en el cambio de la geometría del talud con la implementación de subdrenes para evacuar el exceso de aguas en el interior del talud, evitando así que ocurra un deslizamiento, La segunda propuesta es la colocación de un muro de contención de gravedad aumentando la resistencia del talud y para evacuar el agua se optó por el uso de subdren.

Morales (2021) En su tesis que tiene como objetivo determinar la conductividad hidráulica en un suelo arcilloso de baja compresibilidad mediante un estudio Teórico-Experimental. Menciona que la infiltración varía de acuerdo a la textura del suelo, será más rápida en suelos arenosos y más lenta en los suelos arcillosos; además, la infiltración tiene relación directa con el contenido de humedad del suelo ya que, si el suelo está seco, absorbe el agua rápidamente. Presenta los principales métodos utilizados para determinar la infiltración en el suelo son: el infiltrómetro de doble anillo, infiltrómetro de discos de tensión y los simuladores de lluvia.

2.2.2. Investigaciones nacionales

Aguilar y Amarillo (2021) en su investigación se planteó como objetivo principal plantear una propuesta de mejora para el sistema de drenaje transversal y longitudinal de la carretera Ramal Pacucha los resultados respecto al drenaje transversal fueron la obtención 21 alcantarillas metálicas con caudales máximos de 0.686 m³/s y diámetros de 36" (914 mm) con una longitud promedio de 13.25 m, todas las alcantarillas cuentan con un sistema de emboquillados en los cabezales de entrada y salida; esto para evitar la erosión del terreno; respecto al drenaje longitudinal se propuso 6.22 km de cunetas en forma triangulares los cuales cuentan con tirantes de 0.077 m y velocidades de 1.435 m/s.

Vite (2019) en su investigación planteó como objetivo principal plantear una propuesta técnica en donde se diseñó un sistema de subdrenaje (Dren francés) que consiste en interceptar, conducir y/o desviar los flujos superficiales (subterráneos) que se encuentren en el suelo de fundación de la carretera y/o provenientes de los taludes adyacentes para el mejoramiento de capacidad de soporte del suelo de fundación. Este mejoramiento permitirá evitar el impacto negativo de la presencia del agua para buscar un desempeño en la estabilidad, durabilidad y transitabilidad a lo largo la vida útil del paquete estructural.

Cachi y Sánchez (2019) en su investigación se planteó como objetivo principal identificar las amenazas del cambio climático que generan daños en la infraestructura de la zona y desarrollar la gestión del riesgo que tiene como enfoque principal la adaptación al cambio climático y así lograr la resiliencia frente a consecuencias futuras que perjudican el diseño, ejecución, operación y mantenimiento de la infraestructura vial llegando a la conclusión que el cambio climático se presenta en las fechas de enero a marzo en la provincia de Chanchamayo, temporada de invierno en la que se producen precipitaciones pluviales con mayor frecuencia generando inundaciones, deslizamientos, aluviones/huaycos y a su vez ocasionan la interrupción, bloqueo y destrucción de carreteras.

Apaza y Landeo (2020) en su investigación se planteó como objetivo principal la estimación del flujo de infiltración de las aguas subterráneas en el túnel Ollachea-Puno. Es por ello, que se determinó como análisis preliminar la estimación del caudal de infiltración del flujo subterráneo en el túnel proyectado. Para lo cual se realizó la caracterización de las unidades litológicas, hidrogeológicas y geotécnicas del túnel, también se determinaron las propiedades hidrogeológicas de la zona a través de la interpretación de sondeos hidrogeológicos y monitoreos de agua en la zona. Finalmente se desarrolló el modelo numérico de la zona de afectación caracterizando la geología e hidrogeología con el software FEFLOW. Para la calibración del modelo se ajustaron las tasas de recarga y las conductividades hidráulicas. Mostrando durante el primer año de construcción caudales de filtración entre 5.92 a 7.65 l/s.

Urbano y Vargas (2019) en su investigación se planteó como objetivo principal analizar las metodologías descriptivas las cuales son: MTC del Perú, URCI- EE. UU y TMH-12 Sudáfrica donde mencionan como determinar los tipos de fallas en una carretera no pavimentada para evaluar el estado de condición, con el fin de evaluar el método más simple para establecer el tipo de intervención. Las propuestas utilizadas por los 3 métodos en la investigación obtuvieron como resultado lo siguiente: Método MTC el índice de condición es 438.317 - estado bueno, el Método URCI cuyo valor es 50 - estado Pobre y Método TMH -12 es grado 4 - estado pobre. Se logró determinar que la ruta LM- 580 se encuentra en estado pobre y es necesario realizar mantenimiento periódico. Logrando el objetivo se determinó que el método simple evaluación es el URCI.

2.2.3. Artículos relacionados con el tema

La preservación y el cuidado del medio ambiente es de alta importancia tanto para las generaciones actuales como para las futuras. Palmeira, Araujo & Araujo (2021) afirma lo siguiente:

Los geosintéticos pueden brindar soluciones de ingeniería sustentables para problemas geotécnicos y geoambientales, reduciendo el consumo de materiales naturales y causando un menor impacto al medio ambiente.

Los geosintéticos pueden desempeñar diferentes funciones en un proyecto de ingeniería, como drenaje, filtración, barrera, separación, refuerzo y protección.

Cuando combinamos los geosintéticos con materiales de desechos, se espera que las soluciones que involucren geosintéticos resulten ser más beneficiosas para el medio ambiente, ya que evitarán o reducirán la utilización de materiales naturales de buena calidad (que son cada vez más escasos y costosos en varias regiones). Al disminuir su explotación se darán repercusiones positivas para el medio ambiente. Tenemos casos de combinaciones de geosintéticos con llantas usadas, objetos de plástico, desechos de construcción y demolición. Sin embargo, hay que tener en cuenta que algunos de estos residuos pueden ser nocivos para el medio ambiente. De este modo, se debe tener el debido cuidado al utilizar residuos en la construcción, ya que puede contaminar el suelo debido a la degradación de los residuos con el tiempo o la presencia de contaminantes. Con la finalidad de mitigar los efectos de degradación, dichos desechos son factibles si se emplean barreras geosintéticas apropiadas (geomembranas o GCL).

En las últimas décadas, la importancia del desarrollo sostenible en la sociedad ha aumentado considerablemente, García, Lapeña, Blanco (2020), sostienen:

Una posible solución a los problemas de regulación climática y gestión de aguas de escorrentía en áreas urbanas es el uso de lo que se conoce como Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS) en Europa, Diseño Urbano Sensible al Agua (WSUD) en Australia o Desarrollo de Bajo Impacto (LID) en los Estados Unidos y Japón.

Los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS) son un conjunto de técnicas que tienen como finalidad mejorar la gestión de las aguas pluviales y de escorrentía a la vez que reducen su contaminación. Muchos de estos sistemas incorporan geotextiles en sus estructuras, que actúan como separadores de capas y filtros de agua. Este estudio propone una metodología de ensayo que puede reproducir este efecto y obtener un factor de reducción de la permeabilidad al agua del material después de

su instalación, que se define aquí como el 'factor de nueva condición'. El procedimiento simuló las condiciones reales de instalación en laboratorio provocando que la probeta sufriera daños tanto mecánicos como hidráulicos y midiendo posteriormente la pérdida de permeabilidad al agua que provocaba en el geotextil. Dado que, las aberturas del geotextil fueron cerradas por las partículas de suelos finos que fueron arrastradas por el flujo del agua, convirtiendo a la capa sobre la cual se instala el geotextil como una capa impermeable.

Los geosintéticos son productos hechos de materiales poliméricos sintéticos o naturales, que se utilizan en contacto con suelo o roca y otros materiales geotécnicos, Wu et al. (2020) señala que están compuestos por:

Principalmente geotextil, geomalla, geocelda, geored, geomembrana, esfera de control de erosión, revestimiento de arcilla geosintético y geocompuesto. En la actualidad, cada año se utilizan más de 1.400 millones de metros cuadrados de geotextiles, y la tendencia va en aumento. Alrededor del 98% de los geotextiles consisten en polímeros no degradables de la familia de las poliolefinas, poliésteres y poliamidas. El uso a largo plazo de geotextiles, debido a bastantes factores ambientales, como el viento, la humedad, la fricción y la radiación ultravioleta, puede causar la desintegración del polímero sintético, lo que resulta en la acumulación de microplásticos en el entorno circundante.

Por lo tanto, los geotextiles deben evolucionar hacia un alto rendimiento y múltiples funciones. Con la popularidad del concepto verde, una multitud de académicos ha estudiado la posibilidad de que los geotextiles naturales reemplacen a los geotextiles poliméricos no biodegradables. (Prambauer, Wendeler, Weitzenböck, Burgstaller, 2019)

Castellini, Prima, Moret-Fernandez, & Lassaatere (2021) en su trabajo de investigación estudian los ensayos para determinar las propiedades hidráulicas del suelo, y resalta el gran esfuerzo que se viene dando en los últimos años para desarrollar métodos relativamente fáciles, robustos y económicos para la caracterización hidráulica de suelos.

En su revista científica, discute diferentes técnicas de infiltrómetro a la luz de las aplicaciones experimentales disponibles, específicamente, considera la técnica del infiltrómetro de cabeza descendente simplificada (SFH) y el experimento de infiltración de un solo anillo del tipo Beerkan. Con respecto a este último método, considera diferentes algoritmos para el análisis de datos: dos métodos simplificados basados en el análisis de datos de infiltración de Beerkan transitoria (TSBI) y constante (SSBI), y el algoritmo Beerkan Estimation of Soil Transfer parameters algorithm (BEST), que permite estimar las curvas características del suelo, es decir, la curva de retención de agua del suelo y las funciones de conductividad hidráulica.

Putu, Wardani (2020) describen en su trabajo el comportamiento de terraplenes reforzados con geosintéticos sobre suelo arcilloso blando con y sin drenaje vertical prefabricado.

En este estudio también se consideró el efecto de un método de construcción de precarga con etapas para construir el terraplén, la ganancia de capacidad portante, así como la profundidad del suelo compresible. En este estudio se utilizó el equilibrio límite utilizando los métodos de Bishop y Fellenius para determinar la estabilidad del terraplén. La instalación de drenaje vertical, combinada con el método de construcción por etapas, reduce sustancialmente la cantidad de refuerzos geotextiles necesarios. El número de geotextiles se puede reducir hasta el doble en comparación con el suelo de cimentación sin PVD. Es más, el uso combinado de geotextil y PVD puede mejorar el rendimiento de la altura del terraplén, así como aumentar la altura crítica del terraplén con refuerzos de geotextil. Sin PVD, el terraplén será seguro contra deslizamientos (sin geotextil) de menos de 3,5 metros. Cuando se usa PVD, la altura crítica del terraplén puede aumentar hasta 7 metros. Esta condición ocurre cuando el terraplén se construye utilizando el método de construcción por etapas, refuerzo geotextil, así como la instalación de PVD para el mejoramiento del suelo.

Lin & Zhang (2018), mencionan en su revista científica que los geotextiles se utilizan comúnmente en el diseño de carreteras para proporcionar funciones mecánicas e hidráulicas debido a su alta resistencia y propiedades porosas.

El desempeño de un sistema suelo-geotextil puede ser decepcionante cuando el incremento del contenido de humedad del suelo es pequeño. El agua capilar existe en una variedad de suelos y puede ser difícil de drenar en condiciones no saturadas. Desafortunadamente, los métodos de diseño de drenaje subterráneo existentes sólo pueden lidiar con agua libre (agua que fluye bajo la influencia de la gravedad) y las barreras capilares convencionales no pueden absorber el agua de las estructuras de pavimento, resultando en una sobreestimación del desempeño a largo plazo del pavimento. Un geotextil con tejidos absorbentes tiene el potencial de resolver este problema. Las pruebas preliminares de laboratorio y de campo han demostrado su eficacia para absorber agua gravitatoria y capilar en condiciones no saturadas. Además, se realizaron una serie de pruebas para estudiar el mecanismo de trabajo del geotextil, evaluar su eficiencia de drenaje y evaluar los efectos del empalme y la obstrucción en el desempeño del drenaje del geotextil. Los resultados indican que el geotextil puede drenar eficazmente tanto el agua gravitacional como la capilar de las estructuras de pavimento; sin embargo, los empalmes pueden reducir la eficiencia del drenaje.

Elzoghby, Jia & Luo (2021) señala que la envoltura de geotextil sintético se puede usar como sustituto de los filtros de arena para las tuberías de drenaje subterráneas

A pesar de ello, pueden ocurrir obstrucciones y bloqueos si el filtro no es el correcto. Presenta un estudio de laboratorio sobre el desempeño hidráulico del geotextil no tejido como filtro de drenaje subterráneo para suelo limoso en el este de China. Se probaron dos geotextiles sintéticos seleccionados y los resultados mostraron que Typar SF27 cumplió con los requisitos de filtración en comparación con los filtros de arena tradicionales. Typar SF20 exhibió un riesgo de obstrucción de aproximadamente un 50 % más que SF27; también se expuso a la pérdida

de suelo unas 10 veces más que el SF27. Los resultados indican que la elección del material geotextil envolvente para los suelos objetivo debe tener en cuenta el O90 del material geotextil y la distribución del tamaño del suelo. Los hallazgos de este estudio pueden proporcionar una referencia técnica para seleccionar el material filtrante de geotextil adecuado para las tuberías de drenaje subterráneo en el área de estudio y regiones con condiciones de suelo similares.

Sañudo, Coupe, Charlesworth & Rowlands (2018) enfocan su estudio en uno de los sistemas de drenaje más utilizados: Highway Filter Drains (HFD). Es considerado como una solución ambiental para el drenaje sostenible en infraestructuras de transporte. Su artículo determina la respuesta hidráulica y de obstrucción de 3 diseños diferentes de HFD en el laboratorio; un diseño estándar con agregado British Standard Tipo B y 2 nuevos diseños que incluyen un geotextil ubicado a 50 mm y 500 mm de profundidad desde la superficie de la estructura HFD para evaluar el efecto del geotextil. Los modelos de laboratorio se sometieron inicialmente a 9 escenarios de lluvia con 3 intensidades de lluvia (2,5, 5 y 10 mm/h) y 3 duraciones de tormenta (5, 10 y 15 min). Posteriormente, se agregó el equivalente de 2 años de contaminantes para probar posibles problemas de obstrucción bajo el evento de lluvia de mayor intensidad, correspondiente a un período de retorno de 1 en 1 año para West Midlands, Reino Unido. No se encontraron problemas de colmatación en ninguno de los modelos, aunque la mayoría de los sedimentos se concentraron en los primeros 50 mm del perfil HFD, con porcentajes más altos (>90% del sedimento agregado) en aquellos modelos con geotextil superior. La ubicación del geotextil influyó significativamente (valor $p = 0,05$) en el rendimiento hidráulico del HFD.

Zaborskaya, Nikitin & Nevzorov (2017) describen que la ciudad de Arkhangelsk se encuentra en una llanura pantanosa, donde el nivel del agua subterránea solía coincidir con la superficie.

La preparación del terreno para la construcción consistió en rellenar una capa de arena sobre turba. Por lo tanto, las características geotécnicas de las áreas desarrolladas fueron el alto nivel de agua subterránea y el asentamiento a largo plazo de turba bajo terraplenes de arena. Por tal motivo, las estructuras subterráneas están protegidas por un drenaje y los drenajes se instalan sobre cimientos de pilotes. Un problema que ocurre en el curso de la operación de drenaje y que requiere costosas actividades de reinstalación es la obstrucción de los filtros de drenaje con partículas finas orgánicas y de arcilla transportadas por el flujo de agua subterránea. La obstrucción de la cubierta de piedra triturada sobre la tubería de drenaje resultó en la reducción del factor de permeabilidad. Se realizaron ensayos de laboratorio para estimar la confiabilidad de los drenajes con las tuberías envueltas en geotextil. Además, se investigaron los drenes con una capa de geotextil que rodea la cubierta filtrante de piedra. Para simular la obstrucción, se añadieron humus y partículas de arcilla al agua que corría por el tubo de filtración. Resultó que la segunda disposición de geotextil fue la más efectiva.

Kalore, S. A., Sivakumar Babu, G. L., & Mallick, R. B. (2018) en su trabajo se dedican a desarrollar un modelo analítico para estimar el tiempo de drenaje considerando las características no saturadas del material base del pavimento y la calibración del modelo mecanicista.

Aplican el enfoque utilizando las cuatro gradaciones de agregado estándar recomendadas por AASHTO para la capa de drenaje, así como una capa de agregado denso graduada, comparando los resultados con los enfoques FWHA (Administración General de carreteras) y el análisis de elementos finitos (FEA). Su estudio muestra que el modelo desarrollado funciona igual que el análisis de elementos finitos, el cual requiere un modelo numérico riguroso, predice tiempos de drenaje y es sensible a los parámetros de diseño.

Cedergren (1967) concluyó después de una extensa investigación que un pavimento bien drenado puede tener una capacidad de servicio de tres a cinco veces

mayor que la de un pavimento convencional mal drenado. La humedad en los sistemas de pavimento puede provenir de las diferentes fuentes como:

- a) Precipitación que se infiltra desde la superficie del pavimento.
- b) Variación estacional en el nivel freático.
- c) Movimiento del agua por acción capilar o películas de agua interconectadas.
- d) Infiltración lateral a través de laderas y colinas.

El sistema de drenaje subterráneo utiliza materiales que pueden drenar el exceso de humedad que ingresa al pavimento y se dirige a los desagües o salidas del agua laterales dentro de un periodo de tiempo razonable evitando el deterioro de su estructura. También señalan que la clave del éxito del sistema de drenaje subterráneo es la previsión de una capa granular que tenga una granulometría y grosor óptimos para proporcionar una descarga rápida y estabilidad estructural.

El modelo estudiado se basa en dos principios:

- a) La capa drenaje debe ser capaz de drenar la humedad a una velocidad igual o superior a la tasa de entrada
- b) El tiempo requerido para un cierto grado de drenaje considerando como estado inicial la saturación completa de la base granular.

Finalmente, los resultados del modelo basado en el método de elementos finitos (FEA) fueron capaces de simular el proceso de precipitación-infiltración-drenaje para un evento de lluvia dado y puede estimar la distribución temporal del contenido de humedad, el cual es un parámetro importante para medir el deterioro del pavimento y módulo resistente para el diseño estructural del pavimento.

Balbín (2016) menciona en su revista científica que para la carretera Iquitos – Nauta debido a las condiciones climáticas e hidrogeológicas de la región hacían necesaria e imprescindible la utilización de adecuados sistemas de

drenaje, tanto superficiales como subsuperficiales, que garanticen la durabilidad de la carretera.

El planteamiento inicial del subdrenaje contemplaba un diseño tradicional (zanja con geotextil y grava seleccionada). La presencia de suelos blandos, la subrasante conformada por suelos arcillosos y la ausencia de canteras de material granular en la zona, exigía un gran movimiento logístico que tomaba semanas en poner los materiales en obra; por lo tanto, el diseño tradicional se convertía en una alternativa muy costosa debido al incremento de la grava en ocho veces su costo inicial desde la zona de extracción.

La nueva propuesta de subdrenaje consistió en reemplazar la grava de una zanja de 0.50m de ancho por 1.20m de profundidad, por una de iguales dimensiones, pero empleando el MacDrain. Este fue colocado en el eje de la zanja, el cual luego fue relleno con un material granular fino que cumplía con un diseño granulométrico específico, de manera que el relleno servía como un filtro de transición entre la arcilla y el filtro geotextil del MacDrain, evitando su obstrucción, garantizando su operatividad y durabilidad.

MacDrain 2L es un geocompuesto para drenaje liviano y flexible, cuyo núcleo drenante es formado por una geomanta tridimensional de 10 mm de espesor y con un índice de vacíos de 90%, la cual está revestida a ambos lados con geotextiles. La función de los geotextiles es servir como filtro del flujo subsuperficial, impidiendo el paso de partículas que colmaten u obstruyan el sistema. La función de la geomanta es servir como drenaje de las aguas que atraviesan el geotextil, conduciéndolas directamente a la tubería perforada. La capacidad de flujo para drenaje vertical del MacDrain es de 1.51 l/s.m para una presión de 20 kPa, lo cual es equivalente a 2.50 m de profundidad. (Balbín, 2016)

La facilidad constructiva de esta nueva solución permitió superar en un 65% los rendimientos estimados en el presupuesto, alcanzando un rendimiento diario de 200ml por día. En una solución de subdrenaje

convencional esto les hubiera llevado a utilizar hasta tres tipos de material granular: Arena, grava $\frac{3}{4}$ " a 1" y de 1" a 2", incluyendo adicionalmente el geotextil, aumentando así el costo y tiempo de ejecución de la obra.

Al finalizar la construcción, se observó la operatividad del sistema de subdrenaje al notar el flujo de agua clara que drena por la tubería perforada, verificando el excelente desempeño del MacDrain. En conclusión, según los reportes de productividad, los costos de estos trabajos se redujeron en 60% en comparación con la solución tradicional, convirtiendo al MacDrain en una nueva alternativa que proporciona excelentes ventajas técnicas, económicas y constructivas. (Balbín, 2016)

McClelland (1944) enfoca su estudio en el método a gran escala, el cual consiste en una representación a tamaño real de una carretera para obtener valores de mayor precisión, dando este estudio como resultado final un ábaco el cual es usado por el programa Macflow.

Para entender el problema del subdrenaje, primero es necesario estudiar la forma en que se comportan los drenajes. En la Figura 2 se muestra una serie de vistas de la misma sección transversal típica. Estas vistas representan diferentes intervalos de tiempo una vez que el drenaje empieza a evacuar el agua del suelo. La figura 2A representa el patrón de flujo que existe cuando los drenajes comienzan a eliminar el agua del suelo. La figura 2B representa el patrón de flujo que se obtuvo poco tiempo después. En la Figura 2C muestra el patrón de flujo que ocurre después de un periodo largo de tiempo. El nivel freático ha descendido por debajo de su posición inicial, y el agua fluye principalmente desde la superficie del agua hacia el costado de la carretera. Los canales de flujo se redujeron a dos por cada tubería de drenaje, y la velocidad de descarga ha disminuido en una cantidad equivalente. (McClelland, 1944)

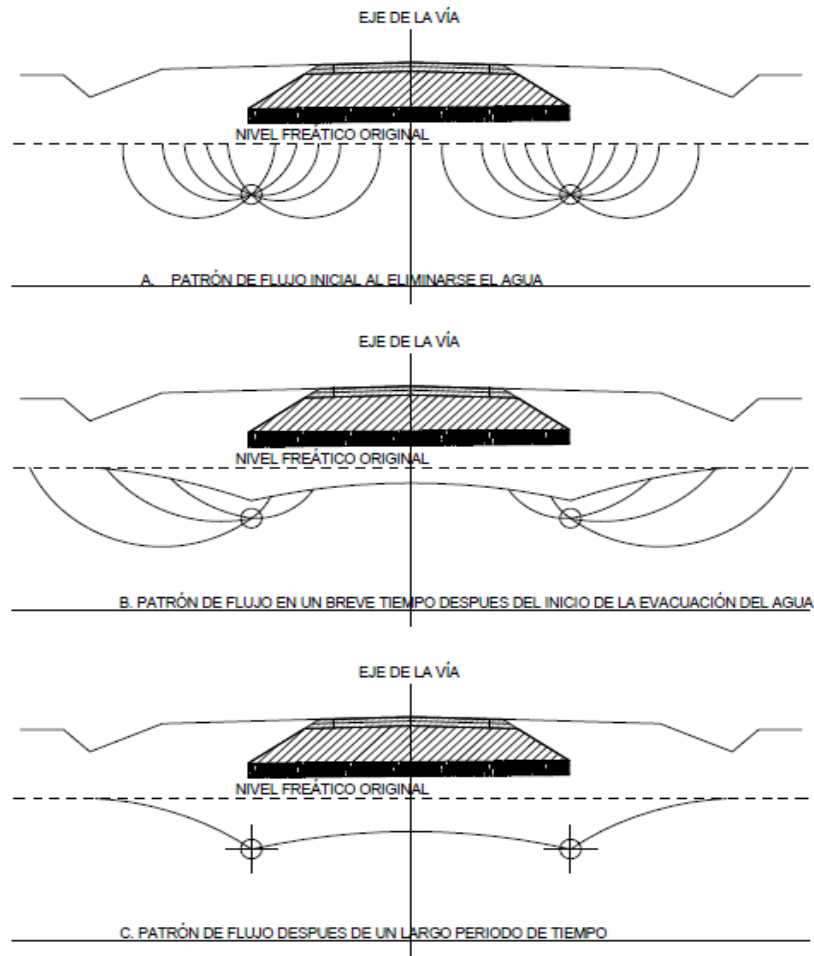


Figura N° 2: Patrones sucesivos de flujo hacia drenajes paralelos

Fuente: McClelland (1944)

Los modelos a pequeña escala de una pared transparente se han utilizado con frecuencia para pruebas cualitativas o con fines de demostración, pero generalmente se consideran poco fiables desde el punto de vista de los resultados cuantitativos. Por lo tanto, se determinó utilizar modelos a gran escala en su estudio.

(McClelland, 1944) Cuando se diseña un sistema de subdrenaje con el propósito de disminuir el nivel freático, se presentan diversos problemas. En primer lugar, determinar la permeabilidad del suelo para calcular el tiempo de evacuación del agua. Además, se debe definir la profundidad de colocación de la tubería de desagüe y su diámetro. También debe decidir qué tipo de subdrenaje (dren francés, zanja de gravas, MacDrain)

usar, y el material de relleno a usar. En la figura 3 se muestra una sección transversal del modelo.

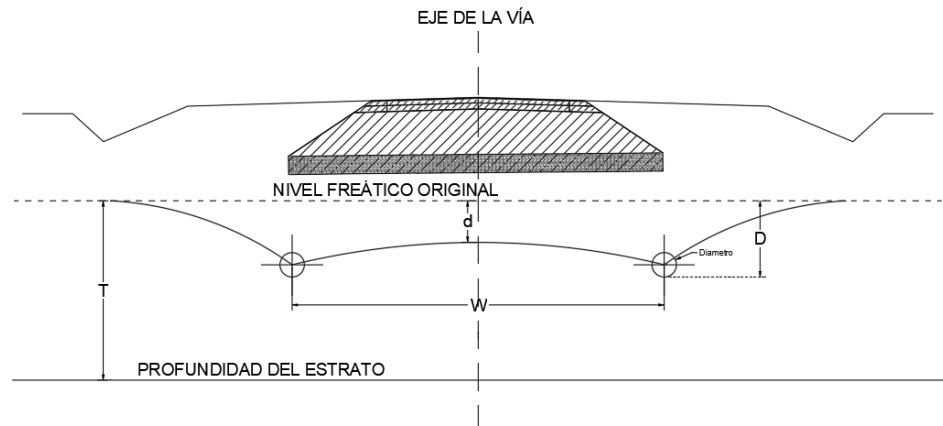


Figura N° 3: Sección típica investigada en estudios de modelos

Fuente: McClelland (1944)

Las variables particulares investigadas en este estudio son los factores del suelo que influyen en el descenso del nivel freático y las dimensiones que caracterizan cualquier instalación dada, a veces denominadas condiciones de contorno. (McClelland, 1944) Son las siguientes:

Factores de suelo

K: coeficiente de permeabilidad

Dimensiones que definen las condiciones de contorno,

D: Profundidad del drenaje, medido desde la superficie original del agua subterránea hasta el fondo del drenaje

S: Diámetro del drenaje

W: espaciado de drenaje o distancia entre drenajes

T: Espesor de la capa permeable bajo el agua.

Las condiciones de contorno y los símbolos se muestran esquemáticamente en la Figura 3. Las variables de tiempo para cualquier

sección dada, por medio de las cuales se evalúan las variables anteriores, son:

t: tiempo transcurrido desde que el drenaje comenzó a evacuar el agua

d: profundidad del drenaje en el tiempo t, la cantidad de la superficie del agua subterránea descendió por debajo de su posición original (medida en la línea central de la carretera)

q: tasa de descarga por unidad de longitud de tubería, en el tiempo t.

(McClelland, 1944) Al planificar las dimensiones del tanque que simulará la sección transversal que se ve en la Figura 4, se aprovechó la simetría por lo cual se reprodujo solo la mitad de la sección. Con esta disposición un extremo del tanque representaba la línea central de la calzada y se denominará como tal en este documento. Para determinar la distribución del flujo y la posición de la superficie del agua subterránea en cualquier momento, se instalaron cinco grupos de tubos piezómetros a lo largo del tanque.



Figura N° 4: Tanque usado en el modelo de drenaje

Fuente: McClelland (1944)

Se usaron tres tipos de suelos en las pruebas: una arena gruesa, una arena limosa y una arena limpia y fina como se ve en la tabla N° 1. Las pruebas con estos suelos se designaron como Serie A, B y C, respectivamente. (McClelland, 1944) Las propiedades promedio del suelo que determinan sus características de drenaje son:

Tabla N° 1:
Propiedades de los suelos de ensayos McClelland

Serie	Tipo de suelo	Coefficiente de Permeabilidad	Porosidad
A	Arena gruesa	1×10^{-3} cm/s	0.12
B	Arena limosa	1×10^{-5} cm/s	0.07
C	Arena Fina	1×10^{-4} cm/s	0.10

Fuente: McClelland (1944)

Estos ensayos de laboratorio dieron lugar al siguiente ábaco el cual proporciona el diámetro requerido para el caudal de diseño.

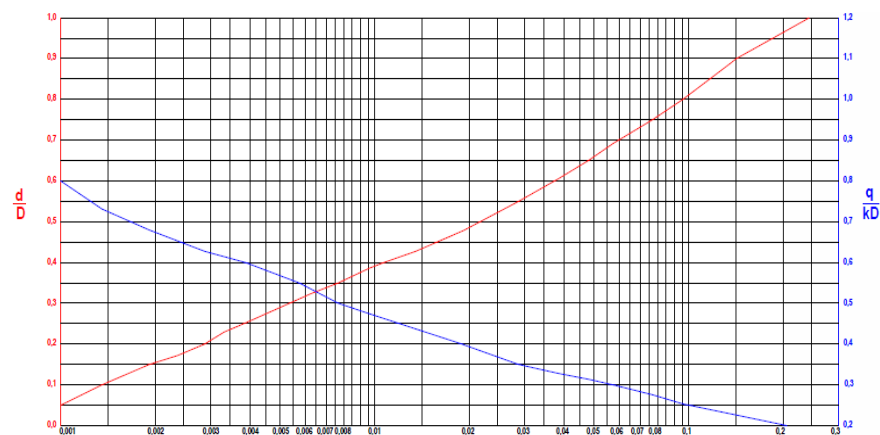


Figura N° 5: Ábaco de McClelland

Fuente: Maccaferri (2019)

2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

2.3.1. Fundamentación teórica (Introducción)

(Manual de Hidrología, hidráulica y drenaje, 2011) El estudio de subdrenaje, es una actividad muy importante; dado que enfrenta a las condiciones freáticas, los

187 flujos subsuperficiales que varían constantemente según la estación del año, el comportamiento hidrológico de la zona, tipo de suelo, pendiente, etc.

La necesidad de obras de subdrenaje en un proyecto vial nace a partir de las apariciones de fallas en las carreteras y de la poca durabilidad del tiempo de vida. Las fallas son producidas por el agua infiltrada que ingresa desde la superficie a las profundidades del suelo y la presencia del nivel freático de la zona.

2.3.2. Ciclo del agua

El ciclo hidrológico no tiene ni principio ni fin y sus procesos ocurren en forma continua (Chow et al. 1988), es descrito como el conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso), como en su forma (agua superficial, agua subterránea entre otros). El ciclo hidrológico, ver figura 6, es completamente irregular, y es precisamente contra estas irregularidades que lucha el ser humano. Una muestra de ello son los periodos de satisfacción con los requerimientos del agua para las diferentes actividades, otros periodos de sequías y otros de inundaciones (Villón, 2004). Los principales componentes del ciclo hidrológico son: la precipitación, evapotranspiración, infiltración y percolación, escorrentía superficial, flujo subsuperficial y el flujo subterráneo.

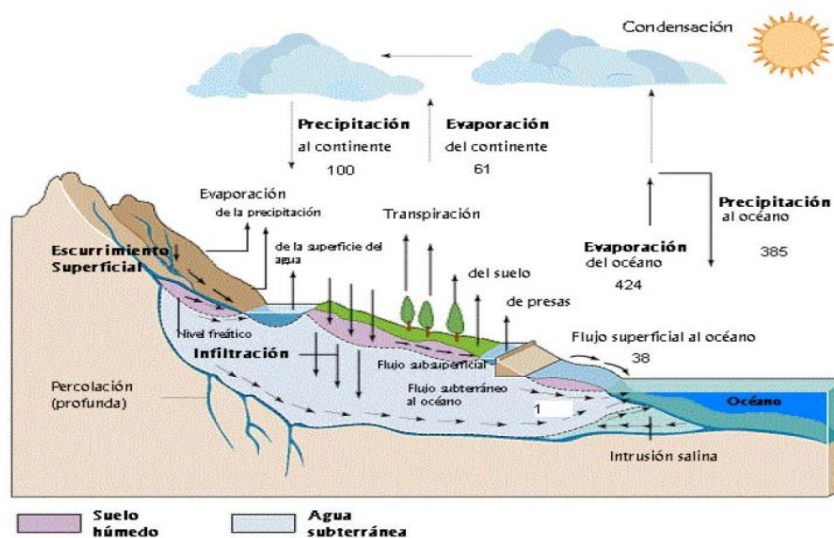


Figura N° 6: Ciclo hidrológico

Fuente: Ven Te Chow (1988)

a) Precipitación

La precipitación es el término general para toda el agua que proviene de las nubes y cae a la tierra en cualquiera de sus estados físicos. Existen varias formas de precipitación dependiendo de las condiciones meteorológicas existentes, en latitudes medias se pueden distinguir la llovizna, lluvia, granizo, nieve, rocío y escarcha (Linsley et al. 1990). El tipo y la cantidad de precipitación dependen enormemente del tipo y cantidad de enfriamiento y de la humedad existente en el aire, pudiendo encontrar precipitaciones de tipo ciclónica, convectiva, orográfica, por choques de masas de aire y por radiación. Sin embargo, independientemente de la forma y tipo de precipitación, una vez que el agua de lluvia llega al suelo, la altura de precipitación, ocurrida en un tiempo, se distribuye, dependiendo de la forma de distribución de las condiciones imperantes en el momento y en el sitio en que ocurre la precipitación. Una parte es interceptada por las plantas, otra se deposita en almacenamientos superficiales, una más se infiltra incrementando las corrientes subterráneas, saturando primero el suelo y el restante escurre superficialmente hacia los cauces naturales de drenaje, formando así las corrientes

b) Infiltración

La infiltración se define como el movimiento del agua, a través de la superficie del suelo y hacia adentro del mismo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares (Aparicio Mijares, F. J. y Mijares 1989).

c) Percolación

La percolación es el movimiento por el cual el agua recorre los medios permeables de suelo saturados de agua. Ambos fenómenos están íntimamente ligados puesto que, la primera no puede continuar sino cuando tiene lugar la segunda (Senamhi, 2016).

d) Escorrentía superficial:

Se entiende por escorrentía a la lámina de agua que circula libremente sobre la superficie terrestre. En la figura 7, se observa que como se producen dos tipos de escorrentía, (Senamhi, 2016).

Escorrentía por exceso de infiltración: Se produce en los suelos que no están saturados, es decir, cuando las partículas de suelo están unidas entre sí y no contienen humedad en sus vacíos, el proceso de infiltración no puede absorber el agua producida por lluvias repentinas o un deshielo rápido.

Escorrentía por exceso de saturación: Se produce cuando el suelo está saturado y no queda espacio para que se infiltre más agua. Esto puede ocurrir incluso en suelos que normalmente, en condiciones subsaturadas, permiten la infiltración de grandes cantidades de agua.

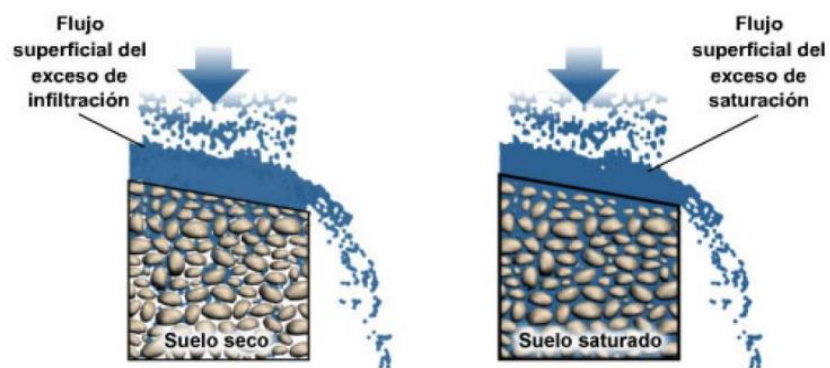


Figura N° 7: Tipos de formación de escorrentía superficial

Fuente: Senamhi (2016)

e) Escorrentías subsuperficiales

Cuando se producen las precipitaciones estas pueden ser interceptadas y pueden ser contenidas en la cubierta de la vegetación o descender a la superficie del suelo. La escorrentía o caudal superficial se desplaza por todo el terreno natural o también se puede mover relativamente rápido hacia un canal de corriente por un corto plazo. En la figura 8 se muestra que el agua infiltrada puede ser contenida en el suelo y evapotranspirada

posteriormente o puede avanzar lentamente al sistema de agua-superficie a través de espacios subterráneos. (Senamhi, 2016).

La escorrentía subsuperficial está relacionada con el aumento de la humedad en los estratos de suelo, esto es perjudicial para todo tipo de construcción, entre ellas se encuentran las obras viales, cuya disminución de su capacidad portante del terreno de fundación puede dar lugar a fenómenos fisicoquímicos que modifiquen su estructura debido a cambios volumétricos y sucedan comportamientos de modo perjudicial, tales como erosión, meteorización, disolución, expansión, colapso, etc. (Ministerio de Fomento, 2004).



Figura N° 8: Representación de movimientos de tierra

Fuente: Senamhi (2016)

Las aguas infiltradas presentan movimiento vertical hasta que llegan a un estrato de baja permeabilidad sobre el cual se pueda producir un flujo subhorizontal. Si los estratos atravesados fueran suficientemente permeables, el flujo vertical continuaría, hasta encontrar un material con mayor impermeabilidad. (Ministerio de Fomento, 2004).

2.3.3. Geosintético

Según la ASTM (2006) D 4439 define un geosintético como un elemento plano producido a partir de un material polimérico utilizados en suelos, rocas, tierra y otro material relacionado con la geotecnia.

El manual Federal Highway Administration (2008) señala que la gran mayoría de geotextiles son los tejidos y no tejidos, los cuales se diferencian por el método en el que son producidos, es decir, la forma como están unidos sus filamentos, fibras o las cintas de su estructura, siendo de forma uniforme para los geotextiles tejidos y de forma aleatoria para los geotextiles no tejidos.

Koerner (2012), en su libro de Diseño con Geosintéticos indica siete tipos de geosintéticos, los cuales son: geotextiles, geomallas, georedes, geomembranas, geosintéticos con revestimiento de arcilla, geoespuma y geocompuestos. En la figura 9 se muestran los siete tipos de geosintéticos mencionados anteriormente.

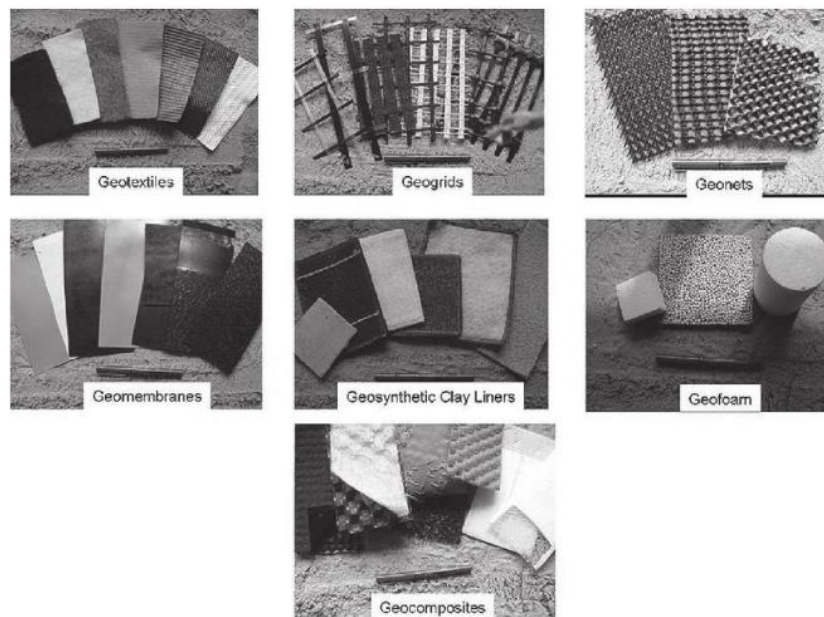


Figura N° 9: Tipos de productos geosintéticos

Fuente: Koerner (2012)

Para la investigación planteamos un sistema de subdrenaje conformado por un geocompuesto el cual consiste en dos geosintéticos: geomanta y geotextil. El primer geosintético posee una alta permeabilidad ya que es un geotextil no tejido y permite el rápido paso del agua. El segundo geosintético se ubica a ambas caras

de la geomanta y tiene como finalidad servir como filtro de flujo subsuperficial, impidiendo el paso de partículas que colmaten el sistema.

a) Funciones del Geosintético

Koerner (2012) clasifica a los geotextiles en categorías según su función principal, las cuales son: separación, refuerzo, filtración, drenaje y contención. En la tabla N° 2 podemos observar los tipos de geosintéticos con sus respectivas funciones principales.

Tabla N° 2:
Funciones primarias según tipos de geosintéticos

Tipo de Geosintéticos (GS)	Función Primaria				
	Separación	Reforzamiento	Filtración	Drenaje	Contención
Geotextil (GT)	X	X	X	X	
Geomalla (GG)	-	X			
Geored (GN)	-			X	
Geomembrana (GM)	-				X
G. con revest. Arcilla (GCL)	-	-	-	-	X
Geospuma (GF)	X				
Geocompuesto (GC)	X	X	X	X	X

Fuente: Koerner (2012)

Separación:

Esta función se origina cuando colocamos agregados de piedra en suelos de agregado fino y observamos que se producen dos mecanismos simultáneos al mismo tiempo. El primer mecanismo ocurre cuando los suelos finos intentan entrar a los vacíos del agregado grueso, afectando su capacidad de drenaje y el otro escenario ocurre cuando el agregado de piedra intenta introducirse en el suelo fino dando el mismo resultado. Esto ocurre con demasiada frecuencia cuando no se utiliza un geotextil de separación. Los dos casos mencionados se muestran en la figura 10.

La separación del geotextil se presenta cuando se coloca un tejido poroso flexible entre materiales diferentes, con la finalidad de que ambos puedan permanecer intactos o mejorar sus propiedades. (Koerner, 2005)

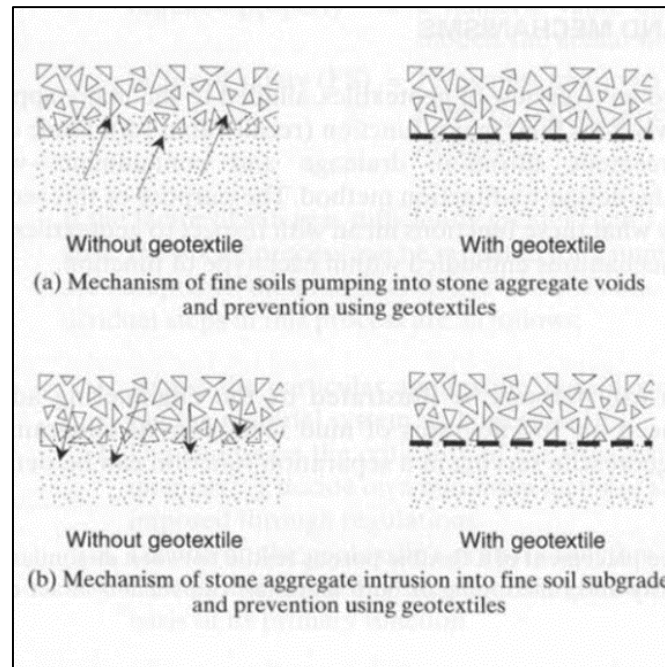


Figura N° 10: Mecanismos producidos con la función de separación

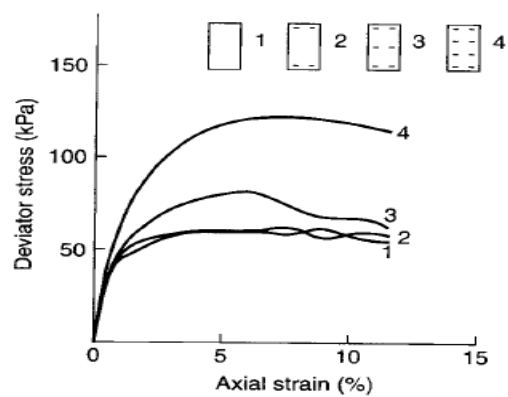
Fuente: Koerner (2005)

Reforzamiento:

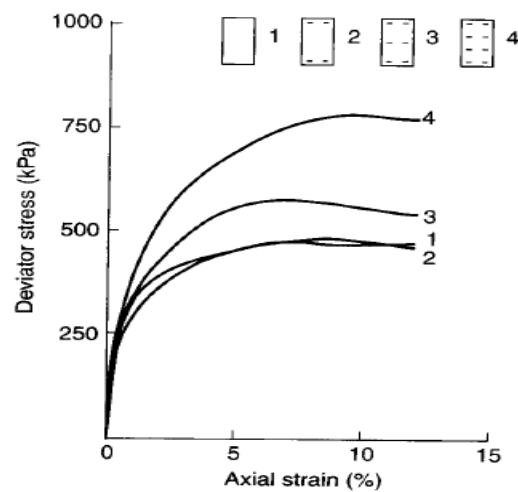
Los geotextiles son materiales que tienen como característica poseer resistencia a la tracción, y pueden complementar a aquellos materiales buenos en compresión, pero débiles en tensión. Por ejemplo, los suelos arcillosos y limosos de baja resistencia son los principales objetivos para reforzarlos con geotextiles.

(Koerner, 2005) ilustra el comportamiento del suelo cuando se coloca el geotextil correctamente, este ensayo fue realizado por Broms. El ensayo muestra dos conjuntos de pruebas triaxiales en muestras de arena densa a presiones de confinamiento de 21 kPa y 210 kPa para diferentes configuraciones de suelo y geotextil. La figura 11 muestra la Curva 1 la cual representa los datos de resistencia al corte de la línea base del suelo sin geotextil, la curva 2 tiene geotextiles en sus extremos superior e inferior del

suelo y no muestra un comportamiento mejorado de resistencia al corte. Esto se debe a que las ubicaciones de los geotextiles se encuentran en una zona no activa, zonas muertas en pruebas triaxiales convencionales. Sin embargo, al colocar el geotextil en el centro de la muestra, como en la curva 3 o en los puntos de un tercio como con la curva 4, se puede apreciar que los efectos son beneficiosos y mejoran su resistencia. Es en estas ubicaciones donde el geotextil interrumpe los posibles planos de falla al corte. Este ensayo refuerza la teoría que, si colocamos los geotextiles en los planos de posibles cortes, la resistencia del suelo es aumentada considerablemente.



(a) Dense sand at 21 kPa confining pressure



(b) Dense sand at 210 kPa confining pressure

Figura N° 11: Ensayo triaxial varía según ubicación de geotextil

Fuente: Koerner (2005)

Filtración:

Función de geotextil que permite un flujo de agua adecuado a través de su superficie y viene acompañado con la retención del suelo. (Koerner, 2005) afirma que cuando están bien diseñados y contruidos los geotextiles, solucionan de manera práctica los problemas relacionados con el flujo de líquidos.

Drenaje:

(Koerner, 2005) señala que todos los geotextiles pueden proporcionar tal función, pero en grados muy variados, como en el caso de los geotextiles tejidos delgados, en virtud de que sus fibras se cruzan entre sí, pueden transmitir líquido dentro de los espacios creados en estos puntos de cruce, pero en un grado extremadamente bajo. Por el contrario, los geotextiles punzonados no tejidos gruesos tienen un espacio vacío considerable en su estructura, y este espacio está disponible para la transmisión de líquidos. El diseño adecuado indicará qué tipo de material de drenaje geosintético es necesario para el caso que se esté enfocando.

Contención:

En virtud de su porosidad inherente, los geotextiles rara vez cumplen la función de contención. La excepción es cuando el geotextil se impregna deliberadamente con betún o polímero. estas pocas aplicaciones se anotarán en consecuencia. (Koerner, 2005)

Funciones combinadas:

(Koerner, 2005) en su libro de diseño con geosintéticos describe esta función considerando lo siguiente: el procedimiento descrito identifica la función principal del geotextil y establece el diseño en consecuencia. Cuando los geotextiles se usan para una sola función, esto sí se puede hacer. Sin embargo, los geotextiles a menudo cumplen funciones múltiples o combinadas. Por ejemplo:

Debajo del balasto del ferrocarril, donde pueden estar involucrados la separación, el refuerzo, la filtración y el drenaje.

En sistemas de encofrado flexible para contener concreto, lechada o suelo, donde se involucran la separación, el refuerzo y la filtración.

Para la prevención en las superposiciones de pavimentos asfálticos, donde intervienen funciones tanto de refuerzo como de impermeabilización.

Todos ellos deben satisfacer el factor de seguridad requerido (FS). Si la situación se evalúa correctamente, el FS calculado debería aumentar progresivamente a medida que avanzamos a través de las funciones primarias, secundarias, terciarias, etc. Si no (es decir, si los factores de seguridad saltan alrededor a medida que avanzamos a través de los cálculos), significa que las funciones críticas no se evaluaron adecuadamente. Por lo tanto, el FS mínimo siempre indicará la función principal, el siguiente valor más alto de FS indicará la función secundaria, y así.

b) Propiedades y ensayos de geotextil

En la tabla N°3 presentamos las propiedades y datos seleccionados para el procedimiento de diseño con geotextiles (Por especificaciones y por función). Las propiedades de geotextiles, según (Koerner, 2005), son las siguientes.

Tabla N° 3:
Propiedades de geotextiles

Propiedades de geotextiles				
Propiedades físicas	Propiedades mecánicas	Propiedades hidráulicas	Propiedades de resistencia	Consideraciones de degradación
Gravedad específica	Compresibilidad	Porosidad (no tejidos)	Daño de instalación	Degradación de temperatura
Masa por unidad de tiempo	Esfuerzo a la tensión	Porcentaje de área abierta (tejidos)	Respuesta de fluencia	Degradación oxidativa
Espesor	Resistencia a la tracción (agarre)	Tamaño aparente de la abertura (tamaño del tamiz)	Respuesta de fluencia confinada	Degradación por hidrólisis
Rigidez	Resistencia a la tracción (ancho ancho)	Permitividad	Relajación del estrés	Degradación química
	Resistencia a la tracción confinada	Permitividad bajo carga	Abrasión	Degradación biológica
	Fuerza de la costura	Transmisividad	Obstrucción a largo plazo	Degradación radiactiva
	Resistencia a la fatiga cíclica	Retención de suelos: cortinas de turbidez	Obstrucción de la relación de gradiente	Degradación de la luz solar (UV)
	Resistencia al estallido	Retención del suelo: cercas de limo	Relación de conductividad hidráulica	Efectos sinérgicos
	Resistencia al desgarre			Envejecimiento general
	Fuerza de impacto			
	Fuerza de punzonamiento			
	Comportamiento de fricción			
	Comportamiento de extracción			

Fuente: Koerner (2005)

Para el diseño de subdrenaje con geodrenes vamos a enfocarnos en las propiedades hidráulicas del geosintético: tamaño de abertura aparente, permeabilidad, permitividad.

Tamaño aparente de la abertura (tamaño de apertura equivalente):

El cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU desarrolló una prueba para medir el tamaño aparente de la abertura en el año 1970, para evaluar los geotextiles tejidos. Desde entonces, la prueba se ha ampliado para cubrir todos los geotextiles, incluidos los tipos no tejidos. El tamaño de abertura aparente (AOS) o el tamaño de abertura equivalente (EOS) hace referencia al número de tamiz estándar que tiene aberturas más cercanas en tamaño a las aberturas en el geotextil.

La prueba ASTM D4751 utiliza perlas de vidrio de diámetro conocido y determina el tamaño de O95 por tamizado estándar. (Koerner, 2005) Se utilizan perlas de diámetros sucesivamente diferentes hasta que el peso de las perlas que pasan a través de la muestra de ensayo sea del 5%. Esto define el tamaño O95 de las aberturas del geotextil en milímetros. Los valores de O95 se indican en las curvas que se muestran en la Figura 12. Tenga en cuenta, sin embargo, que el valor O95 define solo un tamaño de abertura particular del geotextil, no la distribución total del tamaño de los poros. Finalmente, AOS, EOS y O95 se refieren al mismo tamaño de poro específico, con la diferencia de que AOS y EOS son números de tamiz, mientras que O95 es el tamaño de abertura de tamiz por el cual pasa el 5% de la muestra expresada en milímetros.

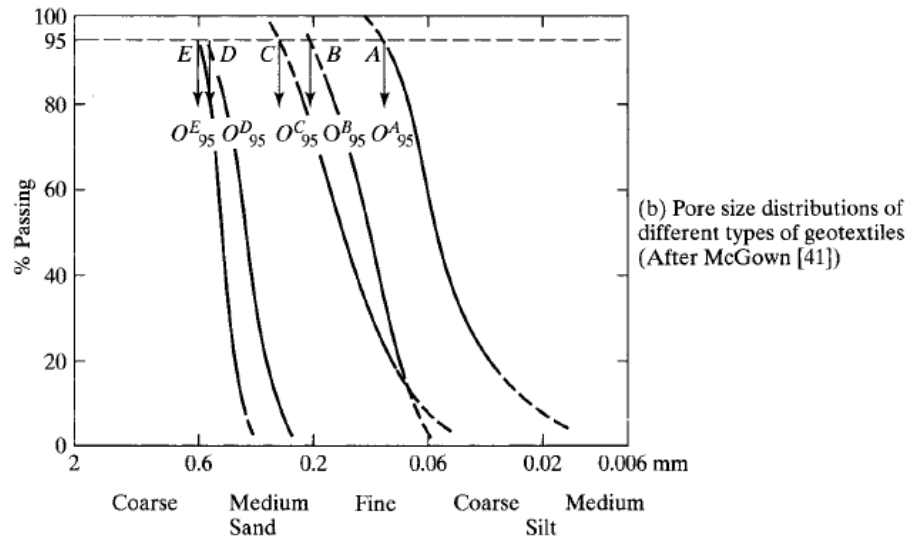


Figura N° 12: Ensayo D4751 con diferentes tipos de geotextil

Fuente: Koerner (2005)

Permeabilidad:

Es el parámetro que permite evaluar la capacidad de transmitir agua de una formación en función de la textura de esta, sin relacionarla con su estructura o forma geométrica. En otras palabras, propiedad del material que se refiere a la velocidad del flujo con la que atraviesa un plano de estudio.

Permitividad:

Una de las principales funciones que los geotextiles realizan es la de la filtración. (Tenga en cuenta que la mayoría de las agencias de transporte especifican Los cationes y la literatura de algunos fabricantes lo llaman incorrectamente "drenaje".) En la filtración, el líquido fluye perpendicularmente a través del geotextil hacia la piedra triturada, una tubería perforada, un núcleo de drenaje geosintético o algún otro sistema de drenaje. Es importante que el geotextil permita que este flujo ocurra y no sea impedido. Por eso se debe cuantificar la permeabilidad del plano cruzado del geotextil. (Koerner, 2005)

Los geotextiles usados para esta función son relativamente gruesos y comprimibles, es por esta razón que el espesor se considera en el coeficiente

de permeabilidad y se utiliza como permitividad, se define con la siguiente ecuación (1).

$$\psi = kg/t \quad (1)$$

Donde:

ψ : Permitividad (s^{-1})

kg: Permeabilidad del geotextil (m/s)

t: espesor del geotextil (m)

La tabla N°4 presenta valores de coeficientes de permeabilidad de los geotextiles que fueron medidos por una tensión normal aplicada de 40 kpa.

Tabla N° 4:
Coeficientes de permeabilidad según tipo de geotextil

Tipo de geotextil	Coeficiente de permeabilidad (m/s)
No tejido, termosellado	6×10^{-6}
Tejido, película de hendidura	2×10^{-5}
Tejido, monofilamento	4×10^{-5}
No tejido, punzonado	4×10^{-4}

Fuente: Koerner (2005)

Según el manual FHWA (2008) La permitividad es una buena medida de la capacidad de flujo y, como tal, es un calificador útil, la capacidad del geotextil debe ser mayor o igual a la capacidad del suelo. La norma ASTM D 4491 describe el ensayo a realizar para obtener la permeabilidad.

Retención del suelo:

La retención del suelo es una propiedad que posee el geotextil y es usado principalmente para drenaje y también, de acuerdo con las necesidades del

proyecto, contención. (Koerner, 2005) señala que los espacios vacíos de los geotextiles deben ser lo suficientemente grandes para permitir el flujo de líquido, sin embargo, existe un límite que es cuando las partículas del suelo aguas arriba comienzan a pasar a través de los huecos del geotextil y el volumen de vacíos de la estructura de suelo se incrementa. Con el paso del tiempo, el flujo del líquido gana mayor velocidad y el proceso se acelera produciendo que la estructura del suelo aguas arriba comienza a colapsar.

Se puede evitar el colapso del suelo colocando un geotextil con huecos lo suficientemente ajustados para retener el suelo que viene de aguas arriba de la tela. Para que funcione, partimos de la idea de que la fracción de suelo más gruesa quedará retenida inicialmente, evitando que ingresen las demás partículas de suelo fino, de esta forma se cumple con el objetivo en el proceso de diseño.

2.3.4. Métodos de diseño

a) Diseño por costo y disponibilidad

(Koerner, 2005) Describe el diseño por costo y disponibilidad calculando un precio unitario máximo disponible considerando los recursos que tengamos. El geotextil con mejores propiedades para la función principal que se pretende es el seleccionado dentro de este límite de precio unitario. Este método se sigue practicando a pesar de que no contemple el análisis de las propiedades del geotextil y no sea recomendable usar este método en solitario.

b) Diseño por Función

(Koerner, 2005), el diseño por función consiste en evaluar la función principal que se le pedirá al geotextil, luego calcular el valor numérico requerido de una propiedad particular para esa función y considerar un valor numérico basado en una prueba de laboratorio. Como resultado se deberá evaluar el geosintético dividiendo la propiedad permitida y la propiedad requerida según el diseño, para que finalmente se obtenga la siguiente ecuación (2) para el factor de seguridad (FS):

$$F.S = \frac{\textit{Propiedad permitida}}{\textit{Propiedad requerida (diseño)}} (2)$$

Donde:

Propiedad permitida: un valor numérico basado en una prueba de laboratorio que modela la situación real o se ajusta en consecuencia

Propiedad requerida: un valor numérico obtenido de un método de diseño que modela la situación real

F. S: Factor de Seguridad

Si el factor de seguridad es suficientemente superior a 1,0, el geotextil candidato es aceptable. El proceso anterior se puede repetir para varios geotextiles disponibles; si otros son aceptables, entonces la elección final se convierte en disponibilidad y menor costo. (Koerner, 2005)

Factores de reducción para Geosintéticos

Daños por instalación:

Es producido al momento de colocarlo en el terreno por la mano de obra, este factor es variable ya que en el campo nos encontramos con diversas condiciones y para cada proyecto debe estimarse este valor.

Fluencia o creep:

Este factor hace referencia a las deformaciones que sufre el geosintético a lo largo del tiempo cuando es sometido a cargas o esfuerzos constantes.

Colmatación química y biológica:

Se considera por las condiciones ambientales del sitio, sustancias que amenace la integridad del geosintético, partículas que se incrusten en las aberturas del geotextil dando como resultado que su permeabilidad disminuya.

Los valores típicos de los factores de reducción se dan en la tabla N° 5. Tenga en cuenta que estos valores deben ser moderados por las condiciones específicas del sitio. En la ecuación (3) y (4) trabajamos con los caudales y modificamos el cálculo del factor de seguridad para que este valor considere todas las condiciones a la que se enfrenta el geosintético. (Koerner, 2005)

$$q_{perm} = q_{ult} \left(\frac{1}{RF_{CR} \times RF_{IN} \times RF_{CC} \times RF_{BC}} \right) \quad (3)$$

$$q_{allow} = q_{ult} \left(\frac{1}{\prod RF} \right) \quad (4)$$

Donde:

q_{perm} : Caudal permitido

q_{ult} : Caudal último

RF_{CR} = Factor de reducción de la fluencia del espacio vacío o CREEP (≥ 1.0)

RF_{IN} : Factor de reducción de intrusión de los materiales en geotextil (≥ 1.0)

RF_{CC} =Factor de reducción para la obstrucción química (≥ 1.0)

RF_{BC} = Factor de reducción para la obstrucción biológica (≥ 1.0)

$\prod RF$ = Factor de reducción acumulativo

Tabla N° 5:
Rango de valores de factores de reducción

Aplicaciones	Rango de factores de reducción			
	Fluencia o Creep	Intrusión	Obstrucción Química	Obstrucción Biológica
Filtros de muro de contención	1.5-2.0	1.0-1.2	1.0-1.2	1.0-1.3
Filtros de drenaje	1-1.5	1.0-1.2	1.2-1.5	2.0-4.0
Filtros de control de erosión	1-1.5	1.0-1.2	1.0-1.2	2.0-4.0
Filtros de vertedero	1.5-2.0	1.0-1.2	1.2-1.5	2.0-5.0
Drenaje por gravedad	2.0-3.0	1.0-1.2	1.2-1.5	1.2-1.5
Drenaje de presión	2.0-3.0	1.0-1.2	1.1-1.3	1.1-1.3

Fuente: Koerner (2005)

2.3.5. Evaluación de geotextil

a) Criterio de retención

Para este criterio se consideran dos tipos de condiciones de flujo: estacionario como se observa en la ecuación (5) y dinámico como la ecuación (11).

Condiciones de flujo en estado estacionario

$$AOS \text{ o } O_{95} (\text{geotextil}) \leq B * D_{85}(\text{suelo}) \quad (5)$$

donde:

A.O.S. = Tamaño aparente de la abertura, dato suministrado por el fabricante (en mm)

O₉₅= Tamaño de la abertura en el geotextil para el cual el 95% son menores (mm)

A.O. S= O₉₅.

B= coeficiente (adimensional)

D₈₅= Tamaño de las partículas del suelo cuando al tamizar pasa el 85% de este. Este dato se obtiene de la curva granulométrica (mm)

El coeficiente B tiene valores que se encuentran entre 0.5 a 2 y está determinado en función al tipo de suelo a filtrar, su densidad, el coeficiente de uniformidad. Si es suelo granular, el tipo de geotextil (tejido o no tejido), y las condiciones de flujo. (Koerner, 2005)

- Para arenas, arenas gravosas, arenas limosas, arenas arcillosas (suelos con menos del 50% pasando el tamiz N°200 (0.075mm) por el sistema SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), B es una función del coeficiente de uniformidad. Por lo tanto utilizamos las siguientes ecuaciones (6), (7) , (8) y (9):

$$Cu \leq 2 \text{ o } Cu \geq 8 \quad \text{Usar } B=1 \quad (6)$$

$$2 \leq C_u \leq 4: \quad \text{Usar } B=0.50 \cdot C_u \quad (7)$$

$$4 < C_u < 8: \quad \text{Usar } B=8/C_u \quad (8)$$

$$\text{Donde:} \quad C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (9)$$

En suelos arenosos mal graduados usar B entre 1.5 y 2.

- Para suelos finos (con más del 50% pasa el tamiz N.º 200) B es función del tipo de geotextil.

Para geotextiles no tejidos punzonados por agujas use B=3.

El manual FHWA (2008) recomienda que un requisito mínimo del geotextil tejido y no tejido es que cumpla con la siguiente ecuación (10):

$$A.O.S \text{ u } O95 \text{ o } T.A.A \leq 0.3mm \quad (10)$$

Condiciones de flujo en estado dinámico

Si el geotextil no está debidamente lastrado y en contacto íntimo con el suelo para ser protegido, o si las condiciones de carga dinámica, cíclica o pulsante producen alta gradientes hidráulicos, entonces las partículas del suelo pueden moverse detrás del geotextil.

Así, el uso de B =1 no es conservador, porque la red de puentes no se desarrollará y el geotextil de ser necesario para retener partículas aún más finas. Cuando la retención es el criterio primario, B debe ser reducido a 0.5; o se hará uso de la ecuación (11)

$$O95 \leq 0.50 * D85 \quad (11)$$

Las fórmulas del criterio de retención asumen que el suelo a drenar es internamente estable, ya que, si se encuentran condiciones de suelo inestables, se deben realizar pruebas de desempeño llevado a cabo para seleccionar geotextiles adecuados.

b) Criterio de permeabilidad

Manual de hidrología, hidráulica y drenaje (2011) afirma que el coeficiente de permeabilidad es la propiedad hidráulica por medio de la cual, el geotextil permite un adecuado paso de flujo perpendicular al plano del mismo. Para condiciones de flujo crítico, altos gradientes hidráulicos y buscando un correcto desempeño reduciendo los riesgos de colmatación, usamos la siguiente ecuación (12) ó (13):

$$K_{geotextil} \geq 10 * K_{suelo} \quad (12)$$

Para condiciones menos críticas:

$$K_{geotextil} \geq K_{suelo} \quad (13)$$

c) Criterio de permitividad

El manual FHWA (2008) menciona que, para evaluar la permitividad, se considera el porcentaje de finos en el suelo a filtrar. Cuantos más finos haya en el suelo, mayor será la permitividad requerida. Las siguientes ecuaciones son recomendadas basado en el desempeño pasado satisfactorio de los filtros geotextiles

$$\text{Para } < 15\% \text{ pasando No.200 (0.075 mm)} \quad \psi \geq 0,5 \text{ seg-1} \quad (14)$$

$$\text{Para } 15 \text{ a } 50\% \text{ pasando No.200 (0.075 mm)} \quad \psi \geq 0,2 \text{ seg-1} \quad (15)$$

$$\text{Para } > 50\% \text{ pasando No.200 (0.075 mm)} \quad \psi \geq 0.1 \text{ seg-1} \quad (16)$$

Donde ψ se obtiene usando la ecuación (1).

Para el diseño de subdrenaje empleamos el geotextil como medios filtrantes, el manual de diseño con geosintéticos (Pavco, 2012) menciona que se debe revisar la cantidad de flujo que pasa por unidad de área (tasa de flujo) en su plano normal al geotextil.

La capacidad o tasa de flujo no debería ser un problema para la mayoría de las aplicaciones, siempre que la permeabilidad del geotextil es mayor que la permeabilidad del suelo. Para medir este valor aplicamos la siguiente ecuación (17).

$$qwreq = \frac{QT}{L} \quad (17)$$

dónde:

qwreq= Caudal requerido, capacidad de flujo (m³/s-m)

QT= Caudal total (m³/s)

El caudal requerido tiene que ser menor a la capacidad del geodrén para que el sistema pueda funcionar sin problema alguno.

d) Criterio de colmatación

Este considera la posibilidad de obstrucción de sus vacíos del geotextil por las partículas del suelo. Los geotextiles que tengan una porosidad mayor al 50% podrán usarse como medios filtrantes. En caso de emplear geotextiles no tejidos punzonados por agujas cuentan con una mayor resistencia a la obstrucción, ya que poseen una porosidad mayor al 70% según el manual FHWA (2008).

e) Criterios de supervivencia

Este criterio se presenta cuando el geotextil enfrenta condiciones severas en su instalación, esfuerzos durante su vida útil y no debe verse afectado drásticamente sus propiedades hidráulicas y físicas. Los requisitos mínimos se muestran en la tabla N°6.

Para el sistema de subdrenaje, evaluamos la capacidad de soporte del geotextil frente a las presiones del suelo, la ecuación (18) describe los parámetros que definen la fuerza de empuje del terreno natural.

$$\sigma = \gamma * h * ko \quad (18)$$

Donde:

σ = Fuerza de empuje (Presión)

γ = peso específico del suelo

h =profundidad del geodrén

Ko = Coeficiente de reposo

Tabla N° 6:
Valores mínimos de geotextiles para criterio de supervivencia

PROPIEDAD	ENSAYO	UND	Geotextil Clase 1		Geotextil Clase 2		Geotextil Clase 3	
			Alarg. < 50%	Alarg. > 50%	Alarg. < 50%	Alarg. > 50%	Alarg. < 50%	Alarg. > 50%
Resistencia a la tensión (Grab)	ASTM D4632	N	1400	900	1100	700	800	500
Resistencia en la costura	ASTM D4632	N	1260	810	990	630	720	450
Resistencia al rasgado	ASTM D4533	N	500	350	400	250	300	180
Resistencia al punzonamiento	ASTM D4833	N	500	350	400	250	300	180
Resistencia a la ruptura (Burst)	ASTM D3786	KPA	3500	1700	2700	1300	2100	950

Fuente: Manual de Hidrología, hidráulica y drenaje (2011)

2.3.6. Sistema de drenaje superficial

El drenaje transversal de la carretera tiene como finalidad evacuar adecuadamente el agua superficial que intercepta su infraestructura, la cual discurre por cauces naturales o artificiales, en forma permanente o transitoria, a fin de garantizar su estabilidad y permanencia (Manual de diseño hidrología, hidráulica y drenaje, 2011).

Existen obras de drenaje transversal como lo son: las alcantarillas, badenes, cunetas, zanjas de coronación, etc. Estas obras de drenaje tienen un objetivo en común, el cual es determinar la sección más adecuada que permita conducir el flujo del agua, sin causar daño a la carretera, hacia una zona donde no afecte la seguridad de su estructura.

Según el (MTC, 2011) recomienda utilizar como máximo, los siguientes valores de riesgo admisible de obras de drenaje:

Tabla N° 7:
Valores máximos de riesgo admisible

Tipo de obra	Riesgo admisible (%)
Puentes	25
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40
Subdrenes	40
Defensas Ribereñas	25

Fuente: Manual de Hidrología, hidráulica y drenaje (2011)

La vida útil es de 15 años para el sistema de drenaje superficial y subdrenaje.

a) Caudal superficial

Precipitaciones

Para la estimación del caudal superficial partimos del registro de las máximas precipitaciones por año de la zona de estudio en el SENAMHI.

(MTC, 2011) Utilizamos la fórmula de Ven Te Chow para estimar precipitaciones con una probabilidad que considera la desviación estándar y el factor de frecuencia, la distribución puede expresarse en la ecuación (19):

$$x = Y + K * \sigma_x \quad (19)$$

Donde:

X: Valor de precipitación con una probabilidad dada

Y : Media de la serie

K: factor de frecuencia de tiempo de retorno

σ_x : Desviación estándar

Dick Peschke

Para el caso de duraciones de tormenta menores a 1 hora, o no se cuente con registros pluviográficos que permitan obtener las intensidades máximas, estas pueden ser calculadas mediante la metodología de Dick Peschke (Guevara, 1991) que relaciona la duración de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas. (MTC, 2011) Dando la siguiente ecuación (20):

$$Pd = P24h * \left(\frac{d}{1440}\right)^{0.25} \quad (20)$$

Donde:

Pd = precipitación total (mm)

d = duración en minutos

P24h = precipitación máxima en 24 horas (mm)

La intensidad se halla dividiendo la precipitación Pd entre la duración.

Intensidad

(MTC, 2011) Las curvas de intensidad-duración-frecuencia, se han calculado indirectamente, mediante la siguiente ecuación (21):

$$I = \frac{K*T^m}{t^n} \quad (21)$$

Donde:

I = Intensidad máxima (mm/h)

K, m, n = factores característicos de la zona de estudio

T = período de retorno en años

t = duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min)

El tiempo de concentración real, se obtendrá con la ecuación (22), depende de muchos factores, entre otros de la geometría en planta de la cuenca (una cuenca alargada tendrá un mayor tiempo de concentración), de su pendiente pues una mayor pendiente produce flujos más veloces. (MTC, 2011)

$$tc = 0.019 * L^{0.77} * S^{-0.385} \quad (22)$$

L = longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida (m)

S = pendiente promedio de la cuenca (m/m)

Método de la curva número

Este método es usado para hallar el coeficiente de escorrentía, al estudiar los resultados obtenidos para muchas cuencas experimentales pequeñas, se desarrolló una relación empírica dando la ecuación (23).

$$Ia = 0.2 * S \quad (23)$$

El uso de esta metodología exige la determinación del valor respectivo del CN (número adimensional de curva o curva número), correspondiente al área específica en estudio. (MTC, 2011) Se utilizará la ecuación (24).

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (24)$$

Donde S está en pulgadas.

Finalmente se realiza el histograma de donde se obtiene el coeficiente de escorrentía y se empleará la ecuación (25).

$$C = \frac{PP \text{ neta}}{PP \text{ total}} \quad (25)$$

Método Racional

Estima el caudal máximo a partir de la precipitación, abarcando todas las abstracciones en un solo coeficiente C (coeficiente de escorrentía) estimado sobre la base de las características de la cuenca. Muy usado para cuencas, A < 10 Km². (MTC, 2011)

La descarga máxima de diseño, según esta metodología, se obtiene a partir de la siguiente expresión (26):

$$Q = 0.278 * C * I * A \quad (26)$$

Donde:

Q: Descarga máxima de diseño (m³/s)

C: Coeficiente de escorrentía

I: Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)

A: Área de la cuenca (Km²)

b) Cunetas

Las cunetas son zanjas longitudinales revestidas o sin revestir abiertas en el terreno, ubicadas a ambos lados o a un solo lado de la carretera, con el objetivo de captar, conducir y evacuar adecuadamente los flujos del agua superficial. Serán del tipo triangular, trapezoidal o rectangular, siendo preferentemente de sección triangular. (MTC, 2011)

La inclinación del talud interior de la cuneta (V:H) (1: Z1) dependerá, por condiciones de seguridad, de la velocidad y volumen de diseño de la carretera, Índice Medio Diario Anual IMDA (veh. /día); según lo indicado en la Tabla N° 8.

Tabla N° 8:
Valores de talud interior según IMDA y velocidad de diseño

V.D. (km/h)	I.M.D.A (VEH. /DÍA)	
	< 750	> 750
< 70	1:02 1:03	(*) 1:03
> 70	1:03	1:04

Fuente: Manual de hidrología, hidráulica y drenaje (2011)

(*) Sólo en casos muy especiales

La inclinación del talud exterior de la cuneta (V/H) (1: Z2) será de acuerdo con el tipo de inclinación considerada en el talud de corte.

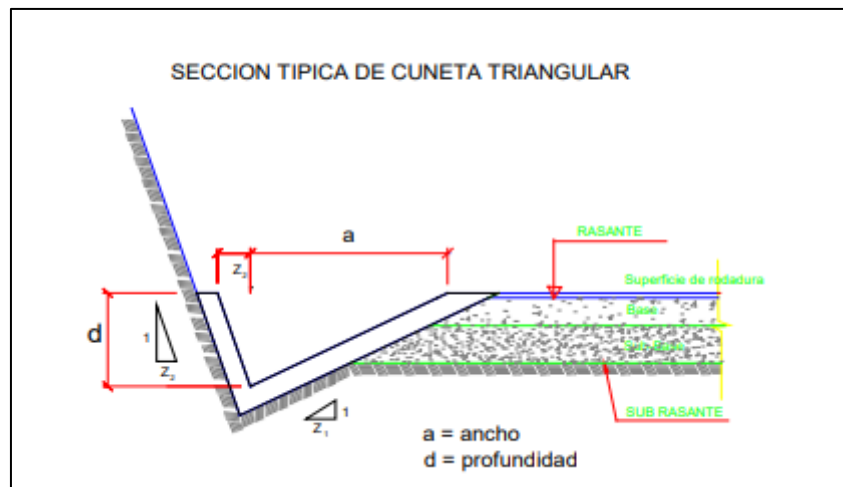


Figura N° 13: Sección típica de cuneta triangular

Fuente: Manual de hidrología, hidráulica y drenaje (2011).

Con talud interior z₁ = 1:2 y talud exterior z₂ = 1:0.5

Perímetro mojado (P_m):

$$P_m = y(\sqrt{5} + \sqrt{1.25}) \quad (27)$$

Sección mojada (A_m):

$$A_m = 1.25 y^2 \quad (28)$$

Radio hidráulico (R_h):

$$R_h = \frac{A_m}{P_m} = \frac{1.25 y^2}{y(\sqrt{5} + \sqrt{1.25})} = 0.373y \quad (29)$$

Para el diseño hidráulico de las cunetas utilizaremos el principio del flujo en canales abiertos, usando la ecuación de Manning (36)

La tabla N° 9 presenta los coeficientes de Strickler (K) según el material de cunetas cuya expresión es (1/n).

Valores de K más usados

Tabla N° 9:
Valores de coeficiente de Strickler (k) más usados

Tipo de cunetas	K
Excavadas en el terreno	33
En roca	25
De concreto	67

Fuente: Morales (2006)

(MTC, 2011) El procedimiento inicia cuando estimamos el talud interior y exterior. Luego ingresamos un valor inicial de tirante, aplicamos las fórmulas de radio hidráulico, área mojada de la sección propuesta y finalmente utilizamos la fórmula de Manning para comprobar que la sección planteada pueda satisfacer la demanda de caudal de aporte. En caso de que el caudal de Manning sea menor al caudal de aporte, debemos ingresar un tirante mayor a la inicial.

El caudal de aporte es el caudal que escurre en toda la zona de trabajo. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q = \frac{(C \times I \times A)}{3.6} \quad (30)$$

Donde:

Q: Caudal en m³/s

C: Coeficiente de escurrimiento de la cuenca

A: Área aportante en Km²

I: Intensidad de la lluvia de diseño en mm/hr

En la tabla N° 10 se presenta las velocidades admisibles según el tipo de superficie. Considerar estos valores límites es necesario para evitar velocidades erosivas, las cuales afectarían al sistema de drenaje por el riesgo

de levante o transporte de sedimentos y puedan colmatar la cuneta. (MTC, 2011)

Tabla N° 10:
Velocidades admisibles según tipo de superficie (material) de cunetas

Tipo de superficie	Velocidad límite admisible (m/s)
Arena fina o limo (poca o ninguna arcilla)	0.20 - 0.60
Arena arcillosa dura, margas duras	0.60 - 0.90
Terreno parcialmente cubierto de vegetación	0.60 - 1.20
Arcilla grava, pizarras blandas con cubierta vegetal	1.20 - 1.50
Hierba	1.20 - 1.80
Conglomerado, pizarras duras, rocas blandas	1.40 - 2.40
Mampostería, rocas duras	3.00 - 4.50 *
Concreto	4.50 - 6.00 *

Fuente: Manual de Hidrología, hidráulica y drenaje (2011)

* Para flujos de muy corta duración

Desagüe de las cunetas

La descarga de agua de las cunetas se efectuará por medio de alcantarillas de alivio. En región seca o poca lluviosa la longitud de las cunetas será de 250m como máximo, las longitudes de recorridos mayores deberán justificarse técnicamente; en región muy lluviosa se recomienda reducir esta longitud máxima a 200m. (MTC, 2011)

Revestimiento de las cunetas

(MTC, 2011) Las cunetas deben ser revestidas, para evitar la erosión de la superficie del cauce o conducto, productos de corrientes de agua que alcancen velocidades medias superiores a los límites fijados en la Tabla N° 10 o cuando el terreno es muy permeable que permite la filtración hacia el pavimento, y consecuentemente su deterioro. El revestimiento de las cunetas puede ser de concreto, o de ser el caso de mampostería de piedra, previa verificación de velocidades de acuerdo a las pendientes finales del trazo geométrico. Se

recomienda un revestimiento de concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y espesor de 0.075m.

2.3.7. Sistema de drenaje subterráneo

Según el manual de la FHWA (2008), existen variados sistemas de drenaje subterráneo como lo son las zanjas e interceptoras de drenaje, drenajes de manta, drenaje de borde de pavimento, drenaje de estructuras y debajo de las bases de calzados. Todos los sistemas mencionados restringen el movimiento de las partículas del suelo a medida que el agua fluye hacia la capa de drenaje.

En la figura 14, las partes (a) y (b) muestran el geotextil actuando como un filtro para proteger la piedra que rodea la tubería perforada o para proteger la tubería directamente. En el último caso, la tubería a veces se envuelve con un geotextil en la planta de fabricación y se envía como una unidad completa al sitio de trabajo.

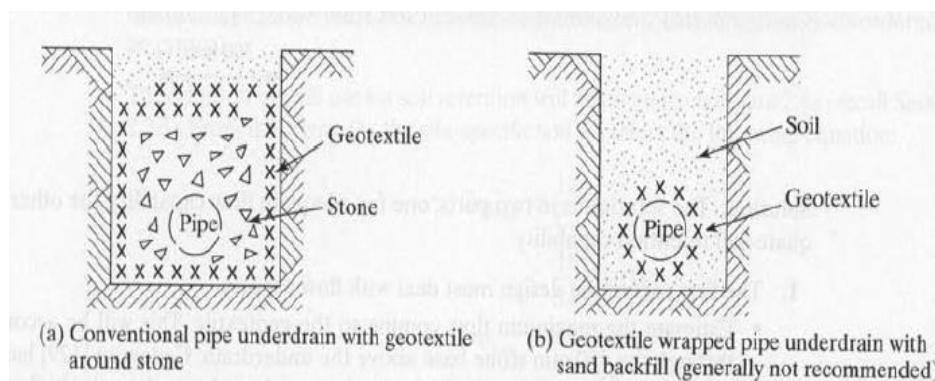


Figura N° 14: Geotextiles envueltos en tuberías de drenaje

Fuente: Koerner (2005)

Para esta investigación nos enfocamos en el sistema de subdrenaje con geocompuestos, los cuales están formados por una geomanta con núcleo de drenante revestida a ambos lados con geotextiles y con una tubería perforada como se muestra en la figura 15.

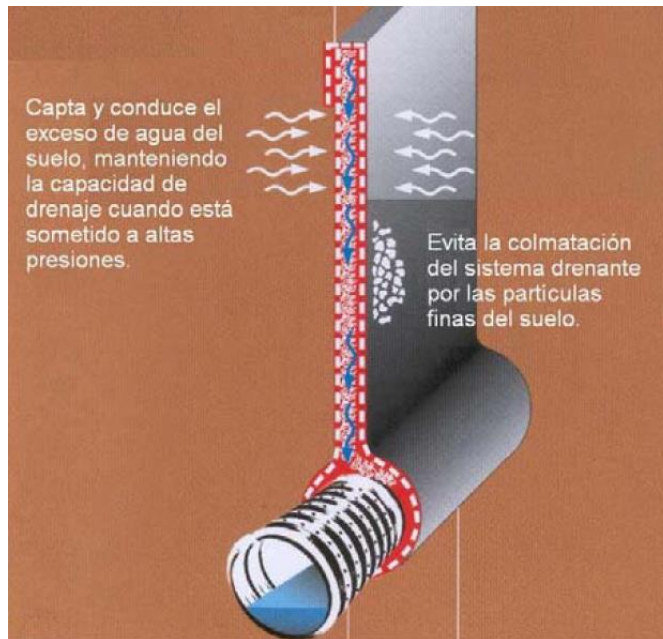


Figura N° 15: Esquema del sistema de subdrenaje en la zanja

Fuente: Ruiz (2016)

El manual FHWA (2008) señala que este sistema se ha ido utilizando con éxito para reemplazar filtros granulares cumpliendo los sistemas funciones:

Permite que el agua fluya a través del filtro hacia el desagüe durante su periodo en funcionamiento, operación.

Retiene las partículas del suelo en su lugar y evita su migración a través del filtro (en caso de que las partículas del suelo pasen la capa de filtro).

Se debe considerar en primer lugar la distancia de inicio y descarga de los subdrenes, dado que, a mayor distancia de recorrido, su capacidad de transporte deberá incrementarse debido al aporte de caudales a lo largo de su recorrido. Los posibles caudales de aporte, que conforman el caudal total, los cuales pueden afectar la estructura del pavimento son: Caudal por infiltración y por abatimiento del nivel freático.

a) Caudal de infiltración

El agua de lluvia cae directamente en la carpeta del pavimento o zonas verdes. Las superficies antes mencionadas al no ser impermeables una parte de este

inevitablemente se infiltra. Teniendo en cuenta lo antes dicho, para estimar el caudal de infiltración se tienen la siguiente ecuación (31):

$$Q_{inf} = I_r * B * L * F_i * F_r \quad (31)$$

Donde:

I_r = Precipitación máxima horaria de frecuencia anual, registrada en la zona del proyecto

B = Para subdrenos longitudinales, B es la semibanca de la vía

L = Longitud del tramo de drenaje hasta la descarga

F_i = Factor de infiltración (Ver Tabla N° 11)

F_r = Factor de retención de la base, refleja el hecho de que las bases dado su tiempo de servicio disminuyen su permeabilidad (Ver Tabla N° 12)

Tabla N° 11:
Valores recomendados para el factor de infiltración (F_i)

Tipo de Carpeta	F_i
Carpetas asfálticas muy bien conservadas	0.3
Carpetas asfálticas normalmente conservadas	0.4
Carpetas asfálticas pobremente conservadas	0.5
Carpetas de concreto de cemento Portland	0.67

Fuente: Manual de diseño con geosintéticos Pavco (2012)

Tabla N° 12:
Valores recomendados para el factor de retención de base (F_r)

Tipo de Base	F_r
Bases bien gradadas, en servicio 5 años o más	1/4
Bases bien gradadas, en servicio menos de 5 años	1/3
Bases de gradación abierta, en servicio 5 años o más	1/3

Bases de gradación abierta, en servicio menos de 5 años	1/2
--	-----

Fuente: Manual de diseño con geosintéticos Pavco (2012)

b) Caudal por abatimiento del nivel freático

Este caudal se origina por la presencia del agua subterránea, es necesario considerar la ubicación respecto de la estructura del pavimento, para luego poder proponer una nueva ubicación.

Se tiene las siguientes relaciones (32), (33) y (34):

$$q_{inf} = K * i * Ae \quad (32)$$

$$I = \frac{N_d - N_f}{B} \quad (33)$$

$$Ae = (N_d - N_f) * L \quad (34)$$

Donde:

K: Coeficiente de permeabilidad del suelo adyacente.

i: Gradiente hidráulico.

N_d: Cota inferior del subdren.

N_f: Cota superior del nivel freático.

A_e: Área efectiva para el caso del abatimiento del nivel freático.

B: Para subdrenes longitudinales es el semiancho de la vía y para subdrenes transversales se refiere a la distancia entre subdrenes.

L: Longitud del tramo de drenaje.

q_{inf}: Caudal por abatimiento del nivel freático.

c) Dimensionamiento de la sección transversal de subdren

Partiendo de la expresión (35) que define el caudal total QT, se determina el área de la sección transversal requerida para el subdren:

$$Q_T = V * i * A \quad (35)$$

Donde:

QT = Caudal total (m³/s)

V = Velocidad de flujo, la cual depende de la pendiente longitudinal y del tamaño del agregado usado en el subdren (m/s)

i = Gradiente hidráulico que para el caso de subdrenajes es = 1

A = Área de la sección transversal del subdren, se asume una profundidad del filtro y se despeja el ancho (m²)

La profundidad del subdren se debe estimar según la posición del nivel freático y la estructura de pavimento a proteger, se recomienda asumir un H como mínimo de la máxima profundidad de las capas granulares. (Pavco, 2021)

Conocida la pendiente del subdren y el tamaño de agregado disponible para usar como material drenante, a partir de la Figura 16 se determina la velocidad de flujo del sistema. Establecida la velocidad y el caudal de diseño, se emplea la ecuación (35) y se determina el área de la sección transversal requerida para el subdren.

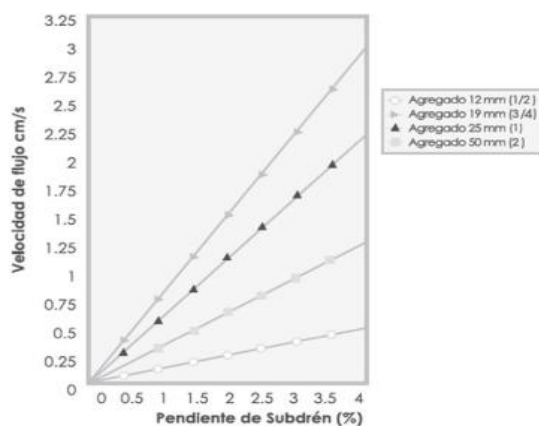


Figura N° 16: Gráfico velocidad vs pendiente de subdren y tamaño de agregado

Fuente: Manual de hidrología, hidráulica y drenaje (2011).

El diámetro de la tubería de drenaje a usar se puede estimar haciendo uso de la ecuación de Manning. Se asume un diámetro de tubería y por tanteo se rectifica si cumple la siguiente igualdad (36):

$$QT = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \quad (36)$$

Donde:

QT = Caudal total calculado (m³/s)

n = Coeficiente de Manning. Para tubería perforada usualmente es 0.013

A = Área del tubo (m²)

R_h = AT/PT (Área total / Perímetro total) A tubo lleno (m)

S = Pendiente del subdren (m/m)

Considerando que el diámetro de la tubería es 2 r, se obtiene la siguiente ecuación (37):

$$QT = \frac{0.0427}{n} * D^{8/3} * S^{1/2} \quad (37)$$

2.3.8. Geocompuesto MacDrain TD 2L

Maccaferri (2016) define al MacDrain TD 2L 20.2 como un geocompuesto para drenaje liviano y flexible, cuyo núcleo drenante es formado por una geomanta tridimensional, fabricada con filamentos de polipropileno y termosoldada entre dos geotextiles no tejidos en todos los puntos de contacto, excepto en la región para la inclusión del tubo perforado.

Siendo capaz de capturar, conducir y drenar el exceso de agua de la lluvia, sistemas de riego, la reducción del nivel freático; con la máxima eficiencia y velocidad. Su instalación es muy sencilla y práctica, ya que trae consigo una bolsa con guía para el envasado del tubo de drenaje. Siendo solamente necesario la apertura de la zanja, posicionar el dren y el relleno para la construcción del sistema de drenaje. Maccaferri (2016).

En la Tabla N° 13 se presentan las capacidades de flujo de MacDrain TD 2L para los dos tipos de conducción (longitudinal y vertical), estos valores de presión dependen de la profundidad donde se instale.

Tabla N° 13:
Capacidad de flujo de MacDrain TD 2L

ASTM D 4716	Conducción longitudinal (drenaje de pavimento)		Conducción vertical (drenaje profundo)	
	i = 0.01		i = 1.0	
Presión / Gradiente hidráulico	(l/s)/m	(l/h)/m	(l/s)/m	(l/h)/m
5 kPa	0.65	2340	3.20	11520
10 kPa	0.54	1944	2.84	10224
20 kPa	0.15	540	2.17	7812
100 kPa	0.04	129	0.31	1118

Fuente: Maccaferri (2016)

En la Tabla N° 14 se presentan las propiedades hidráulicas del MacDrain TD 2L estos valores son proporcionados de la ficha técnica de la empresa Maccaferri.

Tabla N° 14:
Propiedades hidráulicas MacDrain TD 2L

Propiedades	Unidad	Ensayo	Valor
Apertura aparente (O95)	mm	ASTM D 4751	0.16
Permisividad	s-1	ASTM D 4491	3
Permeabilidad	cm/s	ASTM D 4491	0.3

Fuente: Maccaferri (2016)

2.3.9. Procesos constructivos de instalación de geodrén

a) Preparación del Terreno

Para obtener las mayores ventajas económicas de este sistema de drenaje, el Geodrén Vial debe instalarse dentro de una zanja o trinchera angosta, excavada a la profundidad y con la pendiente que señale el diseñador. El ancho mínimo de la zanja es de 20 cm, ver figura 17.

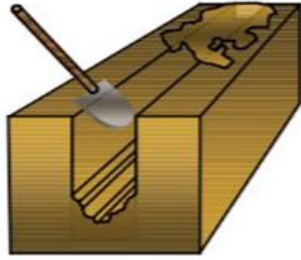


Figura N° 17: Preparación de terreno

Fuente: Geosistemas Pavco, 2011

Como alternativa, se puede especificar anchos mayores que permitan el uso de equipos tradicionales de excavación o mano de obra.

b) Instalación del Geodrén

El Geodrén Vial se debe instalar en la mitad de la excavación si el material de relleno es diferente al suelo del sitio, en caso contrario puede instalarse en contacto directo con una de las paredes de la excavación, ver figura 18.

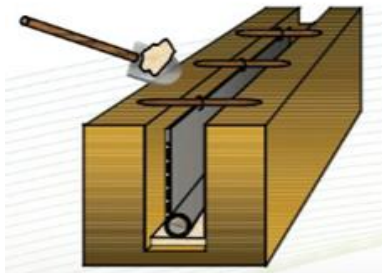


Figura N° 18: Instalación del geodrén

Fuente: Geosistemas Pavco, 2011

c) Relleno y Compactación

Se puede utilizar como material de relleno el mismo suelo de excavación, siempre y cuando este material tenga una permeabilidad que permita la conducción del agua hacia el geodrén, de esto depende la velocidad de respuesta del sistema. Los materiales instalados sobre la excavación no deben presentar vacíos ya que deforman la superficie, ver figura 19.

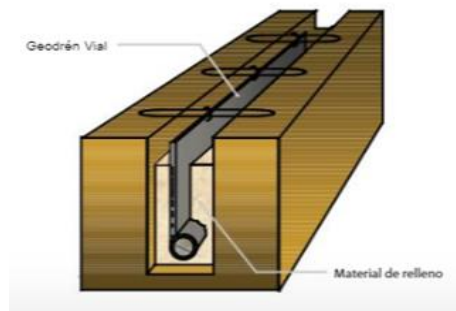


Figura N° 19: Relleno y compactación

Fuente: Geosistemas Pavco, 2011

d) Salidas o Entregas

El sistema de drenaje debe contar con salidas o entregas como sitio de disposición final de las aguas captadas en el terreno.

2.4. Definición de términos básicos

Sistema de subdrenaje:

El drenaje subterráneo se proyecta con el objetivo de interceptar, conducir y/o desviar los flujos subsuperficiales (subterráneos) que se encuentren en el suelo de fundación de la carretera y/o provenientes de los taludes adyacentes. (Manual de Hidrología, hidráulica y drenaje, 2011)

Geodrén:

Dispositivo de drenaje subsuperficial, consistente en una geomanta planar, encapsulada dentro de un geotextil no tejido, el cual se conecta con elementos que permiten el alejamiento del agua de la estructura del pavimento. (Manual de drenaje para carreteras, 2009)

Geotextil:

Material de construcción sintético u orgánico que existe en grandes variedades y tienen una amplia gama de aplicaciones en obras viales. (MTC, 2013)

Carretera:

Camino para el tránsito de vehículos motorizados, de por lo menos dos ejes, con características geométricas definidas de acuerdo con las normas técnicas vigentes en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (MTC, 2013)

Vida útil:

Lapso previsto en la etapa de diseño de una obra vial, en el cual debe operar o prestar servicios en condiciones adecuadas bajo un programa de mantenimiento establecido. (MTC, 2013)

Infiltración:

Aguas provenientes de precipitaciones pluviales y de sectores con régimen de riego permanente que discurren sobre el talud superior adyacente a la carretera. (Manual de Hidrología, hidráulica y drenaje, 2011)

Precipitaciones:

Caída de un conjunto de partículas, con formas de lluvia, llovizna, nieve, nieve granulada, granizo y gránulos de hielo. (Manual de Hidrología, hidráulica y drenaje, 2011)

Nivel Freático:

Nivel superior del agua subterránea en el momento de la exploración. El nivel se puede dar respecto a la superficie del terreno o a una cota de referencia. (Norma Técnica Peruana E.050, 2018)

Permeabilidad:

Es la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. (MTC, 2013)

Porosidad:

Propiedad de un cuerpo que se caracteriza por la presencia de vacíos en su estructura. (MTC, 2013)

Cohesión:

Propiedad del suelo que mide la resistencia al corte a una tensión normal. (MTC, 2013)

2.5. Fundamentos teóricos que sustentan la hipótesis

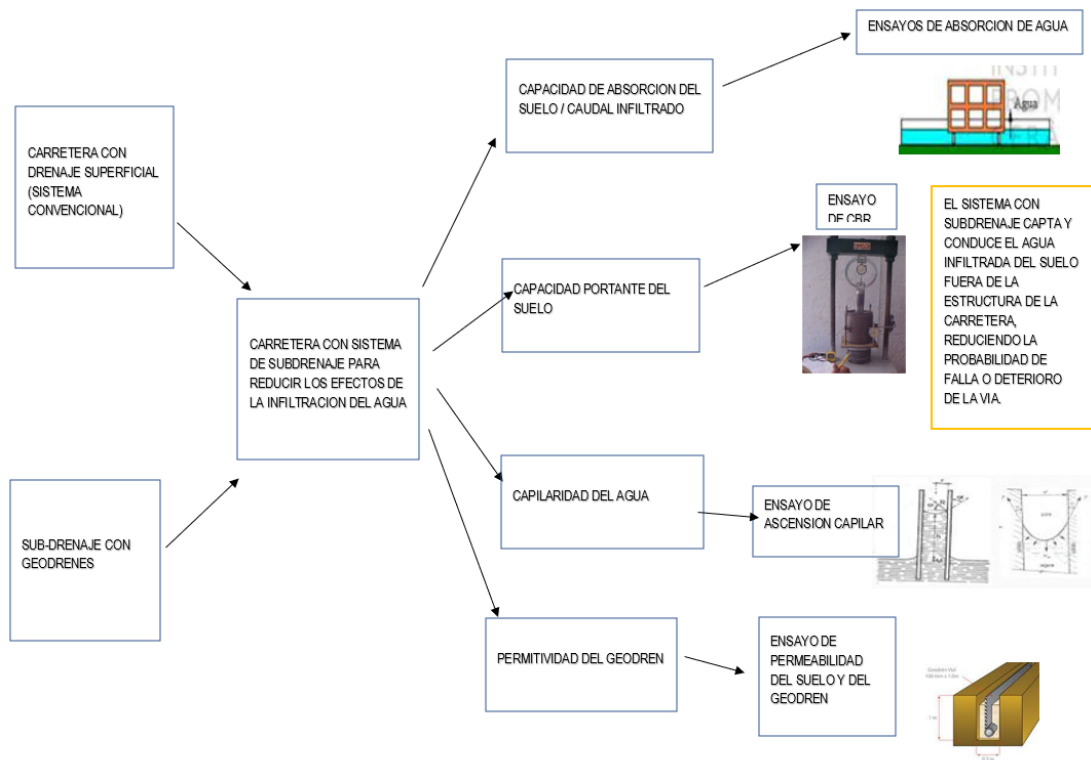


Figura N° 20: Esquema del planteamiento del sistema de subdrenaje

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

Al diseñar un sistema de subdrenaje se capta y conduce el agua infiltrada en el terreno de fundación de la carretera ubicada en el cruce Tarapoto – Sisa, en el km 36 – Santa Martha, Distrito de Santa Rosa, Provincia El Dorado, departamento de San Martín.

3.1.2. Hipótesis específicas

- a. Al determinar los valores del caudal superficial y el caudal infiltrado de la zona de estudio se dimensiona el sistema de drenaje superficial y subterráneo de la carretera.
- b. Al evaluar el geocompuesto se cumple con las condiciones de la zona de estudio
- c. Al calcular el diámetro de la tubería se conduce el flujo del agua infiltrada aplicando la metodología de Manning.

3.2. Variables

3.2.1. Variables independientes

Propiedades de suelo del departamento de San Martín.

3.2.2. Variables dependientes

Sistema de subdrenaje la carretera ubicada en el cruce Tarapoto – Sisa, en el km 36 – Santa Martha, Distrito de Santa Rosa, Provincia El Dorado, departamento de San Martín.

3.3.Sistema de variables

3.3.1. Definición conceptual

Las variables que usaremos son de tipo cuantitativa continúa debido a que guardan relación entre sí, además los clasificaremos de la siguiente manera: variable independiente y dependiente.

3.3.2. Definición Operacional

Variable dependiente:

Propiedades mecánicas del suelo, cuando se encuentran en estado saturado podemos identificar su contenido inicial de humedad, capacidad portante, porosidad, conductividad hidráulica y nuevamente considerar los ensayos después de poner en marcha el sistema de subdrenaje.

Variable independiente:

El sistema de subdrenaje se define con las propiedades de suelo obtenidas, la velocidad de conducción del fluido a través de sus partículas, podemos elegir el tipo de geotextil y tubo perforado con la suficiente capacidad de retener el agua infiltrada y conducir el agua hacia una desembocadura que no ponga en peligro la estructura de la carretera.

3.3.3. Sistema de Operacionalización de variables

Tabla N° 15:
Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Índices	Unidad de medida	Escala	Instrumento	Herramienta	Ítems
V. I. Propiedades del suelo	Características de los suelos	Se extrajo información del expediente técnico de carretera ubicada en San Martín	Porcentajes de agregados finos	Análisis granulométrico	Kg	Cuantitativa	Expediente técnico	Norma E-050 Suelos y cimentaciones Manual de Hidráulica, Hidrología y drenaje en carreteras	
			Conductividad hidráulica	Ensayo de permeabilidad	mm/s				
V. D. Sistema de subdrenaje	Sistema enterrado que permite la salida del agua	Después de obtener el caudal de infiltración, podemos estimar el diámetro de tubo perforado	Geotextil	Permitividad del geodré	s ⁻¹	Cualitativa	Especificaciones técnicas	Manual FHWA	Indicado en los formatos
				Tamaño de abertura	Mm				
			Resistencia	Resistencia a la compresión	Kpa				
				Resistencia a la tensión	Kpa				

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

4.1. Método, orientación, enfoque e instrumento de recolección de datos

La presente tesis es deductiva ya que utilizaremos fórmulas para plantear nuestro diseño de subdrenaje y demostrar que tendrá la capacidad suficiente de poder drenar el agua infiltrada. La investigación es aplicada porque buscamos solucionar el problema del agua retenida en las profundidades de la base de las carreteras, evitando el deterioro del paquete estructural y prolongando su vida útil. Tiene enfoque cuantitativo ya que en el proceso de investigación vamos a obtener valores de caudales superficiales, infiltrados comparándolos con la capacidad de respuesta del sistema de subdrenaje. Es de carácter retroelectivo porque contamos con fuentes existentes antes de realizar el proyecto, con información registrada con fines distintos al estudio, como expedientes.

4.2. Tipo de la investigación

La presente investigación es descriptiva debido a que describimos la realidad problemática, la vida útil de las carreteras no llegan a cumplirse a causa de las infiltraciones de agua que deterioran la estructura del pavimento, además es explicativa porque mencionamos las causas y consecuencias del problema de la investigación, definimos las variables dependientes e independientes.

4.3. Nivel de investigación

La investigación que realizaron los autores de las fuentes consultadas fue descriptiva porque su estudio parte del análisis de la realidad problemática.

4.4. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es de carácter observacional, nos dedicaremos a observar los datos después de haber hecho la recopilación de información, sin alterar la variable independiente. Además, es transversal ya que analizaremos los datos en el período de mayores precipitaciones, estudiaremos las propiedades de mecánica de suelos que predomina en la zona de trabajo. También será retrospectivo ya que se recolectó información de fuentes pasadas, de instituciones reconocidas, tales como: el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi), Sistema Electrónico de Contrataciones del Estado (SEACE) y Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.

4.5. Población y muestra

Se realizó un muestreo intencionado, con los siguientes criterios de inclusión:

- a) Lugar con alta presencia de suelos finos (arcillas y limos): Selva peruana
- b) Zona de la selva con mayor cantidad de precipitaciones acumuladas anuales: San Martín
- c) Tipo de carretera: pavimentada

Criterios de exclusión:

- a) Permeabilidad del suelo
- b) Zona de la selva con menor cantidad de precipitaciones acumuladas anuales

4.5.1. Población

Se tomará como población la carretera ubicada en el cruce Tarapoto – Sisa, en el km 36 – Santa Martha, Distrito de Santa Rosa, Provincia El Dorado, departamento de San Martín.



Figura N° 21: Longitud total de carretera

Fuente: Gobierno regional de San Martín (2021)

4.5.2. Muestra

Se analizará el sistema de subdrenaje en las progresivas 6+000 a 7+000 de la carretera ubicada en el cruce Tarapoto – Sisa, en el km 36 – Santa Martha, Distrito de Santa Rosa, Provincia El Dorado, departamento de San Martín.

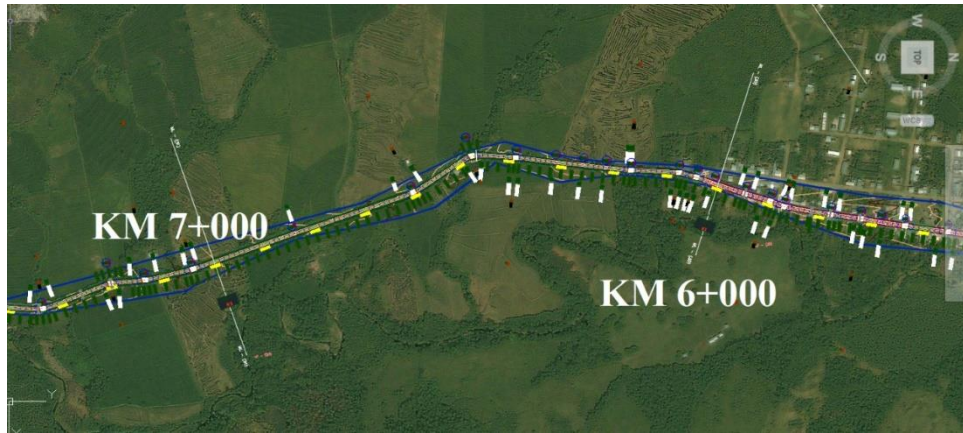


Figura N° 22: Longitud de estudio de la carretera

Fuente: Gobierno regional de San Martín (2021)

4.6. Técnicas e instrumentación de recolección de datos

4.6.1. Instrumento de recolección de datos

La recolección de datos será por medio de la búsqueda de las fuentes bibliográficas como las páginas de Google académico, Scopus, Proquest, las cuales son base de datos confiables para obtener información. Los instrumentos por utilizar serán guías y normas técnicas, manuales, libros a fin de poder aplicar toda la teoría y la practica respondiendo las preguntas de la investigación.

4.6.2. Métodos y técnicas

Para poder estimar el caudal de escorrentía y el caudal infiltrado, se utilizará la base de datos de precipitaciones acumulados de la zona de trabajo, información que será extraída del Senamhi. Con el expediente técnico podemos ver la topografía, las secciones transversales de la carretera en donde colocaremos los subdrenes, ubicados adyacentes al eje de la vía. Finalmente haremos una comparación entre el caudal infiltrado, la capacidad de retención y conducción de caudal del subdren. Para realizar dichas estimaciones, usaremos hojas de cálculo de Excel.

4.7. Descripción de procesamientos de análisis

Búsqueda de información en la base de datos recomendada. Revisar el expediente técnico del proyecto para ubicarnos mejor en la zona de trabajo. Las herramientas serán por

medio del Manual de Hidrología, hidráulica y drenaje, Manual de drenaje para carreteras (INVIAS-Colombia), Manual Federal Highway Administration (FHWA).

El proceso de datos será por medio de programas como: Excel, Word, AutoCAD, Google Earth y MacFlow Road Works.

CAPÍTULO V: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Descripción general del proyecto

El proyecto en estudio se encuentra ubicado en el departamento de San Martín, provincia de El Dorado, distrito de Santa Rosa, entre los centros poblados de Santa Martha y Nuevo Santa Rosa.

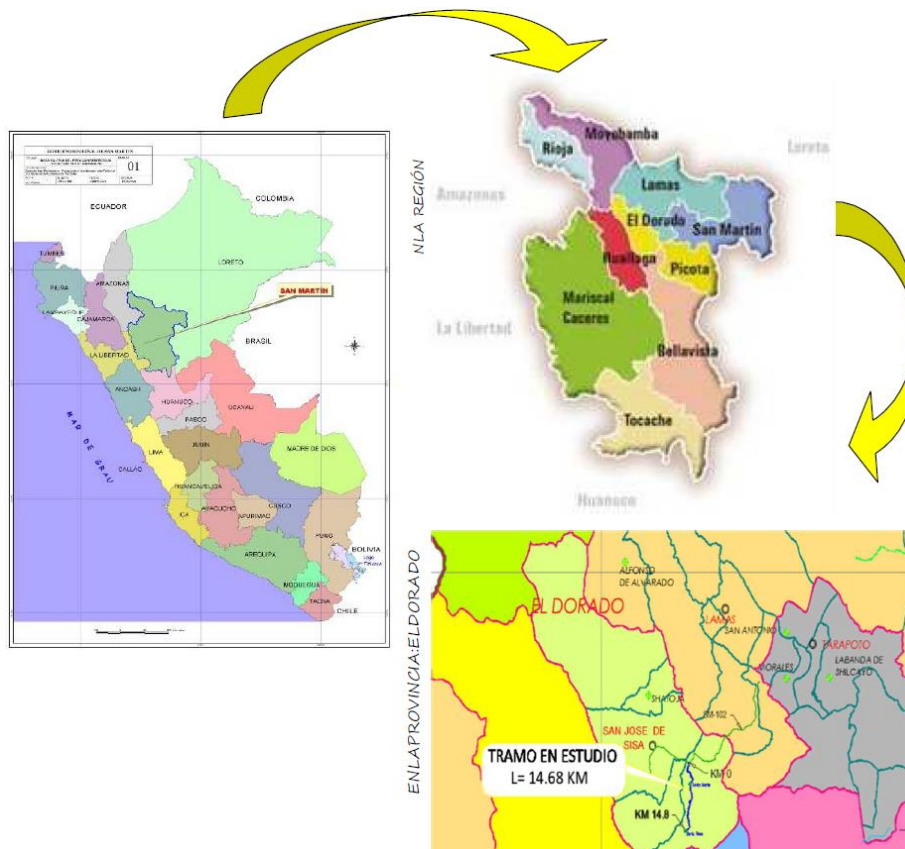


Figura N° 23: Ubicación del proyecto en estudio

Fuente: Gobierno regional de San Martín (2021)

5.1.1. Localización del área del proyecto

El proyecto estudiado está comprendido entre las localidades de Santa Martha y Nuevo Santa Rosa. Los límites son los siguientes:

- a) Por el Norte: con el Km 36+000.00 de la carretera Cuñumbuqui, en la Provincia de El Dorado.

- b) Por el Sur: con el Centro Poblado de Nuevo Santa Rosa, Provincia de El Dorado.
- c) Por el Este: con el Distrito de Santa Rosa, Provincia de El Dorado.
- d) Por el Oeste: con el Distrito de Aguablanca y Rioja, Provincia de El Dorado.

5.1.2. Acceso a la zona del proyecto

Desde la ciudad de Tarapoto, el acceso a la zona de la carretera se realiza mediante la carretera Fernando Belaunde Terry - Norte, hasta llegar al cruce con la carretera Cuñumbuqui - Sisa; continuamos por esta carretera hasta el Km 36, donde se encuentra la Divisoria a Santa Martha, punto que es el inicio de esta carretera en estudio, es decir la progresiva Km 0+000, luego seguimos por una vía afirmada encontrando al CP de Santa Martha en la progresiva Km 5+000, y siguiendo por la misma ruta se encuentra el CP de Nuevo San Martín en la progresiva Km 7+000, así mismo continuando con la misma vía se encuentra el CP de Nuevo Santa Rosa aproximadamente en la progresiva Km 14+000.

5.1.3. Clima e hidrología

El clima de los centros poblados de Santa Martha y Nuevo Santa Rosa puede clasificarse tropical semi húmedo con temperaturas que varían entre 18°C mínima y 24°C máxima, que en algunos meses y durante la noche baja hasta 12°C.

Se caracteriza por presentar dos épocas hidrológicas bien definidas, una de ellas referida a la época de invierno con marcada presencia de lluvias continuas que generalmente se presenta durante los meses de marzo, abril y mayo. Asimismo, otra de escasa o esporádica recurrencia de precipitaciones ocurre entre los meses de setiembre y diciembre, inclusive parte de enero.

5.1.4. Topografía

El estudio topográfico a los centros poblados de Santa Martha y Nuevo Santa Rosa, se observó que el terreno donde se desarrollará el Proyecto es de topografía accidentada, presentándose altitudes variables de terreno que oscilan desde los 429.072 m.s.n.m. hasta los 580.626 m.s.n.m.

5.1.5. Geología

Los suelos predominantes lo constituyen las Arcillas Inorgánicas de alta y mediana plasticidad, notándose lentes de arenas Arcillosas limosas. La geología local está caracterizada por la presencia de depósitos cuaternarios de los tipos aluviales, fluvio – aluviales y coluviales – aluviales, principalmente. En el área del proyecto no se han observado fallas geológicas.

5.1.6. Característica de carretera

Los parámetros de la carretera en estudio se presentan en la tabla N° 16, información necesaria para el diseño de sistemas de drenaje superficial y subterráneo.

Tabla N° 16:
Parámetros de la carretera de estudio

Parámetros	Valor
Clasificación de la vía	Tercera clase
N carriles	2
Velocidad directriz	30 km/hr
Longitud total de vía	13.369 km
Derecho de vía	8 m a cada lado del eje
Ancho de calzada	6.00m
Ancho de Berma a cada lado	0.50m
Ancho de plataforma	7.00m
Espesor de Subbase granular	0.20m
Espesor de Base granular	0.15m
Tratamiento superficial Bicapa	0.025m
Talud de corte	V/H: 1.00 / 2.00

Fuente: Gobierno regional de San Martín (2021)

5.2. Diagramas de procedimientos

5.2.1. Diagrama de estimación de caudal superficial

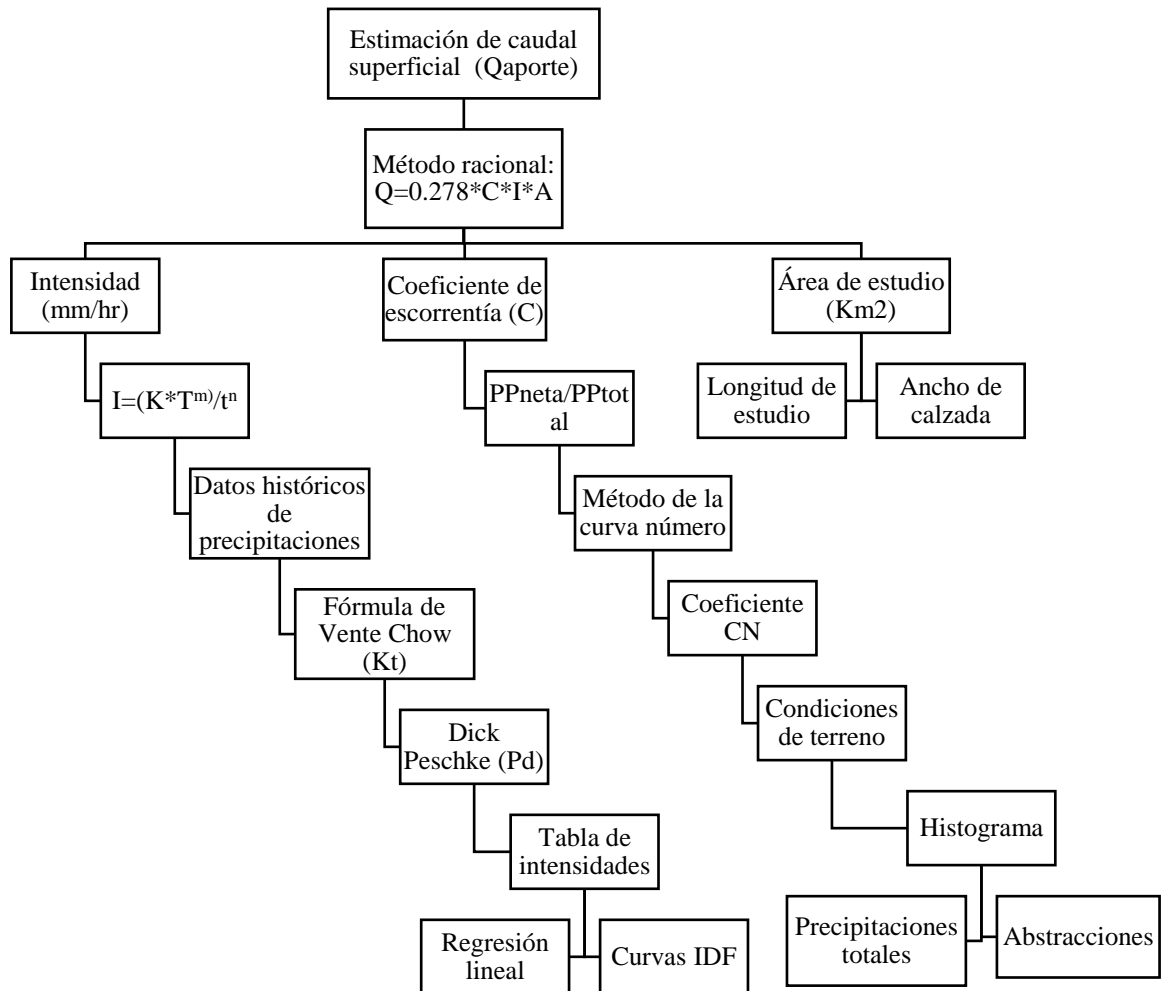


Figura N° 24: Diagrama de estimación de caudal superficial

Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Diagrama de estimación de drenaje superficial

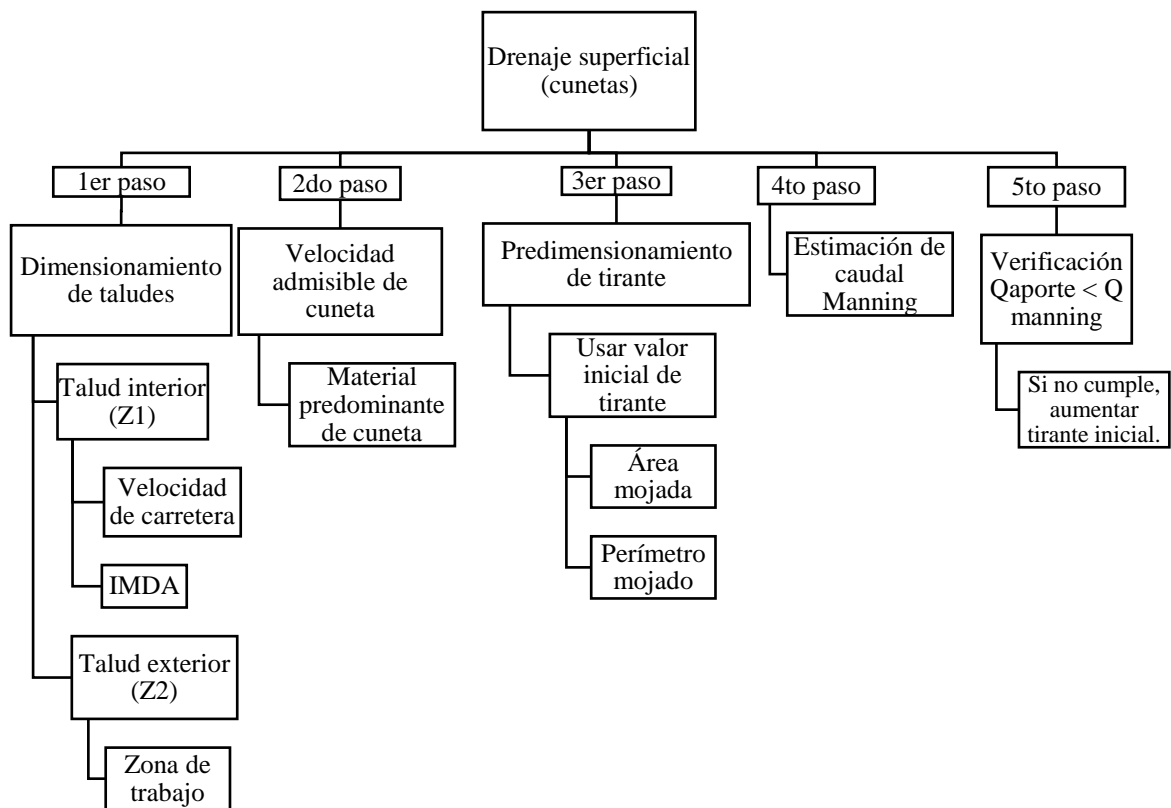


Figura N° 25: Diagrama de drenaje superficial

Fuente: Elaboración propia

5.2.3. Diagrama de estimación de caudal subterráneo

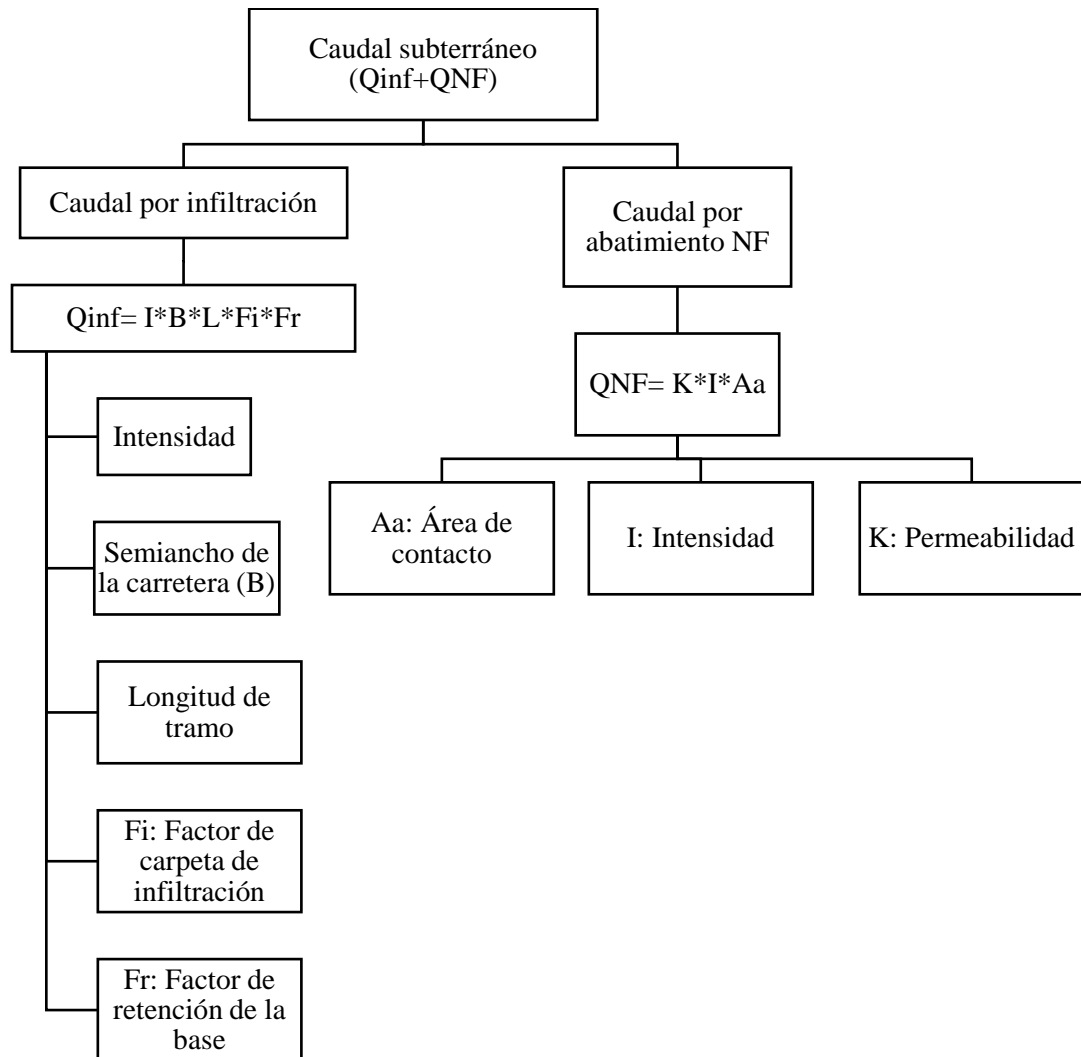


Figura N° 26: Diagrama de estimación de caudal subterráneo

Fuente: Elaboración propia

5.2.4. Diagrama de estimación de drenaje subterráneo

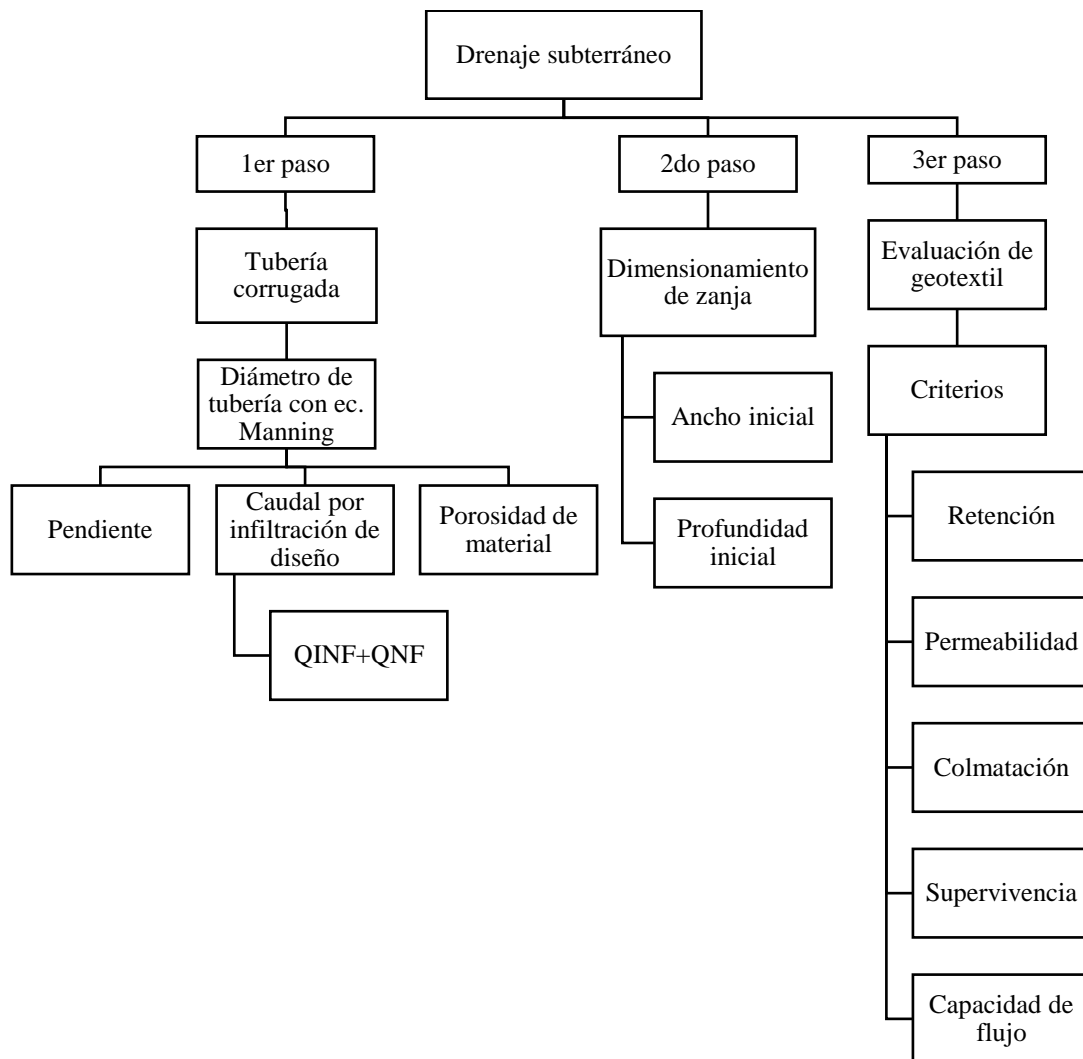


Figura N° 27: Diagrama de estimación de drenaje subterráneo

Fuente: Elaboración propia

5.3. Cálculos en Microsoft Excel

5.3.1. Estimación de caudal superficial

a) Intensidad

Las precipitaciones de la zona de estudio de la estación hidrológica Alao ubicada en el departamento de San Martín se muestra en la Tabla N° 17.

Tabla N° 17:
Precipitaciones del SENAMHI

Año	PP Max. 24hrs (mm)
1972	69.50
1973	69.10
1974	59.70
1975	65.10
1976	60.00
1977	76.30
1978	89.50
1979	172.0
1980	85.70
1981	50.90
1982	63.40
1983	122.10
1984	81.40
1985	57.30
1986	58.00
1987	75.20
1988	79.70
1989	81.80
1990	88.00
1991	75.40
1992	79.00
1993	76.20
1994	82.40
1995	108.50
1996	79.80
1997	93.80
1998	75.80
1999	65.50
2000	72.40
2001	128.90
2002	50.50
2003	109.50
2004	57.80
2005	60.20
2006	69.50
2007	124.00
2008	76.30
2009	73.60
2010	123.10

2011	83.20
2012	92.70
2013	72.20
2014	41.50

Fuente: Elaboración Propia

El cálculo del promedio de precipitaciones y la varianza se muestran en la Tabla N° 18.

Tabla N° 18:
Precipitación promedio y desviación estándar

Parámetro	PP (mm)
Promedio	80.85
S	24.80

Fuente: Elaboración Propia

Se aplica la fórmula de Ven Te Chow para poder hallar precipitaciones que dependan del tiempo de retorno, los valores se presentan en la Tabla N° 19.

Tabla N° 19:
Tiempo de retorno con su respectivo factor de corrección

Tr (años)	Kt
5	0.719
10	1.305
15	1.635
20	1.866
25	2.044
50	2.592

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 20:
Precipitaciones corregidas según tiempos de retorno

Tr (años)	Kt	PP (mm)
5	0.719	98.69
10	1.305	113.21
15	1.635	121.39
20	1.866	127.13
25	2.044	131.54
50	2.592	145.15

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 21:
Estimación de precipitación en 2 horas, método de Dick Peschke

Tr (años)	Precipitaciones (mm)						
	15	30	60	75	90	105	120
5	31.530	37.496	44.590	47.148	49.347	51.286	53.027
10	36.166	43.009	51.147	54.081	56.603	58.827	60.824
15	38.782	46.120	54.846	57.993	60.697	63.082	65.224
20	40.614	48.298	57.437	60.732	63.564	66.061	68.304
25	42.025	49.976	59.432	62.841	65.772	68.356	70.677
50	46.370	55.144	65.578	69.340	72.574	75.425	77.985

Fuente: Elaboración Propia

Tabla de Intensidades

Tabla N° 22:
Intensidades máximas en dos horas

Tr (años)	Intensidades (mm/hr)						
	15	30	60	75	90	105	120
5	126.120	74.991	44.590	37.719	32.898	29.306	26.513
10	144.666	86.019	51.147	43.265	37.736	33.616	30.412
15	155.129	92.240	54.846	46.394	40.465	36.047	32.612
20	162.455	96.596	57.437	48.585	42.376	37.749	34.152
25	168.098	99.952	59.432	50.273	43.848	39.061	35.338
50	185.482	110.288	65.578	55.472	48.382	43.100	38.993

Fuente: Elaboración Propia

Realizamos una regresión lineal para obtener los coeficientes k, m y n

K: 744.5324

m: 0.1674

n: 0.7500

En la figura 26 se muestra las curvas intensidad, duración y frecuencia para tiempos de retorno de 5, 10, 15, 20, 25 y 50 años.

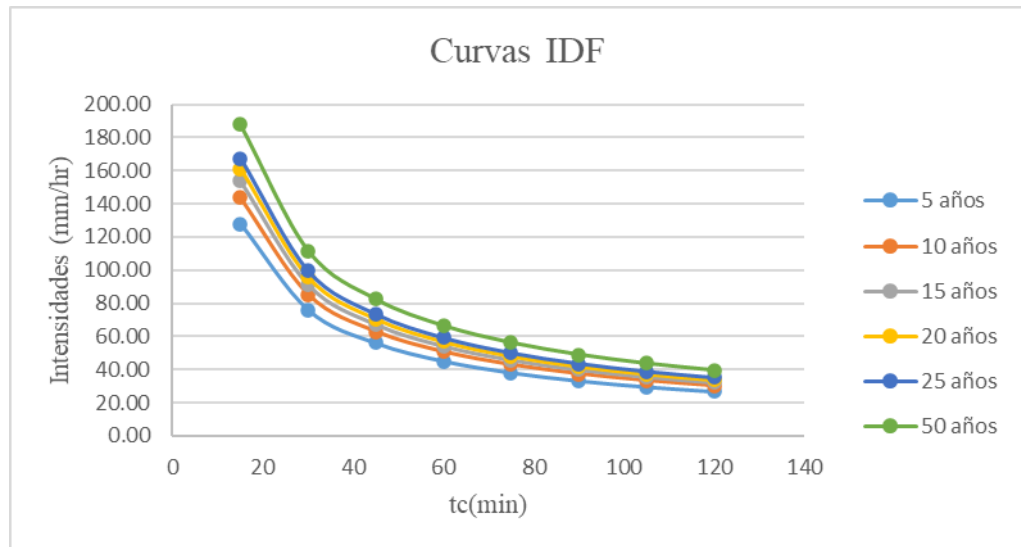


Figura N° 28: Curvas intensidad, duración y frecuencia (IDF)

Fuente: Elaboración Propia

Parámetros de diseño del caudal superficial de la carretera de estudio

Tabla N° 23:

Parámetros de diseño de drenaje superficial

Parámetros / Progresiva	6+000 - 6+200	6+200 - 6+400	6+400 - 6+600	6+600 - 6+800	6+800 - 7+000
n (vida útil)	15	15	15	15	15
R (%)	40	40	40	40	40
L (m)	200	200	200	200	200
S (%)	0.38	0.63	0.47	1.22	0.98
Área (Km2)	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014
Tr (años)	30	30	30	30	30
Tc (minutos)	9.616	7.882	8.864	6.136	6.666

Fuente: Elaboración Propia

Obtenemos las intensidades de diseño de cada tramo a analizar

Tabla N° 24:

Resultados de intensidad por tramos de la carretera

Parámetros / Progresiva	6+000 - 6+200	6+200 - 6+400	6+400 - 6+600	6+600 - 6+800	6+800 - 7+000
I (mm/hr)	240.95	279.70	256.11	337.49	317.14

Fuente: Elaboración Propia

b) Área de estudio

Este parámetro comprende las dimensiones de la carretera y los tramos a considerar que serán 7 metros de ancho y longitud de 200 metros.

c) Coeficiente de escorrentía

Curva número según las condiciones de la zona

CN = 74: Pastizales Optimas, Grupo C

Hallamos las abstracciones

Tabla N° 25:

Precipitaciones netas y abstracciones

B.A(mm)	Σ PP	Σ PP neta	PP neta (mm)	Abst. (mm)
2.891	2.891	3.012	3.012	0.121
3.814	6.705	1.590	0.000	3.814
5.964	12.668	0.319	0.000	5.964
47.008	59.677	13.348	13.029	33.979
8.894	68.571	18.381	5.033	3.861
4.613	73.184	21.179	2.798	1.816
3.278	76.462	23.236	2.057	1.221
2.596	79.058	24.902	1.666	0.929
			Σ Abs.	51.706

Fuente: Elaboración Propia

Obtención del gráfico de histograma

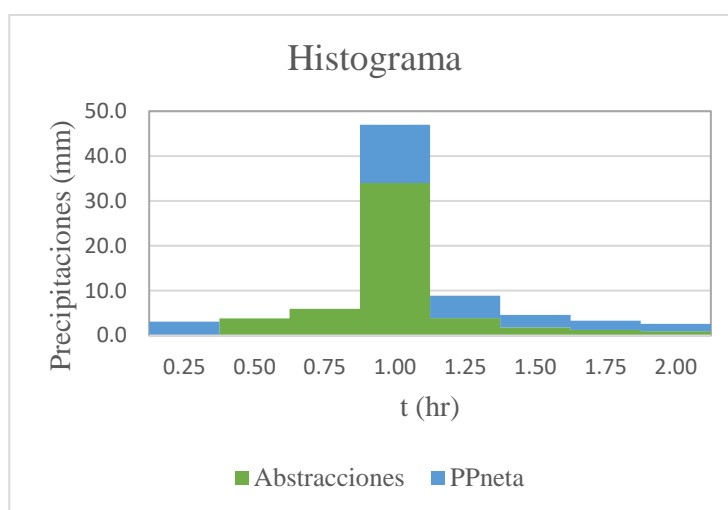


Figura N° 29: Histograma de duración dos horas

Fuente: Elaboración propia

Cálculo del coeficiente de escorrentía de acuerdo con las abstracciones.

PPtotal: 79.06 mm

PPneta: 27.60 mm

C: 0.349

Método racional para estimar caudal

Tabla N° 26:

Caudal superficial por tramos

Parámetros / Progresiva	6+000 - 6+200	6+200 - 6+400	6+400 - 6+600	6+600 - 6+800	6+800 - 7+000
C	0.349	0.349	0.349	0.349	0.349
I (mm/hr)	240.95	279.70	256.11	337.49	317.14
A (km ²)	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014
Q (m ³ /s)	0.033	0.038	0.035	0.046	0.043

Fuente: Elaboración Propia

5.3.2. Diseño de drenaje superficial (cuneta)

- a) Dimensionamiento de taludes exterior e interior

La inclinación interior de la cuneta a usar dependerá de los siguientes datos a ingresar con respecto a la tabla N° 8.

I.M.D.A. = 371 veh/día

Velocidad de diseño = 30 km/hr

z1 = 1:2

El talud exterior de diseño fue z2 = 1:0.5

- b) Estimación de velocidad admisible

De la Tabla N° 10, el revestimiento a usar será de concreto y la velocidad límite será de V = 4.5 m/s

- c) Predimensionamiento de tirante

El diseño de la cuneta debe cumplir con la siguiente ecuación $Q_{\text{Manning}} > Q_{\text{aporte}}$. De no cumplirse aumentar el valor del tirante inicial.

Tabla N° 27:

Parámetros para dimensionamiento de drenaje superficial

Parámetros / Progresiva	6+000 - 6+200	6+200 - 6+400	6+400 - 6+600	6+600 - 6+800	6+800 - 7+000
V límite (m/s)	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50
K (1/n)	67	67	67	67	67
y (m)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Pm (m)	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
Rh (m)	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Am (m2)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Fuente: Elaboración Propia

d) Verificación de velocidad y caudal

Comprobamos que la velocidad límite es mayor a la velocidad de diseño y que el caudal de aporte es menor al caudal de Manning.

Tabla N° 28:

Verificación de velocidad y caudal superficial

Parámetros / Progresiva	6+000 - 6+200	6+200 - 6+400	6+400 - 6+600	6+600 - 6+800	6+800 - 7+000
V límite (m/s)	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50
V (m/s)	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19
Cumple	OK	OK	OK	OK	OK
Q Manning (m3/s)	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Q aporte (m3/s)	0.03	0.04	0.03	0.05	0.04
Cumple	OK	OK	OK	OK	OK

Fuente: Elaboración Propia

5.3.3. Estimación del caudal subterráneo

a) Caudal por abatimiento

En la Tabla N° 29, se presenta los parámetros de diseño para el cálculo debido a la presencia de agua subterránea.

Tabla N° 29:

Parámetros para cálculo de caudal por abatimiento del nivel freático

Parámetros / Progresiva	6+000 - 6+200	6+200 - 6+400	6+400 - 6+600	6+600 - 6+800	6+800 - 7+000
K (m/s)	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
i	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333
Aa (m ²)	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
Nd=D (m)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Nf= d (m)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
B (m)	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
L (m)	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, con estos valores obtenemos un caudal por abatimiento de nivel freático $QNF=6.67 \cdot 10^{-4}$ m³/s, siendo este valor el mismo para todo el kilómetro comprendido entre las progresivas 6+000 al 7+000.

b) Caudal por infiltración

En la Tabla N° 30, se presenta los parámetros de diseño para el cálculo debido al agua que logra ingresar a las profundidades del suelo

Tabla N° 30:

Parámetros para estimación de caudal por infiltración

Parámetros / Progresiva	6+000 - 6+200	6+200 - 6+400	6+400 - 6+600	6+600 - 6+800	6+800 - 7+000
I (mm/hr)	240.95	279.70	256.11	337.49	317.14
B (m)	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
L (m)	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
Fi	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Fr	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N° 31, se presentan los caudales por infiltración y abatimiento cuya sumatoria da como resultado el caudal de diseño para el geodrén.

Tabla N° 31:
Caudal por abatimiento del nivel freático y caudal por infiltración

Parámetros / Progresiva	6+000 - 6+200	6+200 - 6+400	6+400 - 6+600	6+600 - 6+800	6+800 - 7+000
Q_{NF} (m ³ /s)	6.67×10^{-4}	6.67×10^{-4}	6.67×10^{-4}	6.67×10^{-4}	6.67×10^{-4}
Q_{Inf} (m ³ /s)	0.0040	0.0047	0.0043	0.0056	0.0053
Q_d (m ³ /s)	0.0047	0.0053	0.0049	0.0063	0.0060

Fuente: Elaboración Propia

5.3.4. Diseño de drenaje subterráneo

- a) Diámetro de tubería corrugada para el subdren

En la Tabla N° 32 utilizamos la fórmula de Manning para hallar la sección de la tubería necesaria para transportar todo el flujo del agua debido al abatimiento freático y lo infiltrado desde la superficie.

Tabla N° 32:
Diámetro de tubería corrugada por tramos

Parámetros / Progresiva	6+000 - 6+200	6+200 - 6+400	6+400 - 6+600	6+600 - 6+800	6+800 - 7+000
Q_d (m ³ /s)	0.0047	0.0053	0.0049	0.0063	0.0060
n	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013
S (%)	0.38	0.63	0.47	1.22	0.98
D (pulg)	4.05	3.85	3.97	3.63	3.70

Fuente: Elaboración Propia

- b) Dimensionamiento de zanja drenante

El ancho de la zanja a trabajar será de 0.50 m basado en la experiencia en otros proyectos de la selva peruana que ha realizado la empresa Maccaferri, según artículos científicos consultados.

La profundidad de la zanja es un valor propuesto de la ubicación del nivel freático, para esta investigación es de 1.50 m, ya que consideramos que a esa profundidad no pondrá en riesgo la vida útil de la carretera ni tampoco la capacidad portante del terreno de fundación, evitando que se produzcan fallas estructurales.

c) Evaluación del geosintético

Criterio de permeabilidad:

Consideramos una permeabilidad de suelo $k=1*10^{-5}$ m/s, ya que nos encontramos con suelos arcilloso, arenas con presencia de arcillas de baja plasticidad.

Tramo: 6+000 – 7+000

$K_{\text{geotextil}}= 0.30\text{cm/s}$

$K_{\text{suelo}}= 0.001 \text{ cm/s}$

Estado: Cumple condición

El MacDrain 2L tiene mayor permeabilidad considerando la condición más severa, es decir, que es diez veces más permeable que el suelo donde se coloca.

Criterio de colmatación:

El geotextil MacDrain 2L cumple con el criterio, ya que posee un 90% de vacíos en su núcleo drenante, por lo tanto, es resistente a la colmatación de sus aberturas.

Criterio de supervivencia:

Aplicando la ecuación (18)

$$\sigma = \gamma * h * k_o \quad (18)$$

Considerando los valores:

Tabla N° 33:
Evaluación de presión de MacDrain 2L

Parámetros	Valores
Peso específico (KN/m ³)	18.00
Altura (m)	1.50
Ángulo de fricción (°)	20.00

Coeficiente de reposo, K_0	0.66
Presión de suelo (Kpa)	17.77
Presión de MacDrain 2L (Kpa)	20.00
Estado	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

Considerando una presión MacDrain 2L de 20 kpa cumplimos con la condición al ser mayor a la presión que aporta el suelo de 17.77 kpa.

Capacidad o tasa de flujo:

En la Tabla N° 34, analizamos la tasa de flujo del MacDrain 2L aplicando la ecuación (2), obteniendo el factor de seguridad valores mayores a 1.0, siendo considerables y verificando el cumplimiento de la propiedad.

Tabla N° 34:
Evaluación de tasa de flujo por tramos

Parámetros / Progresiva	6+000 - 6+200	6+200 - 6+400	6+400 - 6+600	6+600 - 6+800	6+800 - 7+000
Q_d (m ³ /s)	0.0047	0.0053	0.0049	0.0063	0.006
Longitud de tramo	200	200	200	200	200
Tasa de flujo requerida (l/s- m)	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03
Tasa de flujo (l/s-m) MacDrain 2L	2.17	2.17	2.17	2.17	2.17
Factor Reducción	6.48	6.48	6.48	6.48	6.48
Tasa de flujo admisible (l/s- m) MacDrain 2L	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
Factor de seguridad	14.25	12.64	13.67	10.63	11.16
Estado	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Permitividad:

En la Tabla N° 35 evaluamos la permitividad del MacDrain 2L aplicando la ecuación (1) y considerando un factor de reducción de 6.48, obtenemos factores de seguridad mayores a 150.

Tabla N° 35:
Evaluación de permitividad por tramos

Parámetros / Progresiva	6+000 - 6+200	6+200 - 6+400	6+400 - 6+600	6+600 - 6+800	6+800 - 7+000
Q _d (m ³ /s)	0.0047	0.0053	0.0049	0.0063	0.006
Altura (m)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Ancho unitario (m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Área (m ²)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Permitividad requerida (s-1)	0.0021	0.0024	0.0022	0.0028	0.0027
Permitividad MacDrain 2L (s-1)	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Factor Reducción	6.48	6.48	6.48	6.48	6.48
Permitividad admisible (s- 1) MacDrain 2L	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
Factor de seguridad	221.63	196.54	212.59	165.34	173.61
Estado	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

5.4. Software Macflow Road Works

En el programa Macflow obtuvimos los valores del diámetro de la tubería del geodrén, pendiente de diseño, longitud admisible y longitud máxima.

El procedimiento para el cálculo es el siguiente:

- Datos del suelo: tipo de suelo, coeficiente de permeabilidad, ángulo de fricción, peso específico y el factor de la relación entre el volumen de agua libre y el volumen del suelo, ver Tabla N° 36.

Tabla N° 36:
Datos de ingreso al software Macflow Road Works

Descripción	Valor
Tipo de suelo	CL
Coeficiente de permeabilidad (m/s)	1×10^{-5}
Ángulo de fricción (°)	20
Peso específico (KN/m ³)	18
Relación volumen agua libre/volumen suelo	0.02

Fuente: Elaboración Propia

- b) Geometría del sistema: Espesor total del paquete estructural, profundidad del geodrén, distancia entre geodrenes, descenso mínimo del nivel freático, pendiente de la carretera / tubería, ver Tabla N° 37.

Tabla N° 37:
Geometría del sistema al software Macflow Road Works

Descripción	6+000- 6+200	6+200- 6+400	6+400- 6+600	6+600- 6+800	6+800- 7+000
Espesor total pavimento (m)	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
Profundidad de trinchera (m)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Distancia entre trincheras (m)	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
Mínimo descenso del agua (m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Grado autopista (%)	0.40	0.50	0.50	1.00	1.00

Fuente: Elaboración Propia

- c) Elegimos el sistema de subdrenaje MacDrain 2L y empezamos proponiendo un diámetro inicial de 100mm.
- d) Trabajamos con los factores de reducción MacDrain (RF_{CR} , RF_{IN} , RF_{CC} , RF_{BC} , Factor de seguridad).

Tabla N° 38:
Factores de reducción MacDrain 2L

Descripción	Valor
RF_{CR}	1.50
RF_{IN}	1.20
RF_{CC}	3.00
RF_{BC}	1.20
Factor de reducción	6.48

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N° 39 se presentan los resultados obtenidos del programa Macflow Road Works por tramos cada 200m, obteniendo un mismo tiempo de abatimiento de 1:10:12 (hh:mm:ss), descenso de agua subterráneas de 1.07 m y un diámetro uniforme de 4 pulgadas.

Tabla N° 39:
Resultados del software Macflow Road Works

Descripción	6+000- 6+200	6+200- 6+400	6+400- 6+600	6+600- 6+800	6+800- 7+000
Tiempo para equilibrar (hh/mm/ss)	1:10:12	1:10:12	1:10:12	1:10:12	1:10:12
Descarga requerida por la trinchera ((lt/hr)-m)	15.48	15.48	15.48	15.48	15.48
Coefficiente de reposo, Ko	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
Tensión sometida al MacDrain 2L (kPa)	17.77	17.77	17.77	17.77	17.77
Factor de reducción Global	6.48	6.48	6.48	6.48	6.48
Descenso de aguas subterráneas (m)	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07
Longitud admisible (m)	255.86	285.33	285.33	403.18	403.18
Diámetro (pulg.)	4	4	4	4	4

Fuente: Elaboración Propia

5.5. Presentación de resultados

La cuneta dimensionada es de sección triangular con talud interior es de $z1 = 1:2$ y talud exterior es de $z2 = 1:0.5$ el esquema se muestra en la Figura N° 28. Para el sistema de subdrenaje se propuso un ancho de 0.50 m, profundidad del geodrén 1.50m, relleno con arena gruesa o un suelo con mayor permeabilidad al de la zona y para el diámetro de tubería se estableció utilizar 6 pulgadas a lo largo de las progresivas 6+000 hasta la progresiva 7+000 con la finalidad de que tenga un factor de seguridad. Al final de cada tramo se colocó un punto de control el cual consiste en una zanja revestida internamente y tapa de concreto, de ancho y largo de 0.60 m x 0.60 m con una profundidad de 1.60 m, en donde se ve el flujo del agua subterránea evacuada que será inspeccionado periódicamente para darle su adecuado mantenimiento.

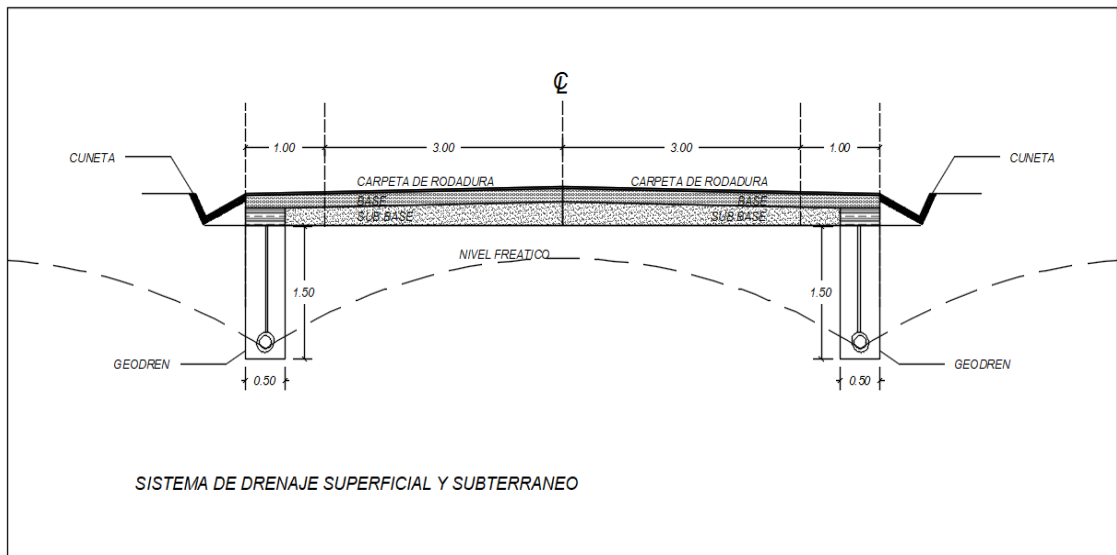


Figura N° 30: Dimensionamiento de la carretera de estudio

Fuente: Elaboración propia

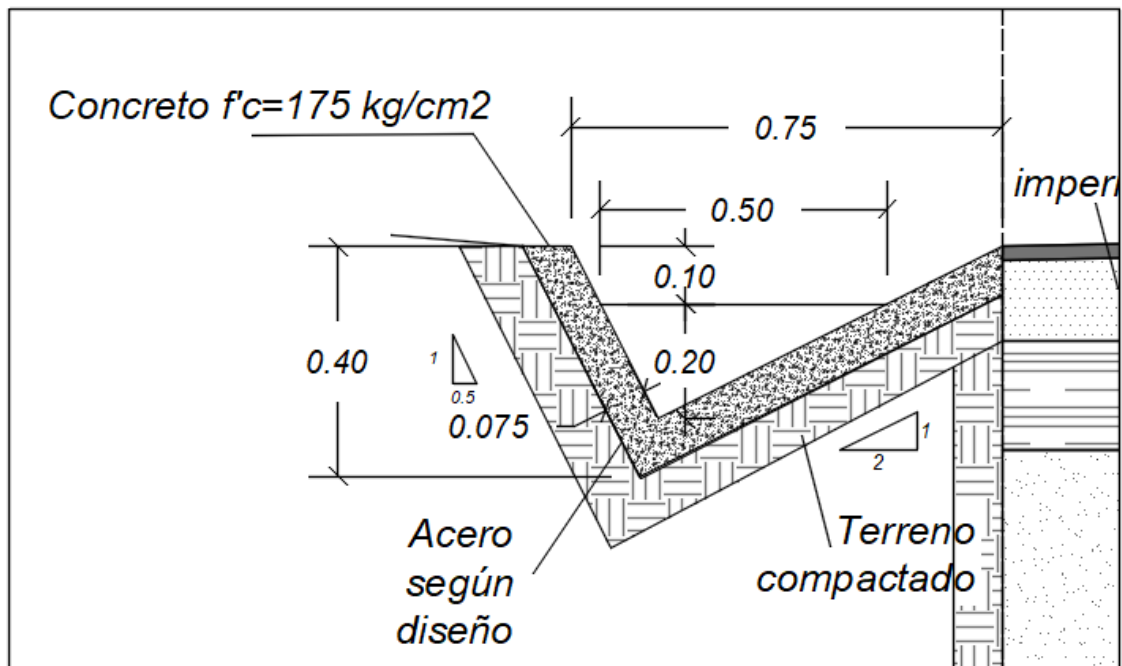


Figura N° 31: Dimensionamiento de cunetas

Fuente: Elaboración Propia

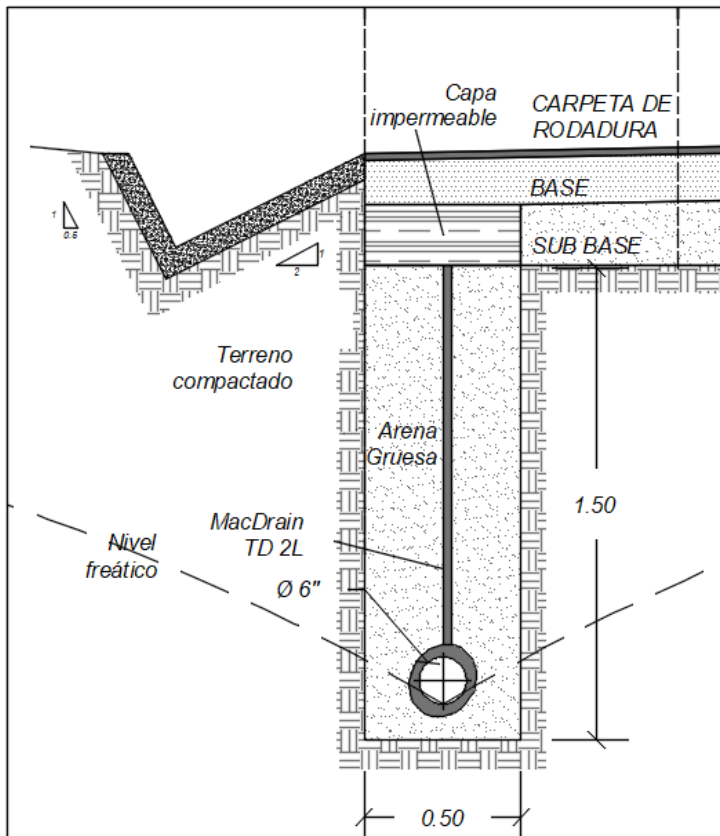


Figura N° 32: Dimensionamiento de geodrén

Fuente: Elaboración Propia

5.6. Contrastación de resultados

5.6.1. Contrastación de la primera hipótesis

HIPOTESIS 1: Al determinar los valores del caudal superficial y el caudal infiltrado de la zona de estudio se dimensiona el sistema de drenaje superficial y subterráneo de la carretera.

Hipótesis auxiliar:

H0: Al determinar los valores del caudal superficial y el caudal infiltrado de la zona de estudio no se dimensiona el sistema de drenaje superficial y subterráneo de la carretera.

H1: Al determinar los valores del caudal superficial y el caudal infiltrado de la zona de estudio se dimensiona el sistema de drenaje superficial y subterráneo de la carretera.

Observación:

Según Vite (2019), con el sistema de subdrenaje longitudinal y transversal se garantiza la correcta canalización de agua de retorno usada en la parte baja de la zona, ya que estas tuberías llegan a alcantarillas (cuando existen) o a los drenes transversales, cuya agua es derivada a canales de riego y es reutilizada para fines de cultivos.

Según Aguilar & Amarillo (2021), se determinó las características del estado de drenaje de manera empírica; evaluando el terreno a través de las cartas nacionales que comprende las dos microcuencas de área 32074.14 y 76690.93 ha; fueron factores determinantes para la determinación del estado del sistema de drenaje las pendientes del terreno las cuales oscilan entre 3% y 5 %; junto con los caudales ya determinados en el rango de 0.02 m³/s a 0.69 m³/s se puede; determinar las condiciones del drenaje como adaptables a un diseño típico de alcantarillas TMC de 36" y cunetas a lo largo de 6.225 km de la carretera.

Se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1) ya que, como se muestra en la Tabla N° 26 y Tabla N° 31 se presentan los parámetros necesarios para calcular los caudales de diseño y poder dimensionar los sistemas de drenaje superficial y subterráneo.

5.6.2. Contrastación de la segunda hipótesis

HIPOTESIS 2: Al evaluar el geocompuesto se cumple con las condiciones de la zona de estudio.

Hipótesis auxiliar:

H0: Al evaluar el geocompuesto no se cumple con las condiciones de la zona de estudio.

H1: Al evaluar el geocompuesto se cumple con las condiciones de la zona de estudio.

Observación:

Según Koerner (2005), los geotextiles son materiales capaces de ser comparados con los materiales utilizados convencionalmente. El rendimiento de campo hasta la fecha, después de más de 25 años de vida útil en una multitud de aplicaciones, ha sido excelente.

Según Vite (2019), los geotextiles empleados garantizan que no se laven los finos del paquete estructural, ayuda a que la estructura del pavimento perdure en el tiempo.

Según FHWA (2008), la capacidad de drenaje en el plano de los geotextiles y los drenajes de geocompuestos prefabricados son muy eficaces para la transmisión de agua de filtración debajo de la capa base del pavimento, drenajes del borde del pavimento, disipación de presión de agua intersticial en terraplenes y rellenos. Los geocompuestos de drenaje poseen una capacidad de flujo adecuada que se puede utilizar para mejorar el drenaje del sistema vial y suficiente resistencia a la compresión para soportar el tráfico sin una deformación excesiva.

Según Cedergren (1967) concluyó después de una extensa investigación que un pavimento bien drenado puede tener una capacidad de servicio de tres a cinco veces mayor que la de un pavimento convencional mal drenado.

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1) ya que, como se muestra en la Tabla N° 33, Tabla N° 34 y Tabla N° 35 se presentan los resultados de los criterios de evaluación del MacDrain 2L, cumpliendo en todos los análisis.

5.6.3. Contrastación de la tercera hipótesis

HIPOTESIS 3: Al calcular el diámetro de la tubería se conduce el flujo del agua infiltrada aplicando la metodología de Manning.

Hipótesis auxiliar:

H0: Al calcular el diámetro de la tubería no conduce el flujo del agua infiltrada aplicando la metodología de Manning.

H1: Al calcular el diámetro de la tubería se conduce el flujo del agua infiltrada aplicando la metodología de Manning.

Observación:

Según Correa (2021), el geodrén está compuesto por un elemento laminar, requiriendo menor sección transversal de excavación, lo cual da como resultado un menor volumen de material de relleno para su conformación. Recomienda para longitudes mayores a 300 m utilizar un diámetro de 200 mm y para longitudes menores, diámetro de 160 mm, con una pendiente longitudinal entre 1% y 2%.

Según Balbín (2016), la nueva propuesta de subdrenaje consistió en reemplazar la grava de una zanja de 0.50m de ancho por 1.20m de profundidad, por una de iguales dimensiones, pero empleando el MacDrain. Este fue colocado en el eje de la zanja, el cual luego fue relleno con un material granular fino que cumplía con un diseño granulométrico específico, de manera que el relleno servía como un filtro de transición entre la arcilla y el filtro geotextil del MacDrain, evitando su obstrucción, garantizando su operatividad y durabilidad. Este diseño consideraba emplear una tubería perforada de 4 pulgadas de diámetro apoyada sobre material de relleno con una permeabilidad mayor a la del suelo de fundación.

Según Vite (2019), el geodrén estará constituido por una zanja de profundidad de 1.20 m en la que se colocará un tubo de 6 pulgadas con orificios perforados, juntas abiertas, o de material poroso. Se rodeará de un material permeable, material filtro, compactado adecuadamente, y se aislará de las aguas superficiales por una capa impermeable que ocupe y cierre la parte superior de la zanja.

Se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1) ya que, como se muestra en la Tabla N° 32 se presentan los diámetros obtenidos utilizando la metodología Manning, los cuales fueron 4.05", 3.85", 3.97", 3.63" y 3.70".

5.7. Discusión de resultados

Para obtener los caudales superficiales por tramos de 200 metros, consideramos un área de escurrimiento de 0.0014 km², tiempo de retorno de 30 años, vida útil del sistema de drenaje de 15 años, riesgo del 40%, pendientes de 0.38%, 0.63%, 0.47%, 1.22% y 0.98% (Tabla N° 23), dando como resultados: 0.033 m³/s, 0.038 m³/s, 0.035 m³/s, 0.046 m³/s y 0.043 m³/s (Tabla N° 26). De la misma forma con los parámetros de estimación de caudal subterráneo, se halló los siguientes valores: 0.0047 m³/s, 0.0053 m³/s, 0.0049 m³/s, 0.0063 m³/s y 0.0060 m³/s (Tabla N° 31). Estos valores de caudales son necesarios para dimensionar el sistema de drenaje superficial y subterráneo para la carretera analizada. Vite (2019), afirma que con el sistema de subdrenaje longitudinal y transversal se garantiza la correcta canalización de agua de retorno usada en la parte baja de la zona, ya que estas tuberías llegan a alcantarillas (cuando existen) o a los drenes transversales, cuya agua es derivada a canales de riego y es reutilizada para fines de cultivos. Vite en su investigación dividió 1 km en 2 tramos y sus datos arrojan la efectividad al usar el drenaje subterráneo mientras que en la presente investigación el 1 km de análisis se dividió en 5 tramos cada uno de 200 m lo cual ofrece mayor precisión.

Al evaluar el geocompuesto MacDrain 2L obtuvimos resultados que cumplen con las condiciones de la zona de estudio. Es permeable porque supera las condiciones menos favorables, siendo 10 veces más permeable al suelo de fundación. Se obtuvieron factores de seguridad de tasa de flujo de 14.25, 12.64, 13.67, 10.63, 11.16, siendo estos valores mayores a 1.0, lo cual significa que tiene más capacidad de transporte de flujo de lo que aporta las condiciones del sitio. El manual FHWA 2008 refuerza los valores obtenidos afirmando que, los geotextiles son muy eficaces en las aplicaciones de drenajes y poseen alta resistencia frente a cargas de compresión. Cedergren (1967) por su parte, complementa la discusión mencionando que un pavimento drenado tiene una mayor capacidad de servicio de tres a cinco veces mayor que la de un pavimento sin sistema de subdrenaje. En base a nuestros resultados y a los autores citados, se refuerza con argumentos que los geotextiles cuando son aplicados para obras de drenaje cumplen con su función dando una respuesta practica frente al problema de construir un sistema de subdrenaje que abata el nivel freático y el caudal infiltrado.

Según los resultados obtenidos de diámetros de la tubería corrugada, empleando las hojas de cálculo de Microsoft Excel, los valores fueron los siguientes: 4.05", 3.85", 3.97", 3.63" y 3.70" para los tramos de la carretera: 6+000–6+200, 6+200–6+400, 6+600–

6+800 y 6+800–7+000 respectivamente (Tabla N° 32). Estos valores son productos de la aplicación de la ecuación de Manning, la cual mide el flujo del agua a través de una sección y considera las condiciones de la zona (pendiente, tiempo de concentración, intensidad y caudal de diseño). Por lo tanto, se concluye que para el sistema de drenaje subterráneo es necesario establecer un diámetro comercial, uniforme para todos los tramos, el cual es de 6 pulgadas. Correa (2021), menciona que el geodrén está compuesto por un elemento laminar, requiriendo menor sección transversal de excavación, lo cual da como resultado un menor volumen de material de relleno para su conformación. Recomienda para longitudes mayores a 300 m utilizar un diámetro de 200 mm y para longitudes menores, diámetro de 160 mm, con una pendiente longitudinal entre 1% y 2%. La postura que adopta Correa refuerza nuestros resultados obtenidos cuando se refiere a la relación que guarda la longitud de diseño y sus diámetros, para nuestro caso de estudio utilizamos 200 m y un diámetro de 150mm o 6 pulgadas.

CONCLUSIONES

1. Al evaluar el MacDrain 2L se observó que tiene altas propiedades hidráulicas y mecánicas comparadas con las condiciones de la zona, utilizando los criterios de retención, permeabilidad, colmatación, supervivencia según el manual FHWA y MTC. La zanja del geodrén tiene un ancho de 0.50m, profundidad 1.50m con material de relleno de arena gruesa con permeabilidad 10^{-3} cm/s, tubería perforada de 6 pulgadas. Finalmente, se concluye que el sistema de drenaje subterráneo, compuesto por el geotextil MacDrain 2L y la tubería perforada, cumple con su función de filtrar, captar y conducir el agua subterránea hacia la fuente de agua ubicada en el centro poblado Santa Martha.
2. Para obtener los caudales superficiales por tramos de 200 metros, consideramos un área de escurrimiento de 0.0014 km², tiempo de retorno de 30 años, vida útil del sistema de drenaje de 15 años, riesgo del 40%, pendientes de 0.38%, 0.63%, 0.47%, 1.22% y 0.98% (Tabla N° 23), dando como resultados: 0.033 m³/s, 0.038 m³/s, 0.035 m³/s, 0.046 m³/s y 0.043 m³/s (Tabla N° 26). De la misma forma con los parámetros de estimación de caudal subterráneo, se halló los siguientes valores: 0.0047 m³/s, 0.0053 m³/s, 0.0049 m³/s, 0.0063 m³/s y 0.0060 m³/s (Tabla N° 31). Estos valores de caudales son necesarios para dimensionar el sistema de drenaje superficial y subterráneo para la carretera analizada.
3. Luego de evaluar el MacDrain 2L por el criterio de permeabilidad, se observa que el geotextil tiene 0.30cm/s de permeabilidad y es mayor a la permeabilidad del suelo de fundación que posee 0.001 cm/s. El MacDrain 2L es un geotextil no tejido el cual se caracteriza por ser altamente poroso, posee un 90% de vacíos lo que significa que es resistente a la colmatación en sus aberturas. Se evaluó con una presión del geotextil de 20kpa y considerando la profundidad de nuestro sistema de subdrenaje 1.50m, el peso específico de suelo de 18 KN/m³, obtenemos una presión que ejerce el suelo sobre nuestro geodrén de 17.77 kpa, encontrándonos dentro del rango admitido. Evaluando la tasa de flujo, el MacDrain 2L posee una capacidad de conducción admisible 0.33 l/s-m siendo este valor mayor a lo requerido para cada uno de los tramos, los cuales son: 0.02 l/s-m, 0.03 l/s-m (Tabla N° 34). El geotextil posee una permitividad de 0.46 s⁻¹ siendo mucho mayor a la requerida, los cuales son: 0.0021 s⁻¹, 0.0024 s⁻¹, 0.0022 s⁻¹, 0.0028 s⁻¹, 0.0027 s⁻¹. Finalmente se concluye que el MacDrain 2L cumple con todas las condiciones de retención, permeabilidad,

colmatación, supervivencia y tasa de flujo, siendo este material apto para su aplicación en el sistema de subdrenaje.

4. Según los resultados obtenidos de diámetros de la tubería corrugada, empleando las hojas de cálculo de Microsoft Excel, los valores fueron los siguientes: 4.05", 3.85", 3.97", 3.63" y 3.70" para los tramos de la carretera: 6+000–6+200, 6+200–6+400, 6+600–6+800 y 6+800–7+000 respectivamente (Tabla N° 32). Estos valores son productos de la aplicación de la ecuación de Manning, la cual mide el flujo del agua a través de una sección y considera las condiciones de la zona (pendiente, tiempo de concentración, intensidad y caudal de diseño). Por lo tanto, se concluye que para el sistema de drenaje subterráneo es necesario establecer un diámetro comercial, uniforme para todos los tramos, el cual es de 6 pulgadas.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda colocar un sistema de subdrenaje en las carreteras de la selva peruana, debido a las altas precipitaciones, para evitar el cambio volumétrico debido al reacomodo de partículas provocadas por la circulación del agua infiltrada que pasa por el terreno de fundación de la carretera y provoca fallas
2. Las obras de drenaje en las carreteras son ejecutadas por entidades municipales y regionales, por lo que, se recomienda hacerle el control y seguimiento al comportamiento del sistema de subdrenaje desde su periodo en funcionamiento hasta su rehabilitación y mantenimiento.
3. Se recomienda realizar ensayos de peso específico, a lo largo de la carretera, en la cual se considere todos los estratos de la calicata hasta la profundidad en donde se colocará el geodrén para poder realizar un análisis de esfuerzos a los que será sometido el geodrén.
4. Para futuras investigaciones se recomienda realizar ensayos de permeabilidad, a lo largo de la carretera, en la cual se considere todos los estratos de la calicata hasta la profundidad en donde se colocará el geodrén para poder realizar un análisis de infiltración que permita obtener una mayor precisión.
5. Se recomienda realizar periódicamente mantenimiento a las cunetas y revisar los puntos de control del drenaje subterráneo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, R., & Amarillo, J. (2021). Mejoramiento del sistema de drenaje de la Carretera Ramal Pacucha – distrito de Andahuaylas – Apurímac. Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú.
- Aparicio Mijares, F. J. y Mijares FA (1989) Fundamentos de hidrología de superficie. Arnold JG, Allen PM, Muttiah R, Bernhardt G (1995a) Automated Base Flow Separation and Recession Analysis Techniques. *Ground Water* 33:1010–1018. doi: 10.1111/j.1745- 6584.1995.tb00046.x
- Apaza, N., & Landeo, C. (2020). Estimación del flujo de infiltración de las aguas subterráneas en el túnel Ollachea-Puno. Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú.
- Balbín M. (2016) Subdrenaje en la carretera Iquitos – Nauta mediante el uso de macdrain,. *Revista científica Maccaferri*, Lima-Perú.
- Bravo, D., & Lumbi, W. (2020). Análisis de la estabilidad de talud en la carretera Guanujo-Echeandía en el sector agua blanca. Universidad de Guayaquil, Guayaquil-Ecuador.
- Cachi, K., & Sánchez, N. (2019). Cambio climático y resiliencia en carreteras. Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú.
- Castellini, M., Prima, S. D., Moret-Fernández, D., & Lassabatere, L. (2021). Rapid and accurate measurement methods for determining soil hydraulic properties: A review. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 69(2), 121-139. doi:<https://doi.org/10.2478/johh-2021-0002>
- Cedergren, H. (1967) Seepage, drainage and Flow nets. New York, United States of America.
- Correa, B. (2021). Evaluación técnica financiera del uso de Geodren Planar y circular vs Dren Francés en la implementación de la construcción de una vía. (Caso de estudio vía Nanegal – Palmitopamba). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito-Ecuador.
- Chow, Maidment & Mays (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill, Inc., New York-United States of America.
- Elzoghby, M. M., Jia, Z., & Luo, W. (2021). Experimental study on the hydraulic performance of nonwoven geotextile as subsurface drain filter in a silty loam

- area. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(4), 3461-3469.
doi:10.1016/j.asej.2021.03.012
- García-Casuso, C., Lapeña-Mañero, P., Blanco-Fernández, E., Vega-Zamanillo, Á., & José Miguel Montenegro-Cooper. (2020). Laboratory assessment of water permeability loss of geotextiles due to their installation in pervious pavements. *Water*, 12(5), 1473. doi:<https://doi.org/10.3390/w12051473>
- Geosistemas Pavco (2011). Geodrén Viál y planar. Bogotá, Colombia. Recuperado de https://issuu.com/geosistemaspavco/docs/catalogo_geodren_2011
- Gobierno Regional de San Martín (2021). Sub gerencia de estudios y obras. Proyecto Creación de la carretera a nivel de bicapa desde el cruce carretera Tarapoto-Sisa en el km. 36, distrito de Santa Rosa - Provincia el Dorado - Departamento de San Martín - 2488337. Perú. San Martín, Perú.
- Kalore, S. A., Sivakumar Babu, G. L., & Mallick, R. B. (2018). Design approach for drainage layer in pavement subsurface drainage system considering unsaturated characteristics. *Transportation Geotechnics*.
<https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2018.11.004>
- Koerner, R. (2005). *Designing with Geosynthetics*. EE. UU.: Editorial Pearson. 5ta edición.
- Koerner, R. (2012). *Designing with Geosynthetics*. EE. UU.: Editorial Pearson. 6ta edición.
- Lin, C., & Zhang, X. (2018). Laboratory drainage performance of a new geotextile with wicking fabric. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(11)
doi:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002476
- Linsley K, Kohler A, Paulhus LH (1990) *Hidrología para ingenieros*. México: Editorial McGraw-Hill.
- Maccaferri (2016). *Geocompuesto drenaje para trincheras MacDrain TD 2L*. Brasil
- Manual de diseño con geosintéticos (2012). Departamento de Ingeniería Geosistemas PAVCO, Colombia.: Mexichem. 9na edición.
- Manual de drenaje para carreteras (2009). Ministerio de transporte. Instituto Nacional de Vías. Colombia.
- Manual de Hidrología, hidráulica y drenaje, (2011). Lima, Perú. Recuperado de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf

- Manual Federal Highway Administration (2008) Geosynthetic Design and Construction Guidelines. Washington, D.C.-U.S.A: US Department of Transportation, National Highway Institute.
- Mcclelland, B. (1944). Large-scale Model Studies of Highway Subdrainage. U.S. Ministerio de Fomento (2004). Madrid, España. Recuperado de https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/0610200.pdf
- Morales, A. (2021). Estudio teórico-experimental para determinar la conductividad hidráulica en un suelo arcilloso de baja compresibilidad. Universidad Autónoma de Chiapas, Chiapas-México.
- Morales, H. (2006). Ingeniería Vial I. República Dominicana: Editorial Búho.
- MTC (2013) Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial. Lima, Perú. Recuperado de <http://spij.minjus.gob.pe/Graficos/Peru/2013/Julio/14/RD-18-2013-MTC-14.pdf>
- Navarro, L. (2019). Análisis comparativo de la capacidad hidráulica entre el dren francés y el geodrén lamidren L20DB como sistemas de subdrenaje en la infraestructura vial. Universidad de Antioquia, Medellín-Colombia.
- Norma Técnica Peruana E.050, (2018). Lima-Perú. Recuperado de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2366655/54%20E.050%20SUELOS%20Y%20CIMENTACIONES%20RM%20N%C2%B0%20406-2018-VIVIENDA.pdf>
- Palmeira, E. M., Araújo, G.,L.S., & Santos, E. C. G. (2021). Sustainable solutions with geosynthetics and alternative construction Materials—A review. *Sustainability*, 13(22), 12756. doi:<https://doi.org/10.3390/su132212756>
- Prambauer, M.; Wendeler, C.; Weitzenböck, J.; Burgstaller, C. (2019) Biodegradable geotextiles An overview of existing and potential materials. *Geotextiles and Geomembranes*, <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2018.09.006>.
- Putu Tantri, K. S., & Wardani, M. K. (2020). Combined effects of vertical drain and pre-loading to reduce the number of geotextile reinforcement for road embankment design. *Journal of Physics: Conference Series*, 1569(4) doi:<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1569/4/042015>
- Sañudo-Fontaneda, L. A., Coupe, S. J., Charlesworth, S. M., & Rowlands, E. G. (2018). Exploring the effects of geotextiles in the performance of highway

filter drains. *Geotextiles and Geomembranes*, 46(5), 559-565.
doi:10.1016/j.geotexmem.2018.04.006

- Senamhi (2016). Asimilación y evaluación de datos de precipitación en base a satélite en el modelamiento hidrológico de la cuenca del río Vilcanota. Lima, Perú.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2020), Mapa climático del Perú. Lima, Perú. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru#:~:text=El%20Per%C3%BA%20posee%2038%20tipos,cual%20configura%20una%20fisiograf%C3%ADa%20compleja>.
- Urbano, K., & Vargas, M. (2019). El estado de condición de una carretera no pavimentada y los tipos de intervención, aplicando MTC, URCI, TMH-12 de la ruta LM –580. Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú.
- Villón, M. (2004). Hidrología. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Vite, E. (2019). Mejoramiento de capacidad de soporte del suelo de fundación por incorporación de sistema de subdrenaje en el km 8+500 al km 9+500 con problemas de filtraciones en la carretera Alto Chira - Sullana – Piura. Universidad Nacional de Piura, Piura-Perú.
- Wu, H., Yao, C., Li, C., Miao, M., Zhong, Y., Lu, Y., & Liu, T. (2020). Review of application and innovation of geotextiles in geotechnical engineering. *Materials*, 13(7), 1774. doi:<https://doi.org/10.3390/ma13071774>
- Zaborskaya, O., Nikitin, A., & Nevzorov, A. (2017). Filter design impact on drainpipe water intake capacity. Paper presented at the MATEC Web of Conferences, 106.

ANEXOS

¿Como evaluamos el geocompuesto para cumplir con las condiciones de la zona de estudio?	Evaluar el geocompuesto para cumplir con las condiciones de la zona de estudio	Al evaluar el geocompuesto se cumple con las condiciones de la zona de estudio	X ₂	Evaluaciones	Resistencia a la compresión	ASTM D4595	<u>POBLACIÓN:</u> Carretera ubicada en el cruce Tarapoto – Sisa, en el km 36 – Santa Martha, Distrito de Santa Rosa, Provincia El Dorado, departamento de San Martín <u>MUESTRA:</u> KM 6+000 - 7+000 de la carretera ubicada en el cruce Tarapoto – Sisa, en el km 36 – Santa Martha, Distrito de Santa Rosa, Provincia El Dorado, departamento de San Martín
			Y ₂	Geocompuestos	Resistencia a la tensión		
¿Cuál es el valor del diámetro de tubería para conducir el flujo del agua infiltrada aplicando la metodología de Manning?	Calcular el diámetro de tubería para conducir el flujo del agua infiltrada aplicando la metodología de Manning.	Al calcular el diámetro de la tubería se conduce el flujo del agua infiltrada aplicando la metodología de Manning.	X ₃	Sistema de subdrenaje			<u>TÉCNICA RECOLECCIÓN DATOS:</u> Observación, documentos
			Y ₃	Diámetro de tubería			

Anexo 02: Análisis en hojas de Microsoft Excel

Datos

Años	PP Max. 24hrs
1972	69.5
1973	69.1
1974	59.7
1975	65.1
1976	60.0
1977	76.3
1978	89.5
1979	172.0
1980	85.7
1981	50.9
1982	63.4
1983	122.1
1984	81.4
1985	57.3
1986	58.0
1987	75.2
1988	79.7
1989	81.8
1990	88.0
1991	75.4
1992	79.0
1993	76.2
1994	82.4
1995	108.5
1996	79.8
1997	93.8
1998	75.8
1999	65.5
2000	72.4
2001	128.9
2002	50.5
2003	109.5
2004	57.8
2005	60.2
2006	69.5
2007	124.0
2008	76.3
2009	73.6
2010	123.1
2011	83.2
2012	92.7
2013	72.2
2014	41.5

Paso 1: Cálculo del promedio de precipitaciones y varianza

Promedio	80.85 mm
S	24.80 mm

Paso 2: Fórmula de Ven Te Chow

$$K_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left[0.577 + \ln \ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]$$

Seleccionamos los años, los cuáles bordean a nuestro Tr.

Tr (años)	Kt
5	0.719
10	1.305
15	1.635
20	1.866
25	2.044
50	2.592

Paso 3: Fórmula de Ven Te Chow $x = k + k\sigma_x$

Tr (años)	Kt	PP(mm)
5	0.719	98.69
10	1.305	113.21
15	1.635	121.39
20	1.866	127.13
25	2.044	131.54
50	2.592	145.15

Paso 4: Método de Dick Peschke

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25}$$

Tr (años)	Precipitaciones(mm)						
	15	30	60	75	90	105	120
5	31.530	37.496	44.590	47.148	49.347	51.286	53.027
10	36.166	43.009	51.147	54.081	56.603	58.827	60.824
15	38.782	46.120	54.846	57.993	60.697	63.082	65.224
20	40.614	48.298	57.437	60.732	63.564	66.061	68.304
25	42.025	49.976	59.432	62.841	65.772	68.356	70.677
50	46.370	55.144	65.578	69.340	72.574	75.425	77.985

Paso 5: Tabla de Intensidades (mm/hr)

Tr (años)	Intensidades (mm/hr)						
	15	30	60	75	90	105	120
5	126.120	74.991	44.590	37.719	32.898	29.306	26.513
10	144.666	86.019	51.147	43.265	37.736	33.616	30.412
15	155.129	92.240	54.846	46.394	40.465	36.047	32.612
20	162.455	96.596	57.437	48.585	42.376	37.749	34.152
25	168.098	99.952	59.432	50.273	43.848	39.061	35.338
50	185.482	110.288	65.578	55.472	48.382	43.100	38.993

Paso 6: Regresión lineal

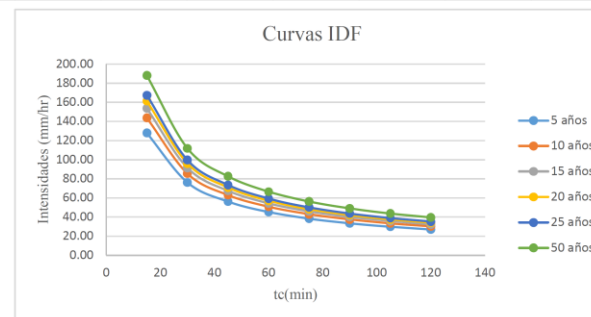
Paso 7: Cálculo de k, m y n

K	744.5324
m	0.1674
n	0.7500

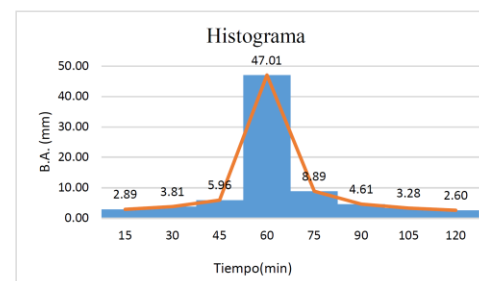
Paso 8: Curva de Intensidad-duración-frecuencia

$$I = \frac{K T^m}{t^n}$$

Tr	Intensidades (mm/hr)							
	15	30	45	60	75	90	105	120
5 años	127.89	76.04	56.10	45.21	38.25	33.36	29.72	26.88
10 años	143.62	85.40	63.01	50.78	42.95	37.46	33.37	30.19
15 años	153.71	91.40	67.43	54.34	45.97	40.09	35.72	32.31
20 años	161.29	95.91	70.76	57.03	48.24	42.07	37.48	33.91
25 años	167.43	99.56	73.45	59.20	50.07	43.67	38.91	35.20
50 años	188.03	111.80	82.49	66.48	56.23	49.05	43.69	39.53



d(min)	d(hr)	I(mm/hr)	PP(mm)	PPint.d (mm)	B.A.(mm)	Q(m3/s)
15	0.25	188.03	47.01	47.01	2.89	0.0016
30	0.50	111.80	55.90	8.89	3.81	0.0010
45	0.75	82.49	61.87	5.96	5.96	0.0011
60	1.00	66.48	66.48	4.61	47.01	0.0064
75	1.25	56.23	70.29	3.81	8.89	0.0010
90	1.50	49.05	73.57	3.28	4.61	0.0004
105	1.75	43.69	76.46	2.89	3.28	0.0003
120	2.00	39.53	79.06	2.60	2.60	0.0002



Progresiva: 6+000-6+200

ESTIMACION DEL CAUDAL

Vida Util (años)	15
Riesgo (%)	40
Area (km2)	0.0014
Ldrenaje (m)	200.00
S(%)	0.38
Tr(años)	30
Tc (minutos)	9.616

K	744.53
m	0.17
n	0.75
Intensidad (mm/hr)	240.95

$$I = \frac{K T^m}{t^n} \quad (17)$$

Donde:

I = Intensidad máxima (mm/h)

K, m, n = factores característicos de la zona de estudio

T = periodo de retorno en años

t = duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min)

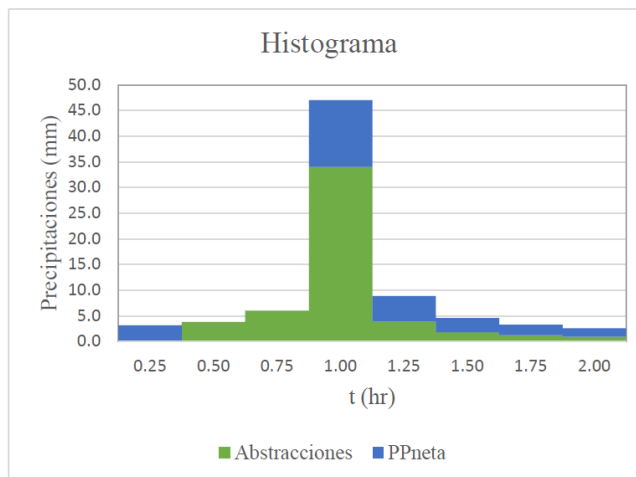
CN	74
S(mm)	89.24
Ia(mm)	17.85

Pastizales Optimas, Grupo C

B.A(mm)	∑PP	∑PP neta	PP neta(mm)	Abst(mm)
2.891	2.891	3.012	3.012	0.121
3.814	6.705	1.590	0	3.814
5.964	12.668	0.319	0	5.964
47.008	59.677	13.348	13.029	33.979
8.894	68.571	18.381	5.033	3.861
4.613	73.184	21.179	2.798	1.816
3.278	76.462	23.236	2.057	1.221
2.596	79.058	24.902	1.666	0.929
			∑Abs.	51.706

Q(m3/s)	0.033
Volumen (m3)	38.63277717

PPtotal (mm)	79.06
Ppneta.total(mm)	27.595
C	0.349



Para el diseño del drenaje sub-superficial por tramos

QNF	0.00066667 m3/s	Nd=D	1.50 m
K	0.00001000 m/s	Nf=d	0.50 m
i	0.333	B	3.00 m
Aa	200.00 m2	L	200.00 m

Metodo de Diseño con geosinteticos - PAVCO

Qinf	0.0040 m3/s	<>	4.02 l/s
I =	240.95 mm/hr	<>	6.693E-05 m/s
B =	3.00		
L =	200.00		
Fi =	0.40		
Fr =	0.25		

Manning Circular

q diseño	0.00468 m3/s	<>	4.682 Lt/s
n	0.013 FUENTE MTC		

D =	0.1028 m	<>	4.05 pulg
-----	----------	----	-----------

Progresiva: 6+200-6+400

ESTIMACION DEL CAUDAL

Vida Util (años)	15
Riesgo (%)	40
Area (km2)	0.0014
Ldrenaje (m)	200.00
S(%)	0.63
Tr(años)	30
Tc (minutos)	7.882

K	744.53
m	0.17
n	0.75
Intensidad (mm/hr)	279.70

$$I = \frac{K T^m}{t^n} \quad (17)$$

Donde:

I = Intensidad máxima (mm/h)

K, m, n = factores característicos de la zona de estudio

T = período de retorno en años

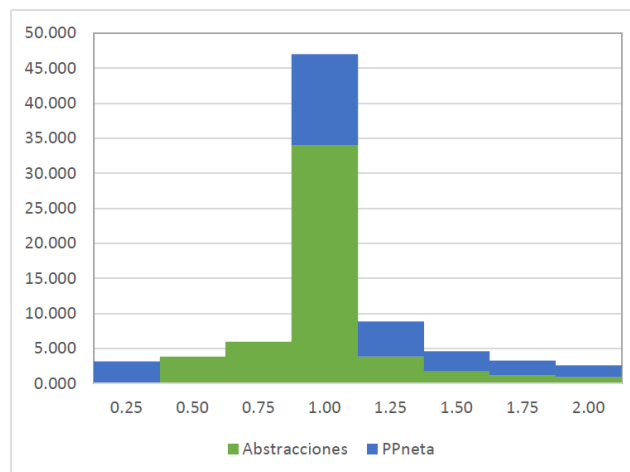
t = duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min)

CN	74	Pastizales Optimas, Grupo C
S(mm)	89.24	
Ia(mm)	17.85	

B.A(mm)	∑PP	∑PP neta	PP neta(mm)	Abst(mm)
2.891	2.891	3.012	3.012	0.121
3.814	6.705	1.590	0	3.814
5.964	12.668	0.319	0	5.964
47.008	59.677	13.348	13.029	33.979
8.894	68.571	18.381	5.033	3.861
4.613	73.184	21.179	2.798	1.816
3.278	76.462	23.236	2.057	1.221
2.596	79.058	24.902	1.666	0.929
			∑Abs.	51.706

Q(m3/s)	0.038
Volumen (m3)	38.63277717

PPtotal (mm)	79.06
Ppneto.total(mm)	27.595
C	0.349



Para el diseño del drenaje sub-superficial por tramos

QNF	0.00066667 m3/s	Nd=D	1.50 m
K	0.00001000 m/s	Nf=d	0.50 m
i	0.333	B	3.00 m
Aa	200.00 m2	L	200.00 m

Metodo de Diseño con geosinteticos - PAVCO

Qinf	0.0047 m3/s	<>	4.66 l/s
I =	279.70 mm/hr	<>	7.76934E-05 m/s
B =	3.00		
L =	200.00		
Fi =	0.40		
Fr =	0.25		

Manning Circular

q diseño	0.00533 m3/s	<>	5.328 Lt/s
n	0.013 FUENTE MTC		
D =	0.0979 m	<>	3.85 pulg

Progresiva: 6+400-6+600

ESTIMACION DEL CAUDAL

Vida Util (años)	15
Riesgo (%)	40
Area (km2)	0.0014
Ldrenaje (m)	200.00
S(%)	0.47
Tr(años)	30
Tc (minutos)	8.864

K	744.53
m	0.17
n	0.75
Intensidad (mm/hr)	256.11

CN	74
S(mm)	89.24
Ia(mm)	17.85

Pastizales Optimas, Grupo C

B.A(mm)	∑PP	∑PP neta	PP neta(mm)	Abst(mm)
2.891	2.891	3.012	3.012	0.121
3.814	6.705	1.590	0	3.814
5.964	12.668	0.319	0	5.964
47.008	59.677	13.348	13.029	33.979
8.894	68.571	18.381	5.033	3.861
4.613	73.184	21.179	2.798	1.816
3.278	76.462	23.236	2.057	1.221
2.596	79.058	24.902	1.666	0.929
			∑Abs.	51.706

$$I = \frac{K T^m}{t^n} \quad (17)$$

Donde:

I = Intensidad máxima (mm/h)

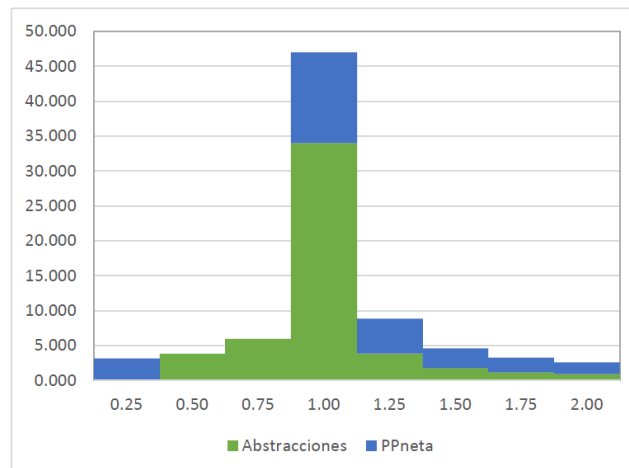
K, m, n = factores característicos de la zona de estudio

T = período de retorno en años

t = duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min)

Q(m3/s)	0.035
Volumen (m3)	38.63277717

PPtotal (mm)	79.06
Ppneta.total(mm)	27.595
C	0.349



Para el diseño del drenaje sub-superficial por tramos

QNF	0.00066667 m3/s	Nd=D	1.50 m
K	0.00001000 m/s	Nf=d	0.50 m
i	0.333	B	3.00 m
Aa	200.00 m2	L	200.00 m

Metodo de Diseño con geosinteticos - PAVCO

Qinf	0.0043 m3/s	<>	4.27 l/s
I =	256.11 mm/hr	<>	7.11418E-05 m/s
B =	3.00		
L =	200.00		
Fi =	0.40		
Fr =	0.25		

Manning Circular

q diseño	0.00494 m3/s	<>	4.935 Lt/s
n	0.013 FUENTE MTC		

D =	0.1007 m	<>	3.97 pulg
-----	----------	----	-----------

Progresiva: 6+600-6+800

ESTIMACION DEL CAUDAL

Vida Útil (años)	15
Riesgo (%)	40
Area (km2)	0.0014
Ldrenaje (m)	200.00
S(%)	1.22
Tr(años)	30
Tc (minutos)	6.136

K	744.53
m	0.17
n	0.75
Intensidad (mm/hr)	337.49

$$I = \frac{K T^m}{t^n} \quad (17)$$

Donde:

I = Intensidad máxima (mm/h)

K, m, n = factores característicos de la zona de estudio

T = período de retorno en años

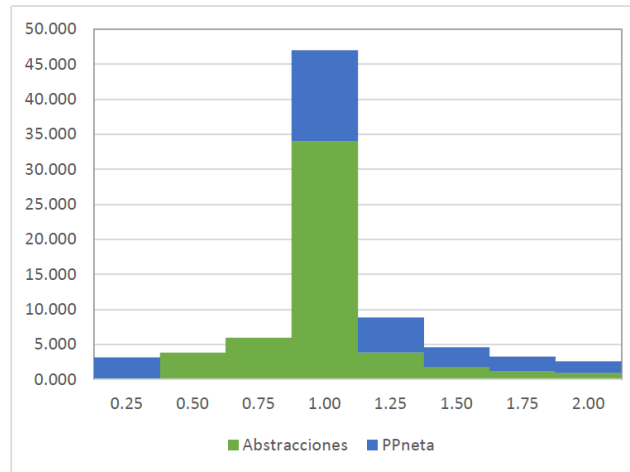
t = duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min)

CN	74	Pastizales Optimas, Grupo C
S(mm)	89.24	
Ia(mm)	17.85	

B.A(mm)	∑PP	∑PP neta	PP neta(mm)	Abst(mm)
2.891	2.891	3.012	3.012	0.121
3.814	6.705	1.590	0	3.814
5.964	12.668	0.319	0	5.964
47.008	59.677	13.348	13.029	33.979
8.894	68.571	18.381	5.033	3.861
4.613	73.184	21.179	2.798	1.816
3.278	76.462	23.236	2.057	1.221
2.596	79.058	24.902	1.666	0.929
			∑Abs.	51.706

Q(m3/s)	0.046
Volumen (m3)	38.63277717

PPtotal (mm)	79.06
Ppneto.total(mm)	27.595
C	0.349



Para el diseño del drenaje sub-superficial por tramos

QNF	0.00066667 m3/s	Nd=D	1.50 m
K	0.00001000 m/s	Nf=d	0.50 m
i	0.333	B	3.00 m
Aa	200.00 m2	L	200.00 m

Metodo de Diseño con geosinteticos - PAVCO

Qinf	0.0056 m3/s	<>	5.62 l/s
I =	337.49 mm/hr	<>	9.37476E-05 m/s
B =	3.00		
L =	200.00		
Fi =	0.40		
Fr =	0.25		

Manning Circular

q diseño	0.00629 m3/s	<>	6.292 Lt/s
n	0.013 FUENTE MTC		

D =	0.0922 m	<>	3.63 pulg
-----	----------	----	-----------

Progresiva: 6+800-7+000

ESTIMACION DEL CAUDAL

Vida Util (años)	15
Riesgo (%)	40
Area (km2)	0.0014
Ldrenaje (m)	200.00
S(%)	0.98
Tr(años)	30
Tc (minutos)	6.666

K	744.53
m	0.17
n	0.75
Intensidad (mm/hr)	317.14

$$I = \frac{K T^m}{t^n} \quad (17)$$

Donde:

I = Intensidad máxima (mm/h)

K, m, n = factores característicos de la zona de estudio

T = período de retorno en años

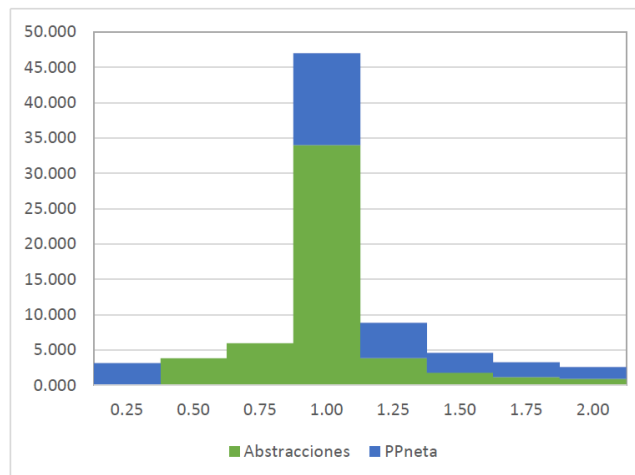
t = duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min)

CN	74	Pastizales Optimas, Grupo C
S(mm)	89.24	
Ia(mm)	17.85	

B.A(mm)	∑PP	∑PP neta	PP neta(mm)	Abst(mm)
2.891	2.891	3.012	3.012	0.121
3.814	6.705	1.590	0	3.814
5.964	12.668	0.319	0	5.964
47.008	59.677	13.348	13.029	33.979
8.894	68.571	18.381	5.033	3.861
4.613	73.184	21.179	2.798	1.816
3.278	76.462	23.236	2.057	1.221
2.596	79.058	24.902	1.666	0.929
			∑Abs.	51.706

Q(m3/s)	0.043
Volumen (m3)	38.63277717

PPtotal (mm)	79.06
Ppneta.total(mm)	27.595
C	0.349



Para el diseño del drenaje sub-superficial por tramos

QNF	0.00066667 m3/s	Nd=D	1.50 m
K	0.00001000 m/s	Nf=d	0.50 m
i	0.333	B	3.00 m
Aa	200.00 m2	L	200.00 m

Metodo de Diseño con geosinteticos - PAVCO

Qinf	0.0053 m3/s	<>	5.29 l/s
I =	317.14 mm/hr	<>	8.80958E-05 m/s
B =	3.00		
L =	200.00		
Fi =	0.40		
Fr =	0.25		

Manning Circular

q diseño	0.00595 m3/s	<>	5.952 Lt/s
n	0.013 FUENTE MTC		

D =	0.0941 m	<>	3.70 pulg
-----	----------	----	-----------

Anexo 03: Resultados del software Macflow

Progresiva: 6+000-6+200

MACFLOW Road Works | Deep Trenches Design

Entrada

Informaciones de Proyecto

Datos del Suelo

Geometría del Sistema

Espesor total de la estructura del par: 0.375
 Profundidad de trinchera [m]: 1.5
 Distancia entre trincheras [m]: 7
 Mínimo descenso del agua subterránea: 1
 Grado de la autopista / Tubo [%]: 0.4%

Sistema de Drenaje

Factores de Reducción MacDrain

RF_{res} [RESP]: 1.5
 RF_{ge} [Integración del Geotextil]: 1.2
 RF_{qu} [Cimentación Química]: 3
 RF_{bi} [Cimentación Biológica]: 1.2
 Factor de seguridad del tubo: 1.5

Factores de Reducción de Grava + Geotextil

Resultados

Descarga: >3.00 Satisfactorio Descenso del agua subterránea: 1.07 Satisfactorio

Cálculos de Descarga

Tiempo para equilibrar [h/m ³ /s]	01:10:12
Descarga requerida por la trinchera [(h ³ /m)	15.48
Coefficiente de empuje en reposo, Ko	0.66
Tensión soportada a MacDrain® [kPa]	17.77
Descarga admisible en MacDrain® [(h ³ /m)	1,288.73
Factor de Reducción Global	6.48
Descenso calculado de aguas subterráneas [m], d	1.07
Descarga admisible / Descarga necesaria	83.27

Cálculos de tubo

Longitud máxima [m]	283.80
Longitud admisible [m]	255.86
Grado de la autopista [%]	0.4%
MacPipe [mm]	100

Activar Windows
Ve a Configuración para activar Windows.

Progresivas: 6+200-6+400 y 6+400-6+600

MACFLOW Road Works | Deep Trenches Design

Entrada

Informaciones de Proyecto

Datos del Suelo

Geometría del Sistema

Espesor total de la estructura del par: 0.375
 Profundidad de trinchera [m]: 1.5
 Distancia entre trincheras [m]: 7
 Mínimo descenso del agua subterránea: 1
 Grado de la autopista / Tubo [%]: 0.5%

Sistema de Drenaje

Factores de Reducción MacDrain

RF_{res} [RESP]: 1.5
 RF_{ge} [Integración del Geotextil]: 1.2
 RF_{qu} [Cimentación Química]: 3
 RF_{bi} [Cimentación Biológica]: 1.2
 Factor de seguridad del tubo: 1.5

Factores de Reducción de Grava + Geotextil

Resultados

Descarga: >3.00 Satisfactorio Descenso del agua subterránea: 1.07 Satisfactorio

Cálculos de Descarga

Tiempo para equilibrar [h/m ³ /s]	01:10:12
Descarga requerida por la trinchera [(h ³ /m)	15.48
Coefficiente de empuje en reposo, Ko	0.66
Tensión soportada a MacDrain® [kPa]	17.77
Descarga admisible en MacDrain® [(h ³ /m)	1,288.73
Factor de Reducción Global	6.48
Descenso calculado de aguas subterráneas [m], d	1.07
Descarga admisible / Descarga necesaria	83.27

Cálculos de tubo

Longitud máxima [m]	427.99
Longitud admisible [m]	285.33
Grado de la autopista [%]	0.5%
MacPipe [mm]	100

Activar Windows
Ve a Configuración para activar Windows.

Progresivas: 6+600-6+800 y 6+800-7+000

MACFLOW Road Works | Deep Trenches Design

MACCAFERRI

Entrada Resultados

Descarga Descenso del agua subterránea

>3.00 Satisfactorio 1.07 Satisfactorio

Cálculos de Descarga

Tiempo para equilibrar [(h)/(mm/s)]	01:10:12
Descarga requerida por la trinchera [(l/h)/m]	15.48
Coefficiente de empuje en reposo, k_0	0.66
Tensión soportada a MacDrain® [kPa]	17.77
Descarga admisible en MacDrain® [(l/h)/m]	1,288.73
Factor de Reducción Global	6.48
Descenso calculado de aguas subterráneas [m], d	1.07
Descarga admisible / Descarga necesaria	83.27

Cálculos de tubo

Longitud máxima [m]	604.77
Longitud admisible [m]	403.18
Grado de la autopista [%]	1.0%
MacPipe [mm]	100

Activar Windows
Ve a Configuración para activar Windows.

Esquema de Sección Transversal en el programa Macflow Road Works

MACFLOW Road Works | Deep Trenches Design

MACCAFERRI

Entrada Resultados

Descarga Descenso del agua subterránea

>3.00 Satisfactorio 1.07 Satisfactorio

Activar Windows
Ve a Configuración para activar Windows.



Firmado digitalmente por MACEDO SALAS Yvette Alejandra FAU 20419026809 soft Sub Director(A) De Catalogación Y Gestión De Usuarios D Motivo: Soy el autor del documento Fecha: 25.11.2022 09:29:57 -05:00

Jesús María, 25 de Noviembre del 2022

MEMORANDO N° D000498-2022-OSCE-SCGU

A : HUGO MILKO ORTEGA POLAR
Responsable de entregar la información de acceso al público

DE : YVETTE ALEJANDRA MACEDO SALAS
Sub Directora de Catalogación y Gestión de Usuarios del SEACE

ASUNTO : Respuesta a solicitud de acceso a la información pública

REFERENCIA : Memorando N° 000892-2022-OSCE-TRANSPARENCIA.

Me dirijo a usted en atención al documento de la referencia, a través del cual trasladó el requerimiento del señor ROGER RONALDO PARI PACHAS, quien solicita a este Organismo Técnico Especializado la siguiente información:

"solicitar la autorización del uso de información del proyecto: "CREACIÓN DE LA CARRETERA A NIVEL DE BICAPA DESDE EL CRUCE CARRETERA TARAPOTO-SISA EN EL KM 36-SANTA MARTHA HASTA LA LOCALIDAD DE NUEVO SANTA ROSA, DISTRITO DE SANTA ROSA - PROVINCIA DE EL DORADO - DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN", CÓDIGO SNIP: 2488337 Siendo esta información publicada en la sección de convocatorias de la página web del SEACE. Y por ser un documento elaborado por el Gobierno Regional de San Martín, se cree pertinente solicitarle la autorización directamente al Sistema electrónico de contrataciones del estado (SEACE)"

Al respecto, de la búsqueda realizada en el Sistema Electrónico de Contrataciones del Estado (SEACE), se verifica que el GOBIERNO REGIONAL DE SAN MARTIN SEDE CENTRAL convocó el procedimiento de selección LP-SM-15-2022-GRSM/CS-1 para la "EJECUCIÓN DE LA OBRA: CREACIÓN DE LA CARRETERA A NIVEL DE BICAPA DESDE EL CRUCE CARRETERA TARAPOTO-SISA EN EL KM 36-SANTA MARTHA HASTA LA LOCALIDAD DE NUEVO SANTA ROSA, DISTRITO DE SANTA ROSA - PROVINCIA DE EL DORADO - DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN", cuya ficha de selección, Bases Administrativas, Pliego de absolución de consultas y observaciones, Bases Integradas, Pronunciamiento del OSCE, Bases Integradas Definitivas, Documentos de Presentación de Propuestas, Documentos de Calificación y Evaluación, Documentos de Otorgamiento de Buena Pro, Ofertas y Contratos, puede ser visualizada y descargada, de forma libre y gratuita, a través del buscador del portal



Firmado digitalmente por PEÑA TUDELANO Victor FAU 20419026809 soft Motivo: Doy V° B° Fecha: 25.11.2022 09:05:25 -05:00



Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Organismo Supervisor de las Contrataciones del Estado aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://sgdvirtual.osce.gob.pe/validadorDocumental/inicio/detalle.jsf> e ingresando la siguiente clave: CCFZNNWW



del SEACE (<https://prodapp2.seace.gob.pe/seacebus-uiwd-pub/buscadorPublico/buscadorPublico.xhtml>), en la sección "Buscador de Procedimientos de Selección"

Sin perjuicio alguno de ello, se remite adjunto¹ al presente, la ficha de selección, Bases Administrativas, Pliego de absolución de consultas y observaciones, Bases Integradas, Pronunciamiento del OSCE, Bases Integradas Definitivas, Documentos de Presentación de Propuestas, Documentos de Calificación y Evaluación, Documentos de Otorgamiento de Buena Pro, Ofertas y Contratos del postor CONSORCIO VIAL SISA integradas por HOUSE BUSSINES S.A.C con RUC 20452477671 y CHIKAN QHARI CONSTRUCTORES Y SERVICIOS GENERALES S.A.C con RUC 20560034289.

Finalmente, en el numeral 7.3 de la Directiva N° 003-2020-OSCE/CD (DISPOSICIONES APLICABLES PARA EL ACCESO Y REGISTRO DE INFORMACIÓN EN EL SISTEMA ELECTRÓNICO DE CONTRATACIONES DEL ESTADO - SEACE) se precisa "El registro de información en el SEACE se efectúa en el marco de los principios de transparencia y publicidad que rigen las contrataciones públicas, dicha información es de acceso libre y gratuito a través del SEACE, de acuerdo a lo establecido en la Ley, regímenes especiales y demás normativa aplicable"

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente,

DOCUMENTO FIRMADO DIGITALMENTE
YVETTE ALEJANDRA MACEDO SALAS
Sub Directora de Catalogación y Gestión de Usuarios del SEACE

YMS/vpt

cc.: DIRECCIÓN DEL SEACE

¹ Debido al volumen de la información se remitió al correo <transparencia@osce.gob.pe>