



# **UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA**

### **PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**

Diseño de geodrenes como sistema de subdrenaje en un pavimento rígido para evacuar las aguas pluviales en el Km 14+000 al Km 15+000 de la carretera SM-107 del distrito de Picota, San Martín

### **TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

#### **AUTOR(ES)**

Oriondo Utrilla, Cristina Milagros	0000-0003-1098-3752
Corman Alvarez, Jessi Yanella	0000-0002-6988-5391

#### **ASESOR(ES)**

Santos Hurtado De Bazan, Sissi Carmen	0000-0001-6773-8761
---------------------------------------	---------------------

**Lima, 10 de noviembre de 2023**

## RESUMEN

Actualmente, en la zona de estudio, no se encuentra un buen sistema de subdrenaje para las fuertes lluvias presente a lo largo de los años, por lo cual se plantea elaborar una propuesta que mejore la evacuación de estas aguas, debido a que la estructura del pavimento a lo largo de los años podría deteriorarse y traer daños en la infraestructura.

El objetivo principal de esta tesis es diseñar geodrenes como sistema de subdrenaje en un pavimento rígido para mejorar la evacuación de las aguas pluviales en el Km 14+000 al Km 15+000 de la carretera SM-107 del distrito de Picota, San Martín.

Para llegar al objetivo del trabajo de investigación se recolectó datos topográficos, estudio de suelos y estudio de tráfico. Además, se usó la metodología AASHTO 93 para el diseño del pavimento rígido y el manual del software de la empresa PAVCO para el diseño de los geodrenes con el fin de encontrar el diámetro adecuado de las tuberías a utilizar.

Se obtuvo como resultado, los espesores del pavimento rígido, 22 cm tiene la losa de concreto y la subbase 15 cm. Asimismo, se obtuvo una sección transversal de profundidad  $H = 1.00$  m y ancho de  $A = 0.6$  m, con un tipo de geotextil no tejido punzonado por agujas que servirán como el medio filtrante y una tubería perforada de 160 mm.

Palabras clave: Subdrenaje, pavimento rígido, geodren, geocompuesto, aguas pluviales.

## **ABSTRACT**

Currently, in the study area, there is no good subdrainage system for heavy rains present over the years, which is why it is proposed to develop a proposal that improves evacuation of these waters, because the structure of the Pavement over the years could deteriorate and cause damage to the infrastructure.

The main objective of this thesis is to design geodrains as a subdrainage system in a rigid pavement to evacuate rainwater from Km 14+000 al Km 15+000 of the SM-107 highway in the district of Picota, San Martín

To reach the objective of the research work, topographic data, soil study and traffic study were collected. In addition, AASHTO 93 methodology was used for design of rigid pavement and the manual with PAVCO company software for the design of geodrains to find appropriate diameter of pipes to be used.

As a result, thickness of rigid pavement was obtained, the concrete slab is 22 cm and subbase are 15 cm. Likewise, a cross section of depth  $H = 1.00$  m and width of  $A = 0.6$  m was obtained, with a type of needle-punched non-woven geotextile that will serve as filter medium and a 160 mm perforated pipe.

Keywords: Subdrainage, rigid pavement, geodrain, geocomposite, rainwater.

u201719589\_Oriondo Utrilla, Cristina Milagros\_Diseño de geodrenes como sistema de subdrenaje en un pavimento rígido para evacuar las aguas pluviales en el Km 14+000 al Km 15+000 de la carretera SM-107

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego</b> Trabajo del estudiante	<b>2%</b>
<b>4</b>	<b>repositorio.upao.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>upc.aws.openrepository.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>qdoc.tips</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>8</b>
1.1    PAVIMENTO RÍGIDO .....	8
1.1.1.    Definición .....	8
1.1.2.    Diseño.....	8
1.2.    DRENAJE DE PAVIMENTOS .....	9
1.2.1.    Tipos de drenajes .....	9
1.3.    GEODRENES VIALES.....	10
1.3.1.    Ventajas y beneficios.....	10
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA</b> .....	<b>11</b>
2.1.    PROCEDIMIENTO.....	11
2.2.    FLUJOGRAMA .....	12
<b>CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA TESIS</b> .....	<b>13</b>
3.1.    CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	13
3.2.    PRECIPITACIONES MÁXIMAS MENSUALES .....	15
3.3.    DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO.....	28
3.4.    DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE.....	37
3.5.    EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE.....	41
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	<b>45</b>
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES</b> .....	<b>48</b>
<b>CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES</b> .....	<b>49</b>
<b>CAPÍTULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>50</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>53</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Características de las calicatas.....	15
<b>Tabla 2</b> Precipitaciones mensuales del año 1963 a 2014.....	15
<b>Tabla 3</b> Precipitaciones máximas mensuales.....	17
<b>Tabla 4</b> Prueba “T” de Student.....	19
<b>Tabla 5</b> Prueba “F” de Fisher.....	20
<b>Tabla 6</b> Corrección de las precipitaciones máximas mensuales.....	20
<b>Tabla 7</b> Precipitaciones máximas anuales en 24 horas.....	22
<b>Tabla 8</b> Precipitaciones máximas para los periodos de retorno de 5, 25, 50, 100 y 200 años .....	23
<b>Tabla 9</b> Coeficientes de duración lluvias.....	24
<b>Tabla 10</b> Precipitaciones máximas para los diferentes tiempos de duración de lluvias.....	24
<b>Tabla 11</b> Intensidades para los diferentes años de retorno.....	25
<b>Tabla 12</b> Intensidades para el tiempo de retorno de 2, 5, 25, 50 y 100 años.....	27
<b>Tabla 13</b> Caudales mediante el método racional.....	28
<b>Tabla 14</b> Datos del diseño.....	30
<b>Tabla 15</b> Resumen de datos para el cálculo del diseño.....	36
<b>Tabla 16</b> Valores recomendados para $F_i$ y $F_R$ .....	38
<b>Tabla 17</b> Espesor del pavimento.....	45
<b>Tabla 18</b> Verificación de diámetros para la tubería.....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Ubicación de zonas afectadas .....	2
<b>Figura 2</b> Sección típica de un subdrén.....	10
<b>Figura 3</b> Flujograma de la investigación .....	12
<b>Figura 4</b> Eje proyectado.....	13
<b>Figura 5</b> Estaciones meteorológicas en San Martín .....	14
<b>Figura 6</b> Histograma de la precipitación total mensual en milímetros.....	19
<b>Figura 7</b> Curvas IDF .....	26
<b>Figura 8</b> Coeficientes de escorrentía método racional .....	27
<b>Figura 9</b> Relación de cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) para pavimentos rígidos.....	28
<b>Figura 10</b> Factores de Distribución Direccional y de Carril para determinar el Tránsito en el Carril de diseño.....	29
<b>Figura 11</b> Diferencial de Serviciabilidad según del rango de tráfico .....	31
<b>Figura 12</b> Nivel de confiabilidad (R) y desviación estándar normal ( $Z_r$ ) según rango de tráfico.....	32
<b>Figura 13</b> CBR mínimos recomendados para la subbase granular.....	33
<b>Figura 14</b> Valores recomendados de resistencia de concreto .....	34
<b>Figura 15</b> Coeficiente de drenaje.....	35
<b>Figura 16</b> Valores de coeficiente de transmisión de carga .....	35
<b>Figura 17</b> Especificaciones del Geotextil No Tejido.....	39
<b>Figura 18</b> Nomograma para el cálculo del diámetro de tubería a usar.....	41
<b>Figura 19</b> Parámetros del caudal .....	42
<b>Figura 20</b> Selección del geodren vial .....	42
<b>Figura 21</b> Parámetros de diseño del geodren.....	43
<b>Figura 22</b> Resultados del diseño.....	43
<b>Figura 23</b> Diseño del geodren .....	44
<b>Figura 24</b> Detalles del pavimento rígido .....	45
<b>Figura 25</b> Esquema final de diseño .....	46
<b>Figura 26</b> Sección transversal del geodren.....	46

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> Especificaciones Técnicas del Geodren Vial.....	53
<b>Anexo 2</b> Factores de reducción para geotextiles aplicados como drenaje .....	54

## INTRODUCCIÓN

### Contexto

Los problemas de aguas subterráneas en las carreteras surgen de la saturación incontrolada y del desarrollo de presiones de poros inesperadas. Aquí la acción capilar del agua juega un papel fundamental. Es por eso por lo que la mejor alternativa actual para el control de la estabilidad vial es instalar drenajes subterráneos que mantengan el agua subterránea alejada de las estructuras principales y/o del subsuelo. Los subdrenajes son convenientes, pero en muchos casos tiene un coste elevado; sin embargo, los beneficios a corto o largo plazo que proporciona el subdrenaje son óptimos. La importancia de la vía de acuerdo con lo económico y cultural debe determinar la medición de la frecuencia e intensidad de la aplicación del subdrenaje (Naranjo & Alvarado, 2012).

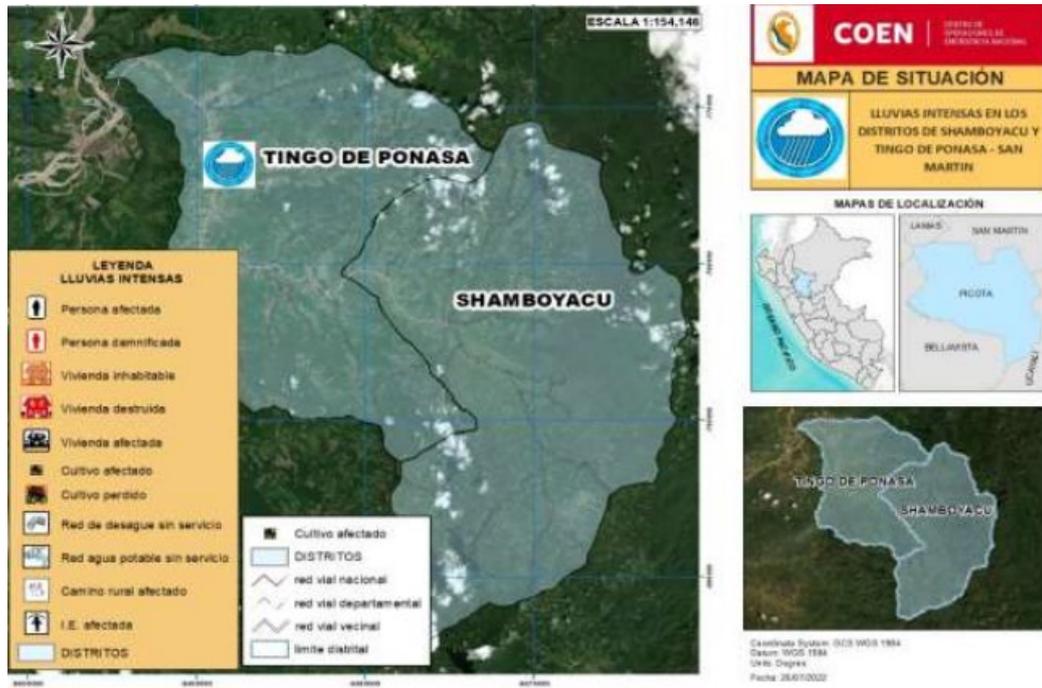
### Antecedentes

El Instituto Nacional de Defensa Civil informa que el departamento de San Martín presenta peligro por fuertes lluvias, inundaciones y deslizamientos en la tierra (Andina, 2023). Asimismo, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, 2023b) menciona que las intensas lluvias están acompañadas de descargas eléctricas y vientos con velocidades superiores a los 35 kilómetros por hora. Además, las precipitaciones acumuladas son superiores a los 40 mm/día en los bosques del sur, cercanas a los 45 mm/día en los bosques centrales y valores superiores a los 50 mm/día en los bosques del norte.

La zona de estudio a escoger se encuentra en la provincia y distrito de Picota del departamento mencionado en el párrafo anterior. El distrito de Picota cuenta con antecedentes de lluvias intensas, el último caso registrado fue el año pasado donde hubo incremento del caudal y el desborde del río Ponaza debido a las intensas lluvias. Asimismo, se activaron dos quebradas, Umasapa y Mishquiyacu, esto trajo como consecuencias daños en las viviendas, establecimientos de salud, instituciones educativas, infraestructura y áreas de cultivo. Ese mismo año, hubo viviendas afectadas debido a temporales en el distrito de Shamboyacu, provincia de Picota tal como se aprecia en la figura 1 (Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI], 2023).

## Figura 1

### Ubicación de zonas afectadas



*Nota.* La imagen muestra las zonas afectadas en la provincia de Picota. De "Lluvias intensas en la provincia de Picota - San Martín", por INDECI, 2022 (<https://acortar.link/wQN20G>).

### Delimitación

- Delimitación técnica: Diseñar un sistema de subdrenaje (Geodren) para evacuar las aguas pluviales que se encuentran en el suelo de la carretera.
- Delimitación geográfica: Para realizar esta investigación se emplearon datos de estudios de suelos y estudio de tráfico de una obra pública por el Sistema Electrónico de contrataciones del Estado (SEACE)
- Delimitación temporal: El período en el que se realizó la presente investigación fue entre los meses de agosto 2023 - diciembre 2023.

### Características

Las investigaciones sugieren que, a menos que se gestione más eficazmente la escorrentía de aguas superficiales, los problemas sólo empeorarán. Las lluvias intensas e inundaciones serán frecuentes según las proyecciones a futuro. De igual forma, se menciona una escasez de agua más frecuente debido al aumento de la demanda (Artica & De la Cruz, 2023).

Debido a ello, se propone en el presente proyecto, en una de las zonas más afectadas, realizar un adecuado diseño de geodrenes como sistema de drenaje en un pavimento rígido en el distrito de Picota. Este sector no cuenta con un sistema de drenaje pluvial que permita la adecuada evacuación de las aguas de lluvia, por lo que se propone una solución óptima al problema.

#### Formulación del Problema

¿Cómo se puede mejorar la evacuación de las aguas pluviales en el Km 14+000 al Km 15+000 de la carretera SM-107 del distrito de Picota, San Martín?

#### Justificación

Se presenta una investigación de relevancia práctica, puesto que con el diseño planteado los conductores que circulen por las vías podrán hacerlo de forma más segura, sin riesgo de inundaciones. Por otro lado, contribuirá a la preservación del medio ambiente, ya que estas aguas se podrán reutilizar para regar áreas verdes, conservando así la flora del distrito Picota, San Martín. Este tipo de pavimento se utiliza en diferentes partes del mundo y sus resultados son óptimos, lo que genera interés en su estudio como un tema nuevo y la posibilidad de su aplicación en nuestro país.

Por último, se presenta una investigación de relevancia social, ya que permite, a través del diseño de pavimentos y subdrenajes pluviales, mejorar la calidad de vida de los comerciantes. Aparte de eso, el gobierno local puede considerarlo como una alternativa de diseño en el futuro, en interés de comerciantes, peatones y conductores.

## Estado del Arte

Kim et al. (2014) menciona que la capacidad de carga y la vida útil de un pavimento se ven afectadas negativamente por la presencia de agua no drenada en las capas del pavimento. En Iowa, lugar donde realizaron su investigación, presentan climas fríos, por ende, el problema se magnifica aún más por el riesgo de daños por heladas cuando hay agua presente. Por lo tanto, los sistemas de drenaje subterráneo de buen rendimiento constituyen un aspecto importante del diseño de pavimentos realizado por el Departamento de Transporte de Iowa (DOT). En consecuencia, se inició un estudio de investigación para realizar una revisión del desempeño de los subdrenajes primarios del pavimento interestatal en Iowa y determinar la causa del problema si había drenajes que no funcionaban adecuadamente. El estudio se centró en las condiciones de salida del drenaje. No recomiendan las barreras malla para los sistemas de subdrenaje de Iowa porque tienden a catalizar el bloqueo de la salida y terminan potencialmente causando más daño. Asimismo, Ponomarev et al. (2019) indican que el subdrenaje es eficaz en suelos con buen coeficiente de filtración y en suelos poco permeables no es tan eficiente ya que su alcance no es suficiente para reducir el contenido de humedad en toda el área desde el drenaje hasta la vía. El artículo aborda un nuevo sistema de drenaje sin cavidades construido directamente debajo de los rieles en el sitio principal de la carretera. En sección transversal, está representado por dos desagües rectangulares sin cavidades. Para analizar la eficiencia del drenaje, los autores aplicaron un método analítico. Determinaron el tiempo de drenaje a niveles de 0,6 y 1 m desde el fondo del drenaje para un sistema de drenaje de dimensiones específicas. Se demostró que el tiempo de drenaje hasta los niveles establecidos no supera los 12 días incluso en las condiciones más adversas, con una infiltración constante de 15 mm/día. Los autores concluyeron que los sistemas de drenaje sin cavidades en suelos poco permeables aumentan significativamente la capacidad de carga de la calzada cuando se utilizan en la zona debajo del riel.

La instalación de un drenaje de grava requiere muchos desembolsos materiales y económicos. Por ello, Cholewa y Plesiński (2021) menciona que los nuevos materiales geocompuestos son una alternativa y facilitan la construcción. El objetivo de la investigación fue comparar las propiedades de drenaje del geocompuesto “Pozidrain” y el drenaje de grava. La prueba del modelo se realizó en un banco de pruebas especialmente preparado. La investigación se realizó para el modelo #1, en el cual se construyó el drenaje de grava. El modelo #2 tenía incorporado un geocompuesto de drenaje. Los resultados de los ensayos muestran los valores del caudal volumétrico para geodrenajes, con un valor máximo de 40

$\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ . Para la capa de grava se registraron valores de hasta  $140 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ . Otro parámetro registrado durante el embalse de agua por el terraplén fue la velocidad de succión del agua por parte del drenaje de geosintéticos y gravas; los valores fueron  $0,067$  y  $0,024 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , respectivamente. La eficiencia del drenaje de agua a través del geocompuesto fue suficiente. Es posible utilizar las pendientes del vertedero para el drenaje, lo que reducirá los desembolsos materiales y económicos. Asimismo, Kalore & Sivakumar Babu (2023) desarrollan un nuevo enfoque basado en el modelo de capacidad de demanda para el diseño hidráulico de capas de drenaje granulares y granulares-geocompuestas en pavimentos. La curva de capacidad corresponde a tasas de infiltración y duraciones críticas para una capa de drenaje que está influenciada por las características hidráulicas y geométricas. El diseño es aceptable si la curva de capacidad excede la curva de demanda. El marco de diseño se ilustra para geometrías típicas de pavimentos de carreteras con tres gradaciones granulares y tres geocompuestos. A partir del marco desarrollado se define y evalúa la equivalencia hidráulica para las capas de drenaje. La reducción permisible del espesor de la capa granular para equivalencia hidráulica se evalúa si el geocompuesto está incrustado en la capa subbase de los pavimentos. Para una gradación óptima basada en características hidráulicas y estructurales, el espesor de la capa granular con geocompuesto se pudo reducir en un 30% en comparación con la capa granular sin geocompuesto, que mostró un rendimiento hidráulico similar. Se muestra la importancia del espesor de la capa de drenaje con geocompuestos en función de la demanda de almacenamiento para satisfacer el requerimiento de drenaje ante eventos de lluvia de alta intensidad y larga duración. Finalmente, Arivalagan et al. (2022) en su artículo evalúan los PVD (drenajes verticales prefabricados) y los geocompuestos en la prevención de la fluidización de la subrasante utilizando un aparato de filtración dinámica (DFA). Los experimentos de laboratorio muestran que la disipación continua de EPWP y la reducción sustancial de la longitud de las rutas de drenaje mediante PVD pueden prevenir la fluidización de la subrasante a poca profundidad, mientras que el geocompuesto puede proporcionar un drenaje superficial adecuado y un confinamiento efectivo en la interfaz lastre/subrasante. Al medir los gradientes excesivos de presión de poro (EPPG) durante la carga cíclica, los resultados de las pruebas revelan de manera convincente el rendimiento prometedor de la combinación PVD-geocompuesto en diferentes condiciones de carga.

## Hipótesis

El diseño de geodrenes como sistema de drenaje en un pavimento rígido es óptimo para evacuar las aguas pluviales en el Km 14+000 al Km 15+000 de la carretera SM-107 del distrito de Picota, San Martín.

## Objetivo General

Diseñar los geodrenes como sistema de subdrenaje en un pavimento rígido para mejorar la evacuación de las aguas pluviales en el Km 14+000 al Km 15+000 de la carretera SM-107 del distrito de Picota, San Martín.

## Objetivos Específicos

- Caracterizar la zona con datos topográficos y meteorológicos.
- Calcular las precipitaciones máximas mensuales.
- Diseñar un pavimento rígido.
- Diseñar el geodren como sistema de subdrenaje.
- Evaluar el sistema de drenaje propuesto.

## Limitaciones del proyecto

Las limitaciones en esta investigación son:

- No se realiza ensayos de laboratorio, por lo que se opta por buscar datos de la zona mediante informes realizado por empresas o institutos.
- Para el diseño del pavimento se basa únicamente en el método empírico AASHTO 93.
- Esta investigación solo se enfoca en obtener los espesores del pavimento, más no en los materiales de las capas del pavimento.
- Para obtener las precipitaciones máximas se realizaron con información de la página de SENAMHI.
- El diseño del geodren se realiza de acuerdo a PAVCO WAVIN (2016).
- Esta investigación solo toma el tramo del Km 14+000 al Km 15+000, cabe mencionar que el proyecto consta de 19.341 km en total de acuerdo a Consorcio Proyecto Picota (2021).

## Descripción del Contenido

La presente investigación se estructura en cinco (5) capítulos. El primero presenta el marco y bases teóricas referente a los diseños a usar en el proyecto. En el segundo, la metodología, procedimiento y flujograma. En el tercero, se presenta el desarrollo de la investigación, recolección de datos y procesamiento. En el cuarto se presenta las conclusiones del proyecto. En el quinto, las recomendaciones del trabajo de investigación.

## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

### 1.1 Pavimento rígido

#### 1.1.1. Definición

La American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 1993) menciona que el pavimento rígido consiste en una losa de concreto o de concreto armado que se apoya directamente sobre una base o subbase. Absorbe gran parte de las fuerzas que actúan sobre la superficie de la carretera, asegurando así una buena distribución de las cargas de las ruedas y dando lugar a tensiones muy bajas en el subsuelo.

#### 1.1.2. Diseño

El método AASHTO de 1993 es la guía para el diseño del pavimento rígido, donde se toma en cuenta el tráfico, las características del suelo, el drenaje, etc. (AASHTO, 1993).

A continuación, se presenta la formula general con sus variables y significados para calcular los espesores del pavimento permeable:

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 7.35 \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{\frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \log \left[ \frac{S'_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J \left[ D^{0.75} - \frac{18.42}{\left[\frac{E_c}{k}\right]^{0.25}} \right]} \right]$$

Donde:

$D$ : Espesor de la losa del pavimento en (in)

$W_{18}$ : Tráfico (Número de ESAL's)

$Z_R$ : Desviación Estándar Normal

$S_0$ : Error Estándar Combinado de la predicción del Tráfico

$\Delta PSI$ : Diferencia de Serviciabilidad (Po-Pt)

$P_0$ : Serviciabilidad Inicial

$P_t$ : Serviciabilidad Final

$S'_c$ : Módulo de Rotura del concreto en (psi)

$C_d$ : Coeficiente de Drenaje

$J$ : Coeficiente de Transferencia de Carga

$E_c$ : Módulo de Elasticidad de concreto

$k$ : Módulo de Reacción de la Sub Rasante en (psi)

## 1.2. Drenaje de pavimentos

Las precipitaciones son la principal causa del deterioro de la superficie de las carreteras debido a la erosión, la presión interna y la oxidación. Se construyen zanjas, alcantarillas, etc., para que no haya accidentes y así se pueda proteger la estructura del pavimento. De igual manera, el uso de geotextiles proporcionan una mejor evacuación y control de la humedad (Vías PUCP, 2021).

### 1.2.1. Tipos de drenajes

#### 1.2.1.1. Drenaje superficial

Este es un sistema construido a nivel del suelo. Se utiliza para recoger agua de lluvia o de deshielo, que se evacua o canaliza hacia canales naturales, sistemas de alcantarillado o niveles freáticos (Vías PUCP, 2021).

#### 1.2.1.2. Drenaje longitudinal

Capta el agua de escorrentía en la plataforma y taludes de la explanada paralela a la calzada. El objetivo es evitar que lleguen a la carretera o se queden en ella y causen daños. Consta de algunos elementos como cunetas, bordillos, cunetas de coronación y cuneta de banquetta (Vías PUCP, 2021).

#### 1.2.1.3. Drenaje transversal

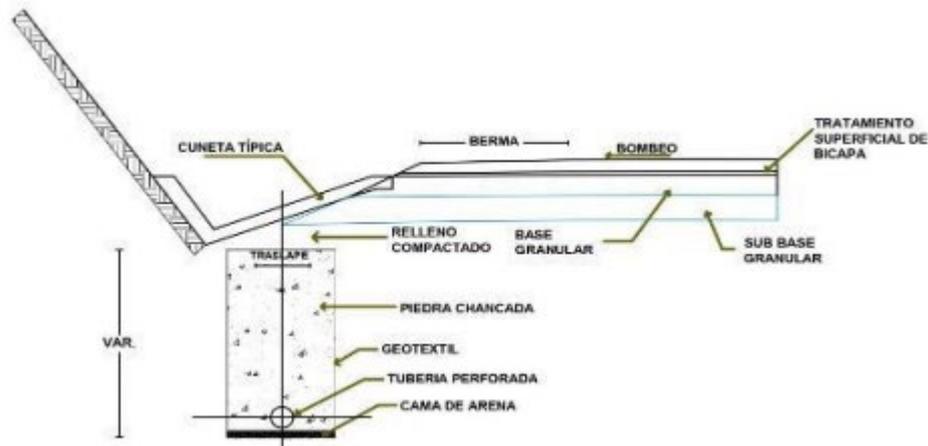
Permite que el agua cruce el camino o se retire de la corona lo más rápido posible. Consta de elementos como los tubos, cajones, bóvedas, lavaderos y puentes (Vías PUCP, 2021).

#### 1.2.1.4. Drenaje subterráneo

Lo que hace los subdrenajes es eliminar las aguas pluviales u otros fluidos. Asimismo, estos sistemas reducen la presión en los poros y este evita que aumente, trayendo como resultado la resistencia del suelo aumente, tal como se muestra en la figura 2 (Suaréz, 2012).

**Figura 2**

*Sección típica de un subdrén*



*Nota.* De “Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje”, por Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018 ([http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_2950.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf)).

Además, deben tener potencia hidráulica suficiente para transportar toda el agua entrante. Si se conectan a una base permeable, su material de relleno debe ser el mismo que el material base para garantizar su permeabilidad. También debe tener una tubería. Si el subdrenaje está sujeto a una base permeable, puede ser un geotextil o un tipo francés recubierto en geotextil. Los geotextiles utilizados para los subdrenajes no deben atravesar una base permeable (Vite Cardoza, 2019).

### 1.3. Geodrenes viales

El geodren vial es un sistema de subdrenaje que capta, conduce y evacua los fluidos como las aguas pluviales por un Geodrenaje Planar compuesto por Geotextiles No Tejidos, red de drenaje y tubería de drenaje corrugada (PAVCO WAVIN, 2021).

#### 1.3.1. Ventajas y beneficios

Los geodrenes viales tienen mayor vida útil vs el filtro francés convencional debido al menor riesgo de obstrucción. Asimismo, necesitan una zanja de 30 cm de ancho, es decir una excavación menor y no se necesitan demasiado consumo de materiales para el relleno de la zanja (PAVCO WAVIN, 2021).

## **CAPÍTULO II: METODOLOGÍA**

El nivel de investigación es descriptivo y de diseño experimental, pues se diseña el pavimento rígido con su respectivo sistema de drenaje con la finalidad de conocer si funciona como evacuación de las aguas pluviales en la zona de estudio.

### **2.1. Procedimiento**

#### **Caracterización de la zona de estudio**

- Conseguir planos topográficos del área de estudio.
- Obtener datos meteorológicos de estaciones cercanas a la zona de estudio.
- Disponer de información del tipo de suelo que posee.

#### **Calcular las precipitaciones máximas mensuales**

- Análisis de consistencia de los datos de las precipitaciones de los años 1995 al 2014.
- Cálculo de precipitaciones máximas para los periodos de retorno de 5, 25, 50,100 y 200 años.
- Cálculo de los caudales mediante el método racional.

#### **Diseñar un pavimento rígido**

- Obtener el Índice Medio Anual (IMDA).
- Conseguir el número de ejes equivalentes (ESAL).
- Determinar los espesores del pavimento mediante el método AASHTO 93.

#### **Diseño del sistema de subdrenaje**

- Calcular el caudal por infiltración.
- Evaluar el geotextil a usar en el geodren
- Calculo hidráulico para la escogencia del geocompuesto.

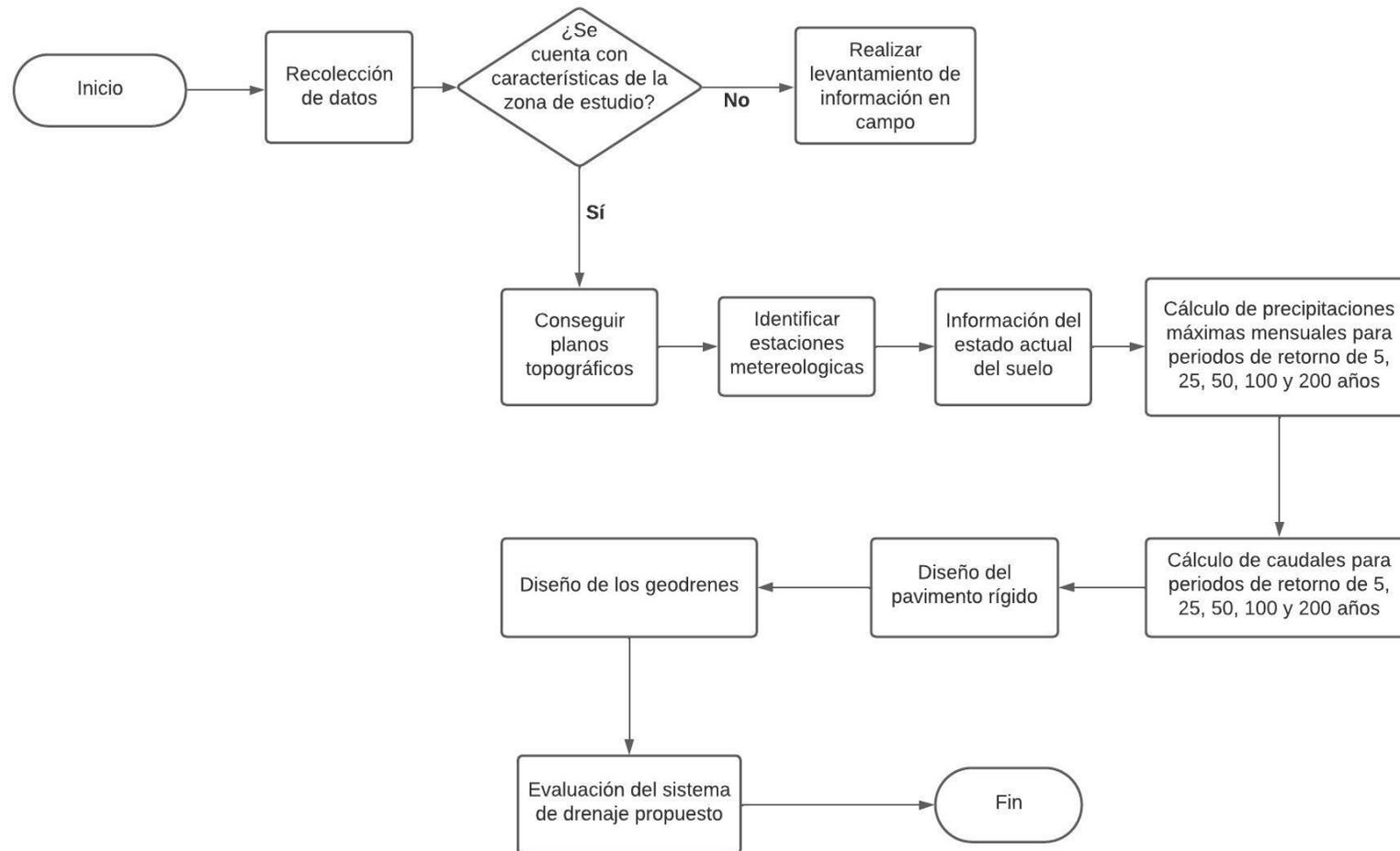
#### **Evaluación del sistema de drenaje**

- Evacuación de aguas pluviales captadas por el geodren
- Análisis del sistema propuesto para mejorar la evacuación de aguas pluviales.

## 2.2. Flujograma

**Figura 3**

*Flujograma de la investigación*



## CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA TESIS

### 3.1. Caracterización de la zona de estudio

#### 3.1.1. Ubicación de la zona de estudio

La zona de estudio se encuentra ubicada en el distrito de Picota y Tingo de Ponaza, provincia de Picota, región de San Martín. Esta provincia tiene una altitud de 243.02 m.s.n.m., y sus coordenadas UTM son: 9233416.21 Norte y 361539.7 Este (Consortio Proyecto Picota, 2021). Asimismo, nuestra área de estudio corresponde al tramo del Km 14+000 al Km 15+000, cuya ubicación se aprecia en la figura 4.

**Figura 4**

*Eje proyectado*



*Nota.* Adaptado de "Resumen Ejecutivo Proyecto Mejoramiento Del Servicio De Transitabilidad De La Carretera Departamental Rut Sm-107, Tramo: Emp. Sm-107 (Pte. Picota)-Tingo De Ponaza Del Distrito De Picota, Provincia De Picota-Departamento De San Martín", por Consortio Proyecto Picota, 2021 (<https://acortar.link/ISYkyv>).

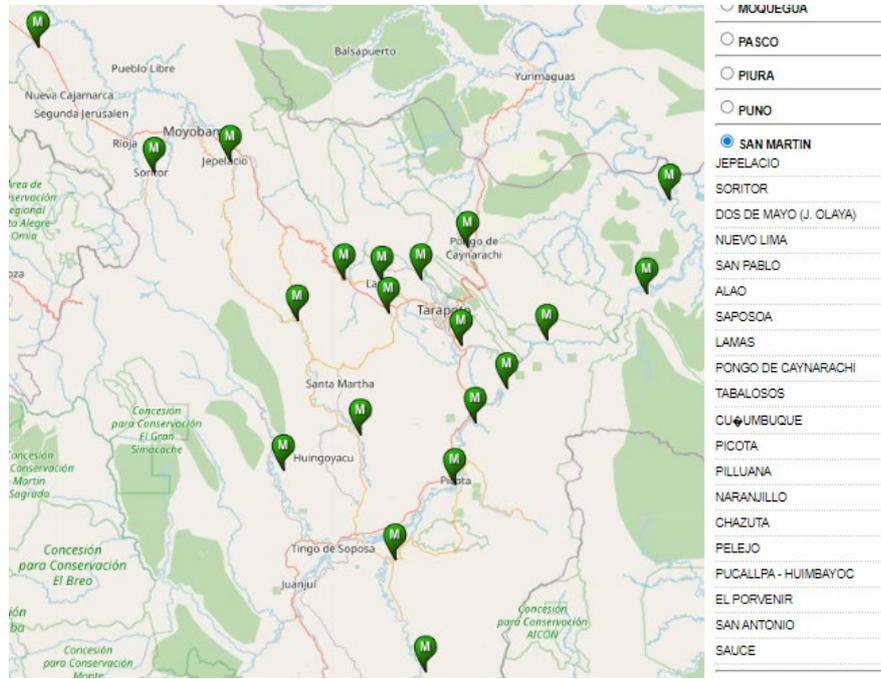
#### 3.1.2. Datos meteorológicos

Según SENAMHI (2023a) en el departamento de San Martín existen 20 estaciones meteorológicas, tal como se presenta en la figura 5, para nuestro tema de investigación se tomará como referencia la estación Picota, ubicada en la provincia y distrito de Picota, dicha

estación cuenta con una latitud de 6° 55' 02" Sur, longitud de 76° 20' 01" Oeste y una altitud de 222 msnm.

### Figura 5

*Estaciones meteorológicas en San Martín*



*Nota.* La imagen muestra las veinte estaciones en el departamento de San Martín. De "Descarga de datos Meteorológicos", por SENAMHI, 2023a. (<https://www.senamhi.gob.pe/site/descarga-datos/>).

#### 3.1.3. Clasificación del suelo

De acuerdo con Consorcio Proyecto Picota (2021), se realizaron 71 calicatas para todo el proyecto, sin embargo, las calicatas ubicadas en nuestro tramo de estudio son de la calicata 50 a la 53, cuyas características y profundidades se presenta en la tabla 1.

**Tabla 1***Características de las calicatas*

Características Físico - Químicas	Calicatas			
	C-50	C-51	C-52	C-53
	Km 14+100	Km 14+350	Km 14+600	Km 14+850
Límite Líquido (%)	55.8	53.7	57.3	54.6
Límite Plástico (%)	27.2	26.6	29.3	27.8
Índice Plástico (%)	28.6	27.1	28	26.8
%Pasa Tamiz N4	100	100	100	100
%Pasa Tamiz N200	99.2	99.5	99.2	98.8
Clasificación SUCS	CH	CH	CH	CH
Clasificación AASHTO	A-7-6 (18)	A-7-6 (17)	A-7-6 (18)	A-7-6 (17)
Hum. Natural "In situ" (%)	23.5	22.22	22.68	21.48
Prof. de perforación	0.20-1.50	0.20-1.50	0.20-1.50	0.20-1.50

*Nota.* Adaptado de "Resumen Ejecutivo Proyecto Mejoramiento Del Servicio De Transitabilidad De La Carretera Departamental Rut Sm-107, Tramo: Emp. Sm-107 (Pte. Picota)-Tngo De Ponaza Del Distrito De Picota, Provincia De Picota-Departamento De San Martín", por Consorcio Proyecto Picota, 2021 (<https://acortar.link/ISYkyv>).

### 3.2. Precipitaciones máximas mensuales

#### 3.2.1. Análisis de consistencia de los datos de las precipitaciones de los años 1963 al 2014

Para el cálculo de las precipitaciones máximas mensuales se usó las precipitaciones mensuales de los años de 1963 al 2014. A continuación, se presentará en la tabla 2 un resumen de las precipitaciones de enero a diciembre registrados por SENAMHI (2023a).

**Tabla 2***Precipitaciones mensuales del año 1963 a 2014*

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1963									17	32	24	11
1964	45	40	33	50	32	30	8	59	52	25	30	35
1965	11	25	71	51	64	43	11	5	15	25	38	6
1966	28	27	28	25	25	19	10	34	62	20	53	35
1967	22	16	32	40	56	31	11	24	27	25	21	32
1968	75	78	32	45	15	45	25	11	55	20	15	28
1969	44	26	48	34	3	30	14	27	25	35	12	20
1970	55	90	33	25	62	8	38	0	37	40	45	14
1971	10	43	52	42	36	20	4	30	23	23	30	15
1972	33	40	54	18	36	22	18	16	40	112	16	2

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973	25	50	31	48	26	41	22	29	34	15	35	35
1974	12	7	25	80	15	29	29	15	25	18	19	22
1975	25	58	38	21	21	31	44	39	45	25	30	56
1976	108	45	38	42	28	25	16	30	6	85	18	31
1977	37	30	38	50	38	32	12	12	58	36	30	25
1978	98	5	53	91	10	0	14	19	33	45	34	35
1979	17	50	90	23	8	25	30	27	75	75	75	48
1980	40	15	61	10	4	51	14	34	12	25	17	50
1981	25	50	141	27	0	52	33	23	49	25	31	25
1982	21	32	27	54	22	20	22	12	28	35	45	12
1983	3	50	29	55	31	30	11	35	31	32	55	17
1984	17	16	32	30	35	20	15	74	14	14	27	6
1985	30	30	55	50	82	10	22	37	25	70	25	12
1986	31	46	38	28	33	0	18	15	30	60	19	32
1987	30	18	11	38	8	32	32	35	28	72	46	6
1988	35	47	46	26	80	14	3	15	44	26	33	49
1989	50	76	22	29	40	80	5	20	19	55	21	0
1990	29	55	28	43	37	46	26	14	24	55	33	44
1991	6	23	75	26	31	14	24	33	16	29	12	2
1992	21	15	58	24	25	37	26	18	24	40	15	22
1993	56	43	75	19	64	22	13	4	6	14	14	4
1994	7	34	23	47	34	32	57	19	35	46	52	18
1995	23	9	51	16	9	12	35	13	44	28	18	36
1996	36	18	62	21	22	61	23	16	24	30	10	74
1997	0	27	39	45	21	0	22	31	33	8	35	5
1998	13	52	74	27	9	32	9	22	81	34	49	12
1999	40	29	48	24	34	23	10	24	22	35	34	13
2000	6	27	16	21	14	15	29	42	23	20	20	22
2001	27	26	61	81	14	11	46	22	42	55	52	55
2002	16	14	12	16	22	12	22	20	34	12	10	19
2003	13	22	62	6	27	25	14	16	68	40	28	79
2004	41	8	7	4	13	23	19	35	21	34	20	26
2005	43	78	5	64	14	10	16	29	12	29	70	53
2006	11	44	72	14	12	12	37	16	33	16	51	9
2007	8	4	38	11	28	9	15	12	30	49	59	22
2008	12	44	18	63	6	5	21	10	24	26	40	10
2009	54	17	22	46	17	35	9	46	47	21	11	5
2010	7	45	14	15	23	10	29	19	36	29	55	21
2011	12	5	35	103	19	26	9	23	24	39	35	54
2012	29	38	38	56	6	18	32	7	32	48	50	22

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2013	37	35	19	25	10	25	13	30	14	26	27	30
2014	7	14	28	22	0	0	0					

Se observa que existen espacios vacíos, para ello se hizo un cálculo y ajustes de datos faltantes de precipitación por el método del promedio aritmético, donde se usó la siguiente fórmula:

$$P = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n}$$

Donde:

$P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$  = valores medidos de las precipitaciones en el pluviómetro

$n$  = cantidad de años

Una vez completado los espacios vacíos, se procedió a calcular las precipitaciones máximas mensuales. A continuación, se presentará en la tabla 3 el resumen de los datos obtenidos.

**Tabla 3**

*Precipitaciones máximas mensuales*

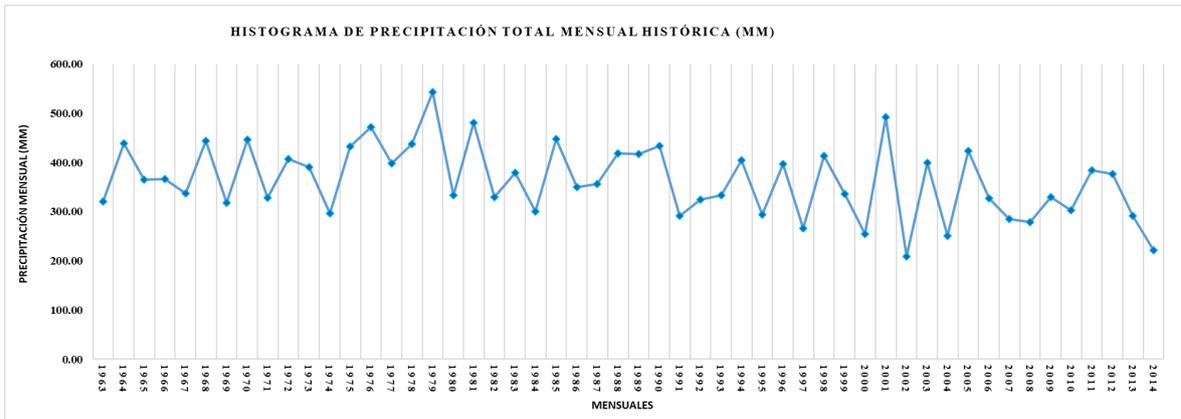
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PPMAX
1963	29.04	34	41.92	36.69	25.9	24.6	20.3	23.96	17	32	24	11	42
1964	45	40	33	50	32	30	8	59	52	25	30	35	59
1965	11	25	71	51	64	43	11	5	15	25	38	6	71
1966	28	27	28	25	25	19	10	34	62	20	53	35	62
1967	22	16	32	40	56	31	11	24	27	25	21	32	56
1968	75	78	32	45	15	45	25	11	55	20	15	28	78
1969	44	26	48	34	3	30	14	27	25	35	12	20	48
1970	55	90	33	25	62	8	38	0	37	40	45	14	90
1971	10	43	52	42	36	20	4	30	23	23	30	15	52
1972	33	40	54	18	36	22	18	16	40	112	16	2	112
1973	25	50	31	48	26	41	22	29	34	15	35	35	50
1974	12	7	25	80	15	29	29	15	25	18	19	22	80
1975	25	58	38	21	21	31	44	39	45	25	30	56	58
1976	108	45	38	42	28	25	16	30	6	85	18	31	108
1977	37	30	38	50	38	32	12	12	58	36	30	25	58
1978	98	5	53	91	10	0	14	19	33	45	34	35	98

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PPMAX
1979	17	50	90	23	8	25	30	27	75	75	75	48	90
1980	40	15	61	10	4	51	14	34	12	25	17	50	61
1981	25	50	141	27	0	52	33	23	49	25	31	25	141
1982	21	32	27	54	22	20	22	12	28	35	45	12	54
1983	3	50	29	55	31	30	11	35	31	32	55	17	55
1984	17	16	32	30	35	20	15	74	14	14	27	6	74
1985	30	30	55	50	82	10	22	37	25	70	25	12	82
1986	31	46	38	28	33	0	18	15	30	60	19	32	60
1987	30	18	11	38	8	32	32	35	28	72	46	6	72
1988	35	47	46	26	80	14	3	15	44	26	33	49	80
1989	50	76	22	29	40	80	5	20	19	55	21	0	80
1990	29	55	28	43	37	46	26	14	24	55	33	44	55
1991	6	23	75	26	31	14	24	33	16	29	12	2	75
1992	21	15	58	24	25	37	26	18	24	40	15	22	58
1993	56	43	75	19	64	22	13	4	6	14	14	4	75
1994	7	34	23	47	34	32	57	19	35	46	52	18	57
1995	23	9	51	16	9	12	35	13	44	28	18	36	51
1996	36	18	62	21	22	61	23	16	24	30	10	74	74
1997	0	27	39	45	21	0	22	31	33	8	35	5	45
1998	13	52	74	27	9	32	9	22	81	34	49	12	81
1999	40	29	48	24	34	23	10	24	22	35	34	13	48
2000	6	27	16	21	14	15	29	42	23	20	20	22	42
2001	27	26	61	81	14	11	46	22	42	55	52	55	81
2002	16	14	12	16	22	12	22	20	34	12	10	19	34
2003	13	22	62	6	27	25	14	16	68	40	28	79	79
2004	41	8	7	4	13	23	19	35	21	34	20	26	41
2005	43	78	5	64	14	10	16	29	12	29	70	53	78
2006	11	44	72	14	12	12	37	16	33	16	51	9	72
2007	8	4	38	11	28	9	15	12	30	49	59	22	59
2008	12	44	18	63	6	5	21	10	24	26	40	10	63
2009	54	17	22	46	17	35	9	46	47	21	11	5	54
2010	7	45	14	15	23	10	29	19	36	29	55	21	55
2011	12	5	35	103	19	26	9	23	24	39	35	54	103
2012	29	38	38	56	6	18	32	7	32	48	50	22	56
2013	37	35	19	25	10	25	13	30	14	26	27	30	37
2014	7	14	28	22	0	0	0	23.96	32.51	35.94	32.24	25.80	36

Además, se realizó un análisis de consistencia los datos de las precipitaciones de los años 1963 al 2014 en una hoja de cálculo, donde obtuvimos el histograma de la precipitación total mensual en milímetros (mm), como se aprecia en la figura 6.

**Figura 6**

*Histograma de la precipitación total mensual en milímetros*



Se realizó un análisis estadístico, mediante las pruebas de “T” de student y de Fisher “F”. Para la “T” de student, se hizo una evaluación de la consistencia en la media, como se muestra en la tabla 4.

**Tabla 4**

*Prueba “T” de Student*

Variable	Resultados
Desviación estándar ponderada	19.22
Desviación de las diferencias de los promedios	1.61
Tc	2.91
Tabular Tt:	1.96
Grados de libertad	622.00

$$|t_c| = 2.91 < Tt = 1.96 \text{ NO HOMOGENEIDAD}$$

Para la “F” de fisher, se hizo una evaluación de la consistencia en la desviación estándar, como se muestra en la tabla 5.

**Tabla 5***Prueba “F” de Fisher*

Variable	Resultados
Fc	1.36
Ft	1.21

$$|F_c| = 1.36 < Ft = 1.21 \text{ NO HOMOGENEIDAD}$$

Por ello, se hace una corrección con las precipitaciones con las fórmulas presentadas a continuación:

$$X'_{(t)} = \frac{X_1 - X_2}{S_1(X)} x S_2(X) + \bar{X}_2$$

Una vez realizada la corrección de los años 1963 al 2014, se obtuvo la tabla 6.

**Tabla 6***Corrección de las precipitaciones máximas mensuales*

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PPMAX
1963	24.96	29.25	36.00	31.51	22.28	21.17	17.51	20.61	14.65	27.50	20.65	9.51	36.00
1964	38.63	34.35	28.36	42.91	27.50	25.79	6.94	50.62	44.63	21.50	25.79	30.07	50.62
1965	9.51	21.50	60.90	43.77	54.90	36.92	9.51	4.37	12.94	21.50	32.64	5.23	60.90
1966	24.07	23.22	24.07	21.50	21.50	16.37	8.66	29.21	53.19	17.22	45.48	30.07	53.19
1967	18.93	13.80	27.50	34.35	48.05	26.64	9.51	20.65	23.22	21.50	18.08	27.50	48.05
1968	64.33	66.90	27.50	38.63	12.94	38.63	21.50	9.51	47.20	17.22	12.94	24.07	66.90
1969	37.78	22.36	41.20	29.21	2.66	25.79	12.08	23.22	21.50	30.07	10.37	17.22	41.20
1970	47.20	77.17	28.36	21.50	53.19	6.94	32.64	0.09	31.78	34.35	38.63	12.08	77.17
1971	8.66	36.92	44.63	36.06	30.92	17.22	3.52	25.79	19.79	19.79	25.79	12.94	44.63
1972	28.36	34.35	46.34	15.51	30.92	18.93	15.51	13.80	34.35	96.01	13.80	1.81	96.01
1973	21.50	42.91	26.64	41.20	22.36	35.21	18.93	24.93	29.21	12.94	30.07	30.07	42.91
1974	10.37	6.09	21.50	68.61	12.94	24.93	24.93	12.94	21.50	15.51	16.37	18.93	68.61
1975	21.50	49.77	32.64	18.08	18.08	26.64	37.78	33.49	38.63	21.50	25.79	48.05	49.77
1976	92.59	38.63	32.64	36.06	24.07	21.50	13.80	25.79	5.23	72.89	15.51	26.64	92.59
1977	31.78	25.79	32.64	42.91	32.64	27.50	10.37	10.37	49.77	30.92	25.79	21.50	49.77
1978	84.02	4.37	45.48	78.03	8.66	0.09	12.08	16.37	28.36	38.63	29.21	30.07	84.02
1979	14.65	42.91	77.17	19.79	6.94	21.50	25.79	23.22	64.33	64.33	64.33	41.20	77.17
1980	34.35	12.94	52.34	8.66	3.52	43.77	12.08	29.21	10.37	21.50	14.65	42.91	52.34
1981	21.50	42.91	120.85	27.00	0.00	52.00	33.00	23.00	49.00	25.00	31.00	25.00	120.85
1982	21.00	32.00	27.00	54.00	22.00	20.00	22.00	12.00	28.00	35.00	45.00	12.00	54.00
1983	3.00	50.00	29.00	55.00	31.00	30.00	11.00	35.00	31.00	32.00	55.00	17.00	55.00
1984	17.00	16.00	32.00	30.00	35.00	20.00	15.00	74.00	14.00	14.00	27.00	6.00	74.00
1985	30.00	30.00	55.00	50.00	82.00	10.00	22.00	37.00	25.00	70.00	25.00	12.00	82.00
1986	31.00	46.00	38.00	28.00	33.00	0.00	18.00	15.00	30.00	60.00	19.00	32.00	60.00

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PPMAX
1987	30.00	18.00	11.00	38.00	8.00	32.00	32.00	35.00	28.00	72.00	46.00	6.00	72.00
1988	35.00	47.00	46.00	26.00	80.00	14.00	3.00	15.00	44.00	26.00	33.00	49.00	80.00
1989	50.00	76.00	22.00	29.00	40.00	80.00	5.00	20.00	19.00	55.00	21.00	0.00	80.00
1990	29.00	55.00	28.00	43.00	37.00	46.00	26.00	14.00	24.00	55.00	33.00	44.00	55.00
1991	6.00	23.00	75.00	26.00	31.00	14.00	24.00	33.00	16.00	29.00	12.00	2.00	75.00
1992	21.00	15.00	58.00	24.00	25.00	37.00	26.00	18.00	24.00	40.00	15.00	22.00	58.00
1993	56.00	43.00	75.00	19.00	64.00	22.00	13.00	4.00	6.00	14.00	14.00	4.00	75.00
1994	7.00	34.00	23.00	47.00	34.00	32.00	57.00	19.00	35.00	46.00	52.00	18.00	57.00
1995	23.00	9.00	51.00	16.00	9.00	12.00	35.00	13.00	44.00	28.00	18.00	36.00	51.00
1996	36.00	18.00	62.00	21.00	22.00	61.00	23.00	16.00	24.00	30.00	10.00	74.00	74.00
1997	0.00	27.00	39.00	45.00	21.00	0.00	22.00	31.00	33.00	8.00	35.00	5.00	45.00
1998	13.00	52.00	74.00	27.00	9.00	32.00	9.00	22.00	81.00	34.00	49.00	12.00	81.00
1999	40.00	29.00	48.00	24.00	34.00	23.00	10.00	24.00	22.00	35.00	34.00	13.00	48.00
2000	6.00	27.00	16.00	21.00	14.00	15.00	29.00	42.00	23.00	20.00	20.00	22.00	42.00
2001	27.00	26.00	61.00	81.00	14.00	11.00	46.00	22.00	42.00	55.00	52.00	55.00	81.00
2002	16.00	14.00	12.00	16.00	22.00	12.00	22.00	20.00	34.00	12.00	10.00	19.00	34.00
2003	13.00	22.00	62.00	6.00	27.00	25.00	14.00	16.00	68.00	40.00	28.00	79.00	79.00
2004	41.00	8.00	7.00	4.00	13.00	23.00	19.00	35.00	21.00	34.00	20.00	26.00	41.00
2005	43.00	78.00	5.00	64.00	14.00	10.00	16.00	29.00	12.00	29.00	70.00	53.00	78.00
2006	11.00	44.00	72.00	14.00	12.00	12.00	37.00	16.00	33.00	16.00	51.00	9.00	72.00
2007	8.00	4.00	38.00	11.00	28.00	9.00	15.00	12.00	30.00	49.00	59.00	22.00	59.00
2008	12.00	44.00	18.00	63.00	6.00	5.00	21.00	10.00	24.00	26.00	40.00	10.00	63.00
2009	54.00	17.00	22.00	46.00	17.00	35.00	9.00	46.00	47.00	21.00	11.00	5.00	54.00
2010	7.00	45.00	14.00	15.00	23.00	10.00	29.00	19.00	36.00	29.00	55.00	21.00	55.00
2011	12.00	5.00	35.00	103.00	19.00	26.00	9.00	23.00	24.00	39.00	35.00	54.00	103.00
2012	29.00	38.00	38.00	56.00	6.00	18.00	32.00	7.00	32.00	48.00	50.00	22.00	56.00
2013	37.00	35.00	19.00	25.00	10.00	25.00	13.00	30.00	14.00	26.00	27.00	30.00	37.00
2014	7.00	14.00	28.00	22.00	0.00	0.00	0.00	23.96	32.51	35.94	32.24	25.80	35.94

### 3.2.2. Cálculo de precipitaciones máximas para los periodos de retorno de 5, 25, 50,100 y 200 años

Luego de verificar los datos sobre las precipitaciones del lugar de estudio, se procedió a calcular de precipitaciones máximas para los periodos de retorno de 5, 25, 50,100 y 200 años, para ello se hizo el uso del software Hydrognomon.

Los datos de entrada que pide el programa son las precipitaciones máximas anuales en 24 horas para los años 1963 – 2014 calculado anteriormente, como se muestra en la tabla 7.

**Tabla 7***Precipitaciones máximas anuales en 24 horas*

<b>AÑO</b>	<b>PP24 (mm)</b>
1963	36.00
1964	50.62
1965	60.90
1966	53.19
1967	48.05
1968	66.90
1969	41.20
1970	77.17
1971	44.63
1972	96.01
1973	42.91
1974	68.61
1975	49.77
1976	92.59
1977	49.77
1978	84.02
1979	77.17
1980	52.34
1981	120.85
1982	54.00
1983	55.00
1984	74.00
1985	82.00
1986	60.00
1987	72.00
1988	80.00
1989	80.00
1990	55.00
1991	75.00
1992	58.00
1993	75.00
1994	57.00
1995	51.00
1996	74.00
1997	45.00

<b>AÑO</b>	<b>PP24 (mm)</b>
1998	81.00
1999	48.00
2000	42.00
2001	81.00
2002	34.00
2003	79.00
2004	41.00
2005	78.00
2006	72.00
2007	59.00
2008	63.00
2009	54.00
2010	55.00
2011	103.00
2012	56.00
2013	37.00
2014	35.94

Después, se hizo un análisis estadístico en el mismo software para poder calcular los periodos de retorno, donde sus resultados están en la tabla 8.

**Tabla 8**

*Precipitaciones máximas para los periodos de retorno de 5, 25, 50, 100 y 200 años*

<b>PR</b>	<b>PMAX (mm)</b>
2	61.22
5	78.00
25	99.24
50	107.07
100	114.44
200	121.45

### 3.2.3. Cálculo de los caudales mediante el método racional

Como primer paso se halla las precipitaciones máximas para los diferentes tiempos de duración de lluvias, para el cual se toma los valores de los Coeficientes de duración lluvias,

de acuerdo con el Manual de Hidrología mostrado en la tabla 9, obteniendo los resultados de las precipitaciones máximas en la tabla 10.

**Tabla 9**

*Coefficientes de duración lluvias*

<b>Duración de la precipitación en horas</b>	<b>Coefficiente</b>
1	0.25
2	0.31
3	0.38
4	0.44
5	0.50
6	0.56
8	0.64
12	0.79
18	0.90
24	1.00

*Nota.* Adaptado de “Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje”, por Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018 ([http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_2950.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf)).

**Tabla 10**

*Precipitaciones máximas para los diferentes tiempos de duración de lluvias*

<b>Tiempo de Duración (horas)</b>	<b>Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración</b>					
	<b>2 años</b>	<b>5 años</b>	<b>25 años</b>	<b>50 años</b>	<b>100 años</b>	<b>200 años</b>
24	69.18	88.14	112.14	120.99	129.31	137.24
18	62.26	79.33	88.59	108.89	116.38	123.52
12	54.65	69.63	88.59	95.58	102.16	108.42
8	44.27	56.41	71.77	77.43	82.76	87.83
6	38.74	49.36	62.80	67.75	72.41	76.85
5	34.59	44.07	56.07	60.49	64.66	68.62
4	30.44	38.78	49.34	53.23	56.90	60.39
3	26.29	33.49	42.61	45.97	49.14	52.15
2	21.45	27.32	34.76	37.51	40.09	42.54
1	17.29	22.04	28.04	30.25	32.33	34.31

Luego para obtener las curvas IDF, se usó la siguiente formula:

$$I = \frac{KT^m}{t^n}$$

Donde:

$I$ = Intensidad máxima (mm/h)

$T$ = Periodo de retorno (años)

$t$ = Duración (min)

$K, m, n$  = Parámetros de ajuste, cuyos valores son 147.3212, 0.143124 y 0.54001 respectivamente.

Los resultados de las intensidades para los diferentes años de retorno se muestran en la tabla 11 y las curvas IDF, en la figura 7.

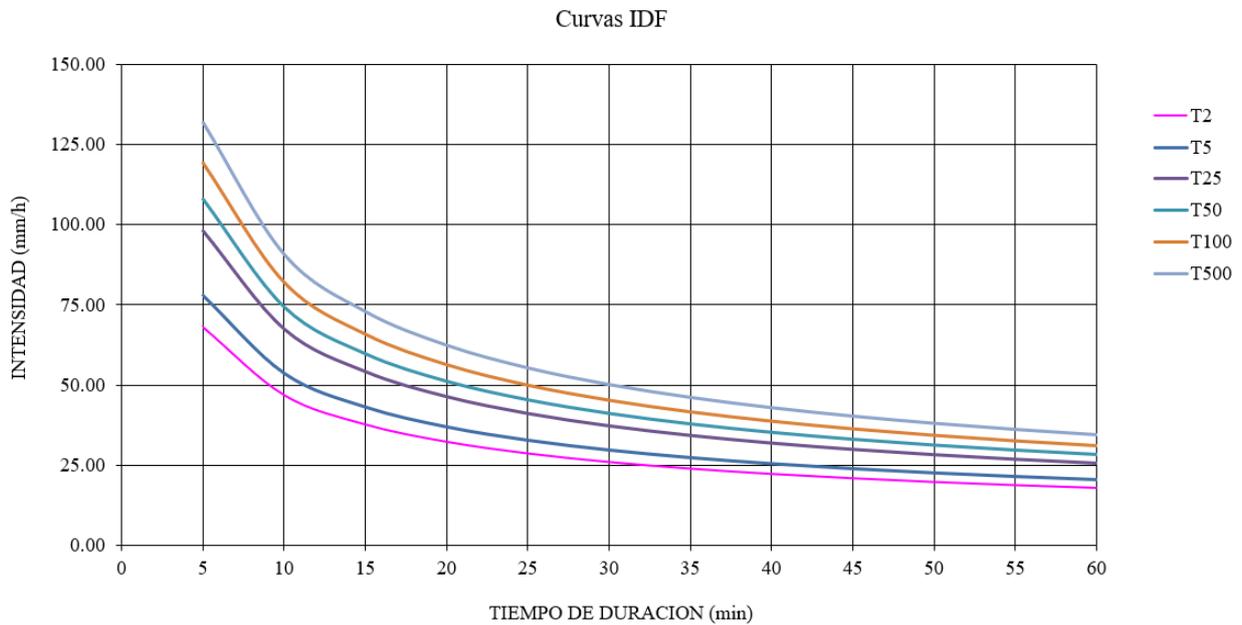
**Tabla 11**

*Intensidades para los diferentes años de retorno*

Frecuencia (años)	Duración (minutos)											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	68.22	46.92	37.69	32.27	28.61	25.92	23.85	22.19	20.83	19.67	18.69	17.83
5	77.78	53.49	42.97	36.79	32.61	29.56	27.19	25.30	23.74	22.43	21.31	20.33
25	97.92	67.35	54.11	46.32	41.06	37.21	34.24	31.86	29.89	28.24	26.82	25.59
50	108.14	74.37	59.75	51.15	45.34	41.09	37.81	35.18	33.01	31.19	29.62	28.26
100	119.42	82.13	65.98	56.49	50.07	45.38	41.75	38.85	36.45	34.44	32.71	31.21
200	131.87	90.70	72.86	62.38	55.30	50.11	46.11	42.90	40.26	38.03	36.12	34.46

**Figura 7**

*Curvas IDF*



Con los datos obtenidos en el paso anterior, se procede a calcular los caudales mediante el método racional, para ello se desarrollará con la siguiente ecuación:

$$Q = 0.278 \times C \times I \times A$$

Donde:

$Q$ : Descarga máxima de diseño ( $m^3/s$ )

$C$ : Coeficiente de escorrentía

$I$ : Intensidad (mm/h)

$A$ : Área ( $Km^2$ )

De acuerdo con el estudio de suelos, se considera un suelo permeable, con vegetación ligera y pendiente de 0.5%. Por lo tanto, de acuerdo con la figura 8, se tiene un coeficiente de escorrentía de 0.15. Luego, se tomará los valores de las intensidades para una duración de 5 minutos, cuyos valores se muestra en la tabla 12. Por último, el área es el producto del ancho de la carretera y la longitud del tramo en estudio, lo cual resulta un área total de  $0.0086 km^2$ . Con los datos presentados, se procede a calcular los caudales cuyos resultados son presentados en la tabla 13.

**Figura 8***Coefficientes de escorrentía método racional*

COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPRECIABLE
		> 50%	> 20%	> 5%	> 1%	< 1%
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba, grama	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Nota. Adaptado de “Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje”, por Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018 ([http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_2950.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf)).

**Tabla 12***Intensidades para el tiempo de retorno de 2, 5, 25, 50 y 100 años*

Frecuencia (años)	Intensidad (mm/h)
2	68.22
5	77.78
25	97.92
50	108.14
100	119.42
200	131.87

**Tabla 13***Caudales mediante el método racional*

Tiempo de retorno (años)	Q(m3/s)
2	0.024
5	0.028
25	0.035
50	0.039
100	0.043
200	0.047

### 3.3. Diseño del pavimento rígido

#### 3.3.1. Obtener el Índice Medio Anual (IMDA)

De acuerdo con el estudio de tráfico de Consorcio Proyecto Picota (2021), se obtuvo el IMDA para el año 2021 fue de 437 veh/día, el  $IMDA_{2023}$  fue de 475 veh/día y el  $IMDA_{2043}$  es de 1159 veh/día.

#### 3.3.2. Calcular el número de ejes equivalentes (ESAL)

Para el cálculo de los Ejes Equivalentes (EE) se usa la relación de cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) para pavimentos rígidos, que se muestra en la figura 9.

**Figura 9***Relación de cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) para pavimentos rígidos*

Tipo de Eje	Eje Equivalente ( $EE_{k,2m}$ )
Eje Simple de ruedas simples ( $EE_{S1}$ )	$EE_{S1} = [P / 6.6]^{k-1}$
Eje Simple de ruedas dobles ( $EE_{S2}$ )	$EE_{S2} = [P / 8.2]^{k-1}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) ( $EE_{TA1}$ )	$EE_{TA1} = [P / 13.0]^{k-1}$
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) ( $EE_{TA2}$ )	$EE_{TA2} = [P / 13.3]^{k-1}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) ( $EE_{TR1}$ )	$EE_{TR1} = [P / 16.6]^{k-0}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) ( $EE_{TR2}$ )	$EE_{TR2} = [P / 17.5]^{k-0}$
P = peso real por eje en toneladas	

*Nota.* La imagen muestra la relación de cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) para pavimentos rígidos. De “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos”, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014

([https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_7%20SGGP-2014.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf)).

Luego, se usa la siguiente expresión:

$$N_{rep\ de\ EE_{8.2\ m}} = \Sigma [EE_{día-carril} \times F_{ca} \times 365]$$

$$EE_{día-carril} = IMD_{pi} \times F_d \times F_c \times F_{vpi} \times F_{pi}$$

Donde:

$N_{rep\ de\ EE_{8.2\ m}}$ : Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn.

$IMD_{pi}$ : corresponde al Índice Medio Diario según tipo de vehículo pesado seleccionado.

$F_d$ : Factor Direccional, según figura 10.

$F_c$ : Factor Carril de diseño, según figura 10.

$F_{vpi}$ : Factor vehículo pesado del tipo seleccionado

$F_{pi}$ : Factor de Presión de neumáticos

$F_{ca}$ : Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado

### Figura 10

Factores de Distribución Direccional y de Carril para determinar el Tránsito en el Carril de diseño

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25

*Nota.* La imagen muestra los factores de distribución direccional y de carril para determinar el tránsito en el carril de diseño. Adaptado de “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos”, Ministerio de Transportes y Comunicaciones,

2014

([https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_7%20SGGP-2014.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf)).

Utilizando la información anterior se procede a hacer los cálculos, en el cual los valores del  $F_d$ ,  $F_c$  son 0.5 y 1 respectivamente. Asimismo, la tasa anual de crecimiento poblacional es de 1.4% y de la tasa anual del crecimiento de la economía (PBI) es de 8.6%, estos datos son importantes para el  $F_{ca}$ . Finalmente, se obtiene un ESAL de 2834743 para un diseño de 20 años (Consortio Proyecto Picota, 2021).

### 3.3.3. Determinar los espesores del pavimento mediante el método AASHTO 93

En la tabla 14, se muestra los datos iniciales para el cálculo del diseño del pavimento permeable. Donde, se toma un periodo de diseño de 20 años, el ESAL fue calculado anteriormente. Para el cálculo del CBR, se tomó de referencia del expediente técnico utilizado para el presente trabajo de investigación, donde obtuvieron un CBR promedio de 7.1% y, por último, el espesor de subbase granular es de 15 cm, ya que es el mínimo espesor que establece el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014a)

**Tabla 14**

*Datos del diseño*

<b>Descripción</b>	<b>Resultado</b>
Periodo del diseño	20 años
ESAL	2834743
CBR subrasante	7.1%
Espesor de subbase granular	15.00 cm

Se procede a calcular el índice de Serviciabilidad inicial ( $P_i$ ), índice de Serviciabilidad final ( $P_f$ ) y el diferencial de Serviciabilidad ( $\Delta PSI$ ) con la figura 11. Como se obtuvo un ESAL de 2834743, dicho valor se busca en la sección de ejes equivalentes acumulados, para nuestro caso, se encuentra en el rango de 1,500,001 – 3,000,000, por ende, nuestro  $P_i$  es 4.30,  $P_f$  es 2.50 y  $\Delta PSI$  es 1.80.

**Figura 11**

*Diferencial de Serviciabilidad según del rango de tráfico*

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi)	INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL O TERMINAL (Pt)	DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD ( $\Delta PSI$ )
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP1	150,001	300,000	4.10	2.00	2.10
	TP2	300,001	500,000	4.10	2.00	2.10
	TP3	500,001	750,000	4.10	2.00	2.10
	TP4	750,001	1,000,000	4.10	2.00	2.10
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	4.30	2.50	1.80
	TP6	1,500,001	3,000,000	4.30	2.50	1.80
	TP7	3,000,001	5,000,000	4.30	2.50	1.80
	TP8	5,000,001	7,500,000	4.30	2.50	1.80
	TP9	7,500,001	10'000,000	4.30	2.50	1.80
	TP10	10'000,001	12'500,000	4.30	2.50	1.80
	TP11	12'500,001	15'000,000	4.30	2.50	1.80
	TP12	15'000,001	20'000,000	4.50	3.00	1.50
	TP13	20'000,001	25'000,000	4.50	3.00	1.50
	TP14	25'000,001	30'000,000	4.50	3.00	1.50
	TP15		>30'000,000	4.50	3.00	1.50

*Nota.* La imagen muestra la Serviciabilidad inicial ( $P_i$ ), índice de Serviciabilidad final ( $P_t$ ) y el diferencial de Serviciabilidad ( $\Delta PSI$ ). Adaptado de “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos”, por Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014 ([https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_7%20SGGP-2014.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf)).

De la figura 12, se obtuvieron los valores recomendados de Nivel de Confianza ( $R$ ) y desviación estándar Normal ( $Z_r$ ). Según el ESAL obtenido, nuestro  $R$  tendría el valor del 85% y el  $Z_r$  el valor de -1.036. De igual manera, para la desviación estándar ( $S_o$ ) se recomienda un valor de 0.35 según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014a).

**Figura 12**

*Nivel de confiabilidad (R) y desviación estándar normal (Zr) según rango de tráfico*

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T <sub>F0</sub>	100,000	150,000	65%	-0.385
	T <sub>F1</sub>	150,001	300,000	70%	-0.524
	T <sub>F2</sub>	300,001	500,000	75%	-0.674
	T <sub>F3</sub>	500,001	750,000	80%	-0.842
	T <sub>F4</sub>	750,001	1,000,000	80%	-0.842
Resto de Caminos	T <sub>F5</sub>	1,000,001	1,500,000	85%	-1.036
	T <sub>F6</sub>	1,500,001	3,000,000	85%	-1.036
	T <sub>F7</sub>	3,000,001	5,000,000	85%	-1.036
	T <sub>F8</sub>	5,000,001	7,500,000	90%	-1.282
	T <sub>F9</sub>	7,500,001	10'000,000	90%	-1.282
	T <sub>F10</sub>	10'000,001	12'500,000	90%	-1.282
	T <sub>F11</sub>	12'500,001	15'000,000	90%	-1.282
	T <sub>F12</sub>	15'000,001	20'000,000	90%	-1.282
	T <sub>F13</sub>	20'000,001	25'000,000	90%	-1.282
	T <sub>F14</sub>	25'000,001	30'000,000	90%	-1.282
T <sub>F15</sub>	>30'000,000		95%	-1.645	

*Nota:* La imagen muestra la Nivel de Confiabilidad (R) y desviación estándar Normal (Zr). Adaptado de “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos”, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014 ([https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_7%20SGGP-2014.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf)).

Para el cálculo de coeficiente de reacción combinado ( $K_c$ ), se podrece a calcular el  $K_{sr}$  por el método simplificado, dicho método considera la siguiente ecuación de equivalencia entre el  $CBR$  y el valor de  $K$  para el diseño:

Si  $CBR > 10\%$ , entonces:

$$K_{sr} = 2.55 + 52.5 * LOG (CBR)$$

$$K_{sr} = 2.55 + 52.5 * LOG (7.10)$$

$$K_{sr} = 47.24 \text{ Mpa/m}$$

De igual manera, según Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014a) el  $CBR$  mínimo en la subbase, para un tráfico menor de  $15 \times 10^6$ , es de 40%, como se aprecia en la figura 13.

**Figura 13**

*CBR mínimos recomendados para la subbase granular*

TRÁFICO	ENSAYO NORMA	REQUERIMIENTO
Para tráfico $\leq 15 \times 10^6$ EE	MTC E 132	CBR mínimo 40 % (1)
Para tráfico $> 15 \times 10^6$ EE	MTC E 132	CBR mínimo 60 % (1)

Nota: La imagen muestra la Nivel de Confiabilidad ( $R$ ) y desviación estándar Normal ( $Z_r$ ). Adaptado de “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos”, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014 ([https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_7%20SGGP-2014.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf)).

Obteniendo un CBR mínimo de 40%, se calcula el  $K_{sb}$ :

$$K_{sr} = 46 + 9.08 * (\text{LOG}(\text{CBR}))^{4.34}$$

$$K_{sr} = 46 + 9.08 * (\text{LOG}(40))^{4.34}$$

$$K_{sr} = 116.21 \text{ Mpa/m}$$

Una vez calculados  $K_{sr}$  y  $K_{sb}$ , se procede a reemplazar en la formula siguiente los valores para obtener el coeficiente de reacción combinado ( $K_c$ ):

$$K \text{ combinado} = (1 + (h/38)^2 * (K_{sb}/K_{sr})^{2/3})^{0.5} * K_{sr}$$

$$K \text{ combinado} = (1 + (15/38)^2 * (116.21/47.24)^{2/3})^{0.5} * 47.24$$

$$K \text{ combinado} = 53.53 \text{ Mpa/m}$$

Para el módulo de rotura ( $M_r$ ) necesitamos los datos del módulo de compresión ( $f'_c$ ) y los valores de “ $a$ ” que varían entre 1.99 y 3.18, donde dichos datos lo sacaremos de la figura 14.

**Figura 14**

*Valores recomendados de resistencia de concreto*

RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RESISTENCIA MÍNIMA A LA FLEXTORCIÓN DEL CONCRETO (MR)	RESISTENCIA MÍNIMA EQUIVALENTE A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO (F'c)
≤ 5'000,000 EE	40 kg/cm <sup>2</sup>	280 kg/cm <sup>2</sup>
> 5'000,000 EE ≤ 15'000,000 EE	42 kg/cm <sup>2</sup>	300 kg/cm <sup>2</sup>
> 15'000,000 EE	45 kg/cm <sup>2</sup>	350 kg/cm <sup>2</sup>

*Nota:* La imagen muestra la Nivel de Confiabilidad ( $R$ ) y desviación estándar Normal ( $Z_r$ ). Adaptado de “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos”, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014 ([https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_7%20SGGP-2014.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf)).

Como observamos según el rango de tráfico pesado en EE, para nuestro caso el  $M_r$  tendría un valor de 40 kg/cm<sup>2</sup> y una  $f'c$  de 280 kg/cm<sup>2</sup>. Reemplazando en la siguiente fórmula se obtuvo el valor de “ $a$ ”, donde confirmamos que se encuentra en el rango de 1.99 y 3.18.

$$M_r = a\sqrt{f'c}$$

$$40 = a\sqrt{280}$$

$$a = 2.39$$

Ya obtenida el  $f'c$  en libras por pulgada cuadrada se procede a calcular el Módulo de Elasticidad ( $E$ ) con la siguiente fórmula:

$$E = 57000 * (f'c)^{0.5}$$

$$E = 57000 * (3982.52)^{0.5}$$

$$E = 3597112.80 \text{ psi} = 24,801.23 \text{ MPa}$$

A continuación, para el coeficiente de Drenaje ( $C_d$ ), se asume el valor de 1 según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014) por lo que el suelo es de tipo granular, debido a que, al ser un pavimento permeable, el drenaje será bueno, según la figura 15.

**Figura 15**

*Coefficiente de drenaje*

Calidad de Drenaje	50% de saturacion en:	85% de saturacion en:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	más de 10 horas
Muy Pobre	El agua no drena	mucho más de 10 horas

Calidad de Drenaje	% del tiempo en que el pavimento esta expuesto a niveles de humedad próximos a la saturacion			
	< 1%	1 a 5%	5 a 25%	> 25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Regular	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Pobre	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy Pobre	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

*Nota:* La imagen muestra la Nivel de Confiabilidad ( $R$ ) y desviación estándar Normal ( $Z_r$ ). Adaptado de “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos”, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014 ([https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_7%20SGGP-2014.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf)).

Para el coeficiente de Transmisión de Carga ( $J$ ), según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014), se recomienda el valor de 3.2, como se aprecia en la figura 16.

**Figura 16**

*Valores de coeficiente de transmisión de carga*

TIPO DE BERMA	J			
	GRANULAR O ASFÁLTICA		CONCRETO HIDRÁULICO	
VALORES J	SI (con pasadores)	NO (con pasadores)	SI (con pasadores)	NO (con pasadores)
		3.2	3.8 - 4.4	2.8

*Nota:* La imagen muestra la Nivel de Confiabilidad ( $R$ ) y desviación estándar Normal ( $Z_r$ ). Adaptado de “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos”, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014 ([https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_7%20SGGP-2014.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf)).

Por último, una vez obtenida todas las variables para el cálculo de los espesores del pavimento permeable se hizo una tabla resumen como se aprecia en la tabla 15.

**Tabla 15**

*Resumen de datos para el cálculo del diseño*

<b>Descripción</b>	<b>Resultado</b>
$W_{18}$ : Tráfico (Número de ESAL's)	2834743
$Z_R$ : Desviación Estándar Normal	-1.036
$S_0$ : Error Estándar Combinado de la predicción del Tráfico	0.35
$\Delta PSI$ : Diferencia de Serviciabilidad (Po-Pt)	1.80
$P_0$ : Serviciabilidad Inicial	4.30
$P_t$ : Serviciabilidad Final	2.50
$M'_r$ : Módulo de Rotura del concreto	3.92
$C_d$ : Coeficiente de Drenaje	1.00
$J$ : Coeficiente de Transferencia de Carga	3.20
$E_C$ : Módulo de Elasticidad de concreto	24,801.23
$k$ : Módulo de Reacción de la Sub Rasante	53.53

Luego de ello se procedió a reemplazar dichos valores en la formula general donde se obtuvo el siguiente resultado.

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{\frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}}$$

$$+ (4.22 - 0.32 P_t) \log \left[ \frac{S'_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J \left[ D^{0.75} - \frac{18.42}{\left[\frac{E_C}{k}\right]^{0.25}} \right]} \right]$$

$$D = 21.78 \text{ cm}$$

### 3.4. Diseño del sistema de drenaje

#### 3.4.1. Cálculo del caudal por infiltración

Se propone como alternativa a la mejora del sistema de drenaje en la zona de estudio, el uso de geodrenes. Primero se obtiene el caudal total mediante las siguientes formulas.

$$Q_T = Q_{inf} + Q_{NF}$$

$$Q_{inf} = I_R \times B \times L \times F_i \times F_R$$

$$Q_{NF} = K \times i \times A_a$$

$$i = (N_d - N_f)/B$$

$$A_a = (N_d - N_f) \times L$$

Donde:

$Q_{inf}$  = Caudal por infiltración de precipitaciones

$Q_{NF}$  = Caudal por abatimiento del nivel freático

$I_R$  = Precipitación máxima en el área del proyecto. Según PAVCO WAVIN (2016), se toma el valor para un periodo de retorno de 2 años y duración de 60 minutos, entonces es 17.83 mm/hr o  $4.95 \times 10^{-6}$  m/s, tabla 11.

$B$  = Ancho de la vía dividido entre 2 ( $B/2$ ), siendo 4.30m

$L$  = Longitud del tramo de drenaje, siendo 1000m

$F_i$  = Factor de infiltración del suelo, siendo 0.67, tabla 16

$F_R$  = Factor de retención de la base, siendo 1/4, tabla 16

$K$  = Coeficiente de permeabilidad del suelo de subrasante, siendo  $1 \times 10^{-6}$  cm/s

$i$  = Gradiente hidráulico.

$N_d$  = Cota inferior del subdrén.

$N_f$  = Cota superior de nivel freático.

$A_a$  = Área efectiva de drenaje.

Sin embargo, nuestro tramo de estudio no cuenta con nivel freático, entonces su caudal es 0.

**Tabla 16***Valores recomendados para Fi y FR*

Tipo de carpeta	Fi
Carpetas asfaltadas muy bien conservadas	0.3
Carpetas asfaltadas normalmente conservadas	0.4
Carpetas asfaltadas probablemente conservadas	0.5
Carpetas de concreto de cemento Portland	0.67
Tipo de carpeta	FR
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

Ahora, reemplazando los datos se obtiene que el caudal de infiltración es:

$$Q_{inf} = 4.95 \times 10^{-6} m/s \times 4.3m \times 1000m \times 0.67 \times 0.25$$

$$Q_{inf} = 3.57 \times 10^{-3} m^3/s$$

Por lo tanto, el caudal total será:

$$Q_T = 3.57 \times 10^{-3} m^3/s$$

$$Q_T = 3.57 l/s$$

### 3.4.2. Evaluación del geotextil a usar en el geodren

Para la evaluación del geotextil se toman los siguientes criterios:

Criterio de Retención (TAA):

En este criterio, el Tamaño de Apertura Aparente del geotextil debe ser menor a 0.30 mm, ya que se tiene suelo cohesivo con índice de plasticidad mayor a 7. Para ello, el geotextil a elegir es el Geotextil No Tejido, donde en la figura 17 se muestra las propiedades hidráulicas. Asimismo, en el Anexo 1 se muestra las especificaciones técnicas del geotextil.

## Figura 17

### Especificaciones del Geotextil No Tejido

GEOTEXTIL NO TEJIDO DE FILTRO (PP)			
PROPIEDADES HIDRÁULICAS	NORMA	UNIDAD	VALOR
Tamaño de apertura aparente	ASTM D4751	mm (N°. Tamiz)	0.180 (80)
Permitividad	ASTM D4491	s <sup>-1</sup>	2.9
Permeabilidad	ASTM D4491	cm/s	46 x 10 <sup>-2</sup>
Tasa de flujo	ASTM D4491	L/min/m <sup>2</sup>	8109

Nota. De “Diseño de Infraestructura con Geosintéticos”, por PAVCO WAVIN, 2016. (<https://www.geosoftpavco.com/libro/DisenoDeInfraestructuraConGeosinteticos-DecimaEdicion.pdf>).

De acuerdo con la figura 17, el TAA del geotextil es 0.18mm, lo cual es menor a 0.30mm, por lo tanto cumple.

Criterio de permeabilidad:

Como se sabe, el tipo de suelo que presenta es fino; entonces, se debe cumplir que la permeabilidad del geotextil ( $K_g$ ) debe ser mayor a 10 veces la permeabilidad del suelo ( $K_s$ ).

Por lo tanto:

$$K_g > 10 \times K_s$$

$$4.6 \times 10^{-3} > 10 \times 10^{-6}$$

$$4.6 \times 10^{-3} > 10^{-5} \quad \textbf{Cumple}$$

Criterio de colmatación:

Se opta por los geotextiles No Tejidos punzados por agujas, debido a que es óptimo para evitar obstrucción de materiales y tiene porosidad mayor al 50%.

#### 3.4.3. Cálculo hidráulico para la escogencia del geocompuesto

Para el geocompuesto, se evalúa según la permitividad del sistema de subdrenaje, cuyas ecuaciones por emplear son las siguientes:

$$\Psi_{req} = \frac{Q}{\Delta h \times H \times L}$$

$$\Psi_{adm} = \frac{\Psi_{ult}}{FR_{SCB} \times FR_{CR} \times FR_{IN} \times FR_{CC} \times FR_{BC}}$$

$$FS_g = \frac{\Psi_{adm}}{\Psi_{req}} > 1$$

Donde:

$\Psi_{req}$  = Permitividad requerida del geotextil

$Q$  = Caudal total a evacuar

$\Delta h$  = Altura del geodren

$H$  = Altura del geocompuesto

$L$  = Longitud del tramo

$\Psi_{adm}$  = Permitividad admisible

$\Psi_{ult}$  = Permitividad última del geocompuesto

$FR_{SCB}$  = Factor de reducción por colmatación y taponamiento, Anexo 2.

$FR_{CR}$  = Factor de reducción por fluencia, Anexo 2.

$FR_{IN}$  = Factor de reducción por intrusión, Anexo 2.

$FR_{CC}$  = Factor de reducción por colmatación química, Anexo 2.

$FR_{BC}$  = Factor de reducción por colmatación biológica, Anexo 2.

$FS_g$  = Factor de Seguridad del geotextil, Anexo 2.

Por lo tanto, reemplazando los datos:

$$\Psi_{req} = \frac{0.00357 \text{ m}^3/\text{s}}{1\text{m} \times 0.6\text{m} \times 1000\text{m}} = 5.95 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

$$\Psi_{adm} = \frac{2.9 \text{ s}^{-1}}{2 \times 2 \times 1.2 \times 1.2 \times 1.2} = 0.42 \text{ s}^{-1}$$

$$FS_g = \frac{0.42 \text{ s}^{-1}}{5.95 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}} = 70514316 > 1 \text{ Cumple}$$

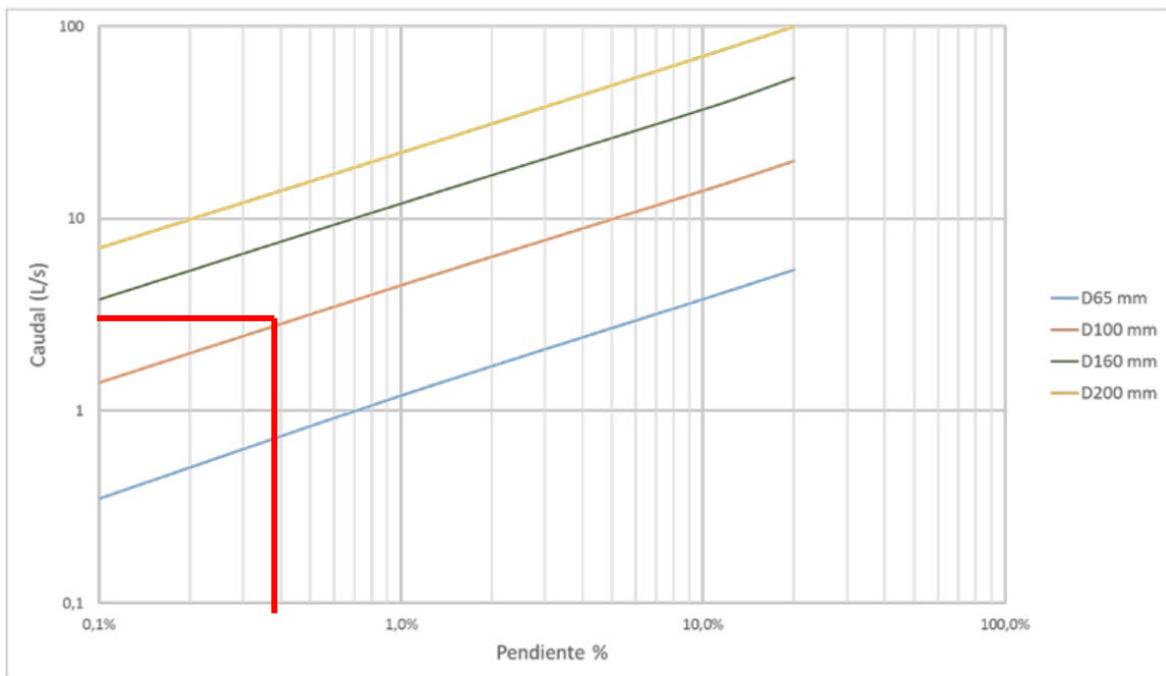
### 3.5. Evaluación del sistema de drenaje

#### 3.5.1. Evacuación de aguas pluviales captadas por el geodren

Ahora hallamos el diámetro de la tubería, teniendo en cuenta que la pendiente a usar es de 0.5% y el caudal hallado 3.57 l/s. Entonces según la figura 18, el diámetro de la tubería será de 160mm (6”).

#### Figura 18

*Nomograma para el cálculo del diámetro de tubería a usar*



*Nota.* De “Diseño de Infraestructura con Geosintéticos”, por PAVCO WAVIN, 2016. (<https://www.geosoftpavco.com/libro/DisenoDeInfraestructuraConGeosinteticos-DecimaEdicion.pdf>).

#### 3.5.2. Análisis del sistema propuesto para mejorar la evacuación de aguas pluviales

Ahora se comprueba los resultados mediante el Software Geosoft, donde la figura 19 muestra los parámetros del caudal. El siguiente paso es la selección del geodren vial, figura 20. Luego, se ingresan los parámetros de diseño del geodren como se muestra en la figura 21. En consecuencia, se obtiene los resultados en la figura 22, donde se verifica que cumple con todos los criterios. Finalmente, se obtiene el diseño del geodren en la figura 23.

Figura 19

Parámetros del caudal

Geosoft - Diseño de Geodren vial\_Corman\_Oriondo.pvo4

Geosoft® | Sistemas de subdrenaje en vías

Parámetros Caudal | Selección Diseño | Parámetros Diseño | Resultados | Reporte

**Caudal por infiltración**  
Precipitación máxima horaria de frecuencia anual  $i_R$  17.83 mm/h  
Ancho de la sembanca de la vía B 4.3 m  
Longitud del tramo de drenaje L 1000.0 m  
Factor de infiltración  $F_i$  0.67 Carpetas de concreto de cemento...  
Factor de retención de la base  $F_r$  0.25 Bases bien gradadas, en servicio ...  
Caudal por infiltración 3.57 l/s  
Suelo de sitio Otros

**Caudal por abatimiento de nivel freático**  
 Estimar aporte por abatimiento  No estimar aporte por abatimiento  
Permeabilidad del suelo en contacto con el subdrén K 0.0 m/s  
Cota inferior del subdrén  $N_d$  0.0 m  
Cota superior del nivel freático  $N_f$  0.0 m  
Caudal por abatimiento de nivel freático l/s

**Caudal de diseño**  
 $Q_{total} = 3.57 + = 3.57$  l/s

**Tipo de suelo de subrasante**  
 Arenas, arenas gravosas, arenas limosas y arenas arcillosas (menos del 50%, pasa tamiz #200)  
 Suelos arenosos mal gradados  
 Suelos finos (mas del 50%, pasa tamiz #200)

Para consultas y soporte técnico: [ingenieriageosinteticos@wavin.com](mailto:ingenieriageosinteticos@wavin.com) Aplicación desarrollada por el Depto. de Ingeniería GEOSINTÉTICOS PAVCO WAVIN - Todos los derechos reservados

Figura 20

Selección del geodren vial

Geosoft - Diseño de Geodren vial\_Corman\_Oriondo.pvo4

Geosoft® | sistemas de subdrenaje en vías

Parámetros Caudal | Selección Diseño | Parámetros Diseño | Resultados | Reporte

**Geodrén Vial**

**Filtro Francés**

Para consultas y soporte técnico: [ingenieriageosinteticos@wavin.com](mailto:ingenieriageosinteticos@wavin.com) Aplicación desarrollada por el Depto. de Ingeniería GEOSINTÉTICOS PAVCO WAVIN - Todos los derechos reservados

**Figura 21**

*Parámetros de diseño del geodren*

Geosoft® | Sistemas de subdrenaje en vías

Parámetros Caudal | Selección Diseño | **Parámetros Diseño** | Resultados | Reporte

**Geodren Vial**

Altura: 1.0 m  
 Diámetro de la tubería: 160.0 mm  
 Pendiente de la tubería: 0.5 %

**Material drenante**: Grava  
 Ángulo de fricción  $\phi$ : 0.0 grad [°]  
 Peso específico  $\gamma$ : 0.0 Ton/m<sup>3</sup>

**Material del sitio**  
 Permeabilidad del suelo en contacto con el subdrén K: 1E-6 cm/s

**Criterio de retención**  
 Usar criterio recomendado TAA < 0.3 mm  
 Definir criterio propio TAA < 0.3 mm  
 Por curva Granulométrica

**Parámetros de la curva granulométrica**  
 D<sub>50</sub>: 0.1 mm

**Factores de reducción**

Geodren Vial	Geotextil		
FR <sub>CR</sub> : 2.0	FR <sub>CC</sub> : 1.2	FR <sub>SCB</sub> : 2.0	FR <sub>IN</sub> : 1.2
FR <sub>IN</sub> : 1.2	FR <sub>CB</sub> : 1.2	FR <sub>CR</sub> : 2.0	FR <sub>CC</sub> : 1.2
			FR <sub>CB</sub> : 1.2

Para consultas y soporte técnico: ingenieriageosinteticos@wavin.com Aplicación desarrollada por el Depto. de Ingeniería GEOSINTÉTICOS PAVCO WAVIN - Todos los derechos reservados

**Figura 22**

*Resultados del diseño*

Geosoft® | Sistemas de subdrenaje en vías

Parámetros Caudal | Selección Diseño | Parámetros Diseño | **Resultados** | Reporte

**Capacidad hidráulica tubería de drenaje**  
 Caudal que es capaz de transportar la tubería: 8,32 l/s  
 Observación: El diámetro de la tubería es adecuado

**Criterio de retención**  
 TAA < 0,3 mm  
 Observación: El medio filtrante del geodren es adecuado

**Criterio de permeabilidad  $K_g > K_s$**   
 Observación: Permeabilidad adecuada

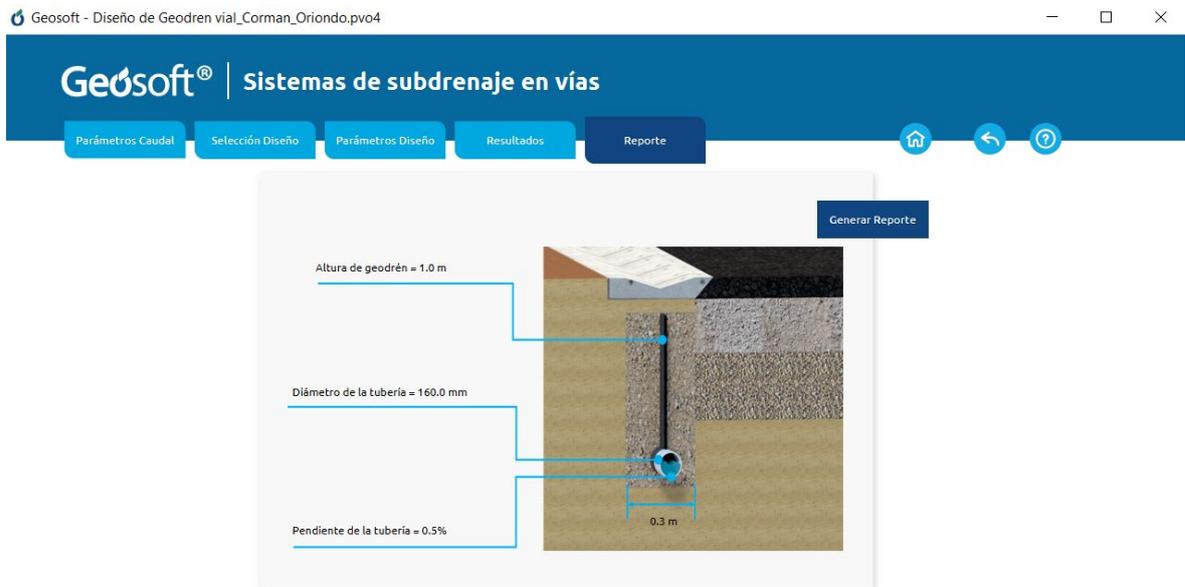
**Evaluación según la permitividad del sistema**  
 0,347222222  
 $FS_g > 3$   
 0,000003567  
 Observación: Permitividad adecuada

**Conducción del agua en el plano del geocompuesto**  
 0,000146138  
 $FS_g = 40,97$   
 0,000003567  
 Observación: Geocompuesto adecuado

Para consultas y soporte técnico: ingenieriageosinteticos@wavin.com Aplicación desarrollada por el Depto. de Ingeniería GEOSINTÉTICOS PAVCO WAVIN - Todos los derechos reservados

## Figura 23

### Diseño del geodren



Para consultas y soporte técnico: [ingenieria@geosinteticos.com](mailto:ingenieria@geosinteticos.com) Aplicación desarrollada por el Depto. de Ingeniería GEOSINTÉTICOS PAVCO WAVIN - Todos los derechos reservados

## CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

En base a los objetivos planteados, se tiene que:

La zona de estudio está ubicada en Picota, San Martín, con una altitud de 243.02 m.s.n.m. El tramo por estudiar fue del Km 14+000 al Km 15+000 presentando una pendiente de 0.5%; tipo de suelo CH (Arcilla inorgánica de alta plasticidad), según la clasificación SUCS. Por último, la estación meteorológica más cercana fue la estación Picota.

Con la información obtenida de la estación Picota, se tiene las precipitaciones máximas para los diferentes periodos de retorno, se mostraron en la tabla 8. Mientras que en la tabla 13, se mostraron los caudales.

El IMDA para el año 2043 fue de 1159 veh/día, con un ESAL de 2834743. Luego en la tabla 15, se presentó los datos para hallar el espesor del pavimento rígido. Por último, en la tabla 17, se obtiene los espesores y en la figura 24, el diseño del pavimento.

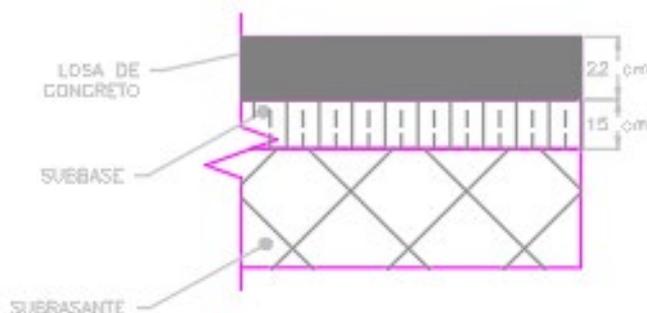
**Tabla 17**

*Espesor del pavimento*

Descripción	Espesor (cm)
Losa de concreto	22
Subbase	15

**Figura 24**

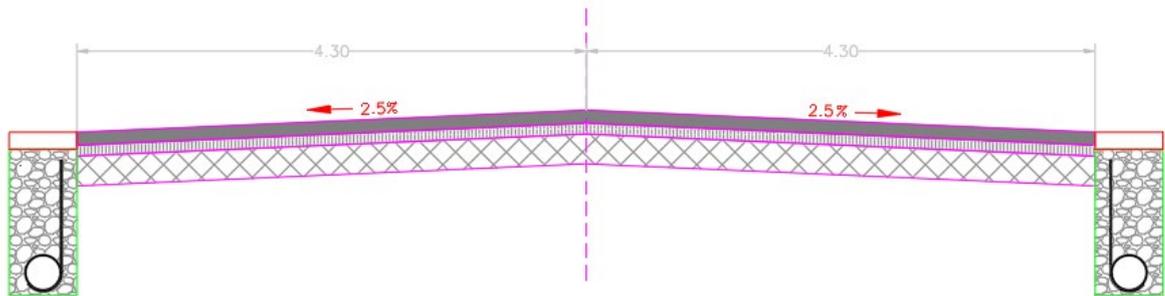
*Detalles del pavimento rígido*



A continuación, se presentará en la figura 25 el esquema final del diseño propuesto para el presente trabajo de investigación. Además, los detalles de la sección transversal del geodren se detallan en la figura 26.

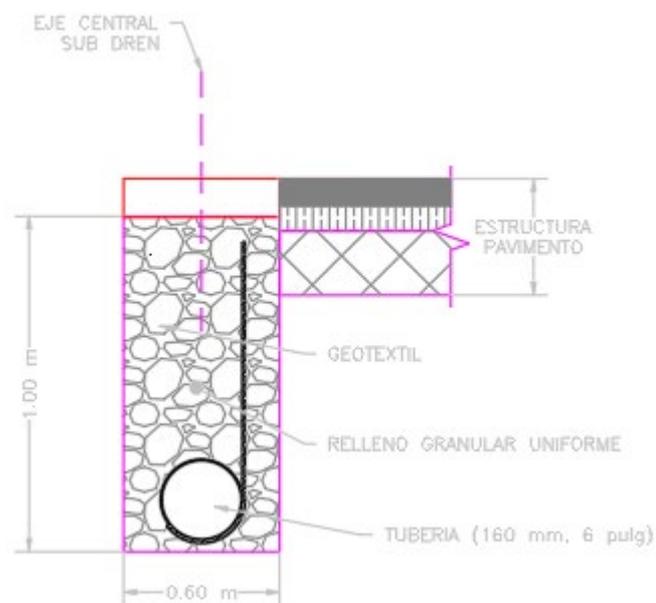
**Figura 25**

*Esquema final de diseño*



**Figura 26**

*Sección transversal del geodren*



Se realizó el cálculo de caudales por infiltración para los diferentes períodos de retorno, donde los resultados se muestran en la tabla 18. De dicha tabla se observa que el caudal mayor es para un período de retorno de 200 años. Asimismo, se evaluó los diámetros de las tuberías para ver si cumplía con los caudales. Por lo tanto, la dimensión mínima de la tubería a utilizar debe ser de 160 mm.

**Tabla 18***Verificación de diámetros para la tubería*

Período de retorno (años)	Q (l/s)	Caudales máximos (l/s)			
		Diámetro 65 mm	Diámetro 100 mm	Diámetro 160 mm	Diámetro 200 mm
		0.84	3.05	8.29	15.25
2	3.57	X	X	✓	✓
5	4.07	X	X	✓	✓
25	5.12	X	X	✓	✓
50	5.65	X	X	✓	✓
100	6.24	X	X	✓	✓
200	6.89	X	X	✓	✓

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES**

- Se estudió el tramo del Km 14+000 al Km 15+000 de la carretera SM-107, obteniendo una pendiente de 0.5%, con el tipo de suelo CH. Respecto a la estación meteorológica más cercana a la zona de estudio fue la estación Picota.
- Se obtuvo las precipitaciones máximas mensuales y con ellos se calculó los caudales máximos para los periodos retorno de 2, 5, 25, 50, 100 y 200 años cuyos resultados fueron 0.024 m<sup>3</sup>/s, 0.028 m<sup>3</sup>/s, 0.035 m<sup>3</sup>/s, 0.039 m<sup>3</sup>/s y 0.047 m<sup>3</sup>/s respectivamente.
- El pavimento rígido tiene una losa de concreto de 22.00 cm de espesor y una subbase de 15.00 cm de espesor. Cabe resaltar que se diseñó para 20 años y con un ESAL de 2 834 743. Asimismo, en esta investigación no se estudió los materiales para el pavimento, ni el diseño de mezcla para el concreto.
- Se concluye que el geodren tiene una dimensión de 0.60 cm de ancho y 1.00 m de alto; también se considera que el relleno a utilizar es la grava, el geotextil a usar es el geotextil no tejido de filtro.
- Se hallaron los caudales máximos por infiltración para los diferentes periodos de retorno, luego se verificó que se cumplan con los caudales máximos para los diferentes diámetros de tubería del geodren, concluyendo que debe ser de 160 mm como mínimo.
- Por último, la hipótesis planteada es acertada, ya que el geodren evacua de aguas pluviales sin dificultad. Pues el uso de los geocompuestos como sistemas de drenaje es eficiente en el aspecto constructivo, económico e ingenieril.

## **CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES**

- Se recomienda aplicar el diseño planteado, para mayores áreas afectadas por intensas lluvias. De esta manera se tendría una solución óptima para evitar inundaciones en diferentes zonas del país.
- Como se sabe el fenómeno del niño trae consecuencias como inundaciones, deslizamientos, etc.; por lo que se recomienda tener actualizadas las precipitaciones mensuales máximas, ya que con esos datos varía las características del geodren.
- Se sugiere realizar un nuevo estudio de tráfico, puesto que la zona de estudio se encuentra en crecimiento y en consecuencia se tendría un nuevo diseño del pavimento.
- Se recomienda implementar un manual para el uso de geodrenes, ya que en la normativa que se rige actualmente no es muy específico.
- Se debe tener en cuenta que, para una mayor duración de los geodrenes, es recomendable que las entidades públicas correspondientes realicen el mantenimiento de las carreteras cada cierto período.

## CAPÍTULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *Método AASHTO 93 para el diseño de pavimentos rígidos*.  
<https://hugoalcantara.files.wordpress.com/2014/02/disec3b1o-aashto-93.pdf>.
- Andina. (2023, 25 de enero). Región San Martín en alerta por lluvias intensas y peligro de inundaciones. <https://andina.pe/agencia/noticia-region-san-martin-alerta-lluvias-intensas-y-peligro-inundaciones-926556.aspx>
- Arivalagan, J., Indraratna, B., Rujikiatkamjorn, C., & Warwick, A. (2022). Effectiveness of a Geocomposite-PVD system in preventing subgrade instability and fluidisation under cyclic loading. *Geotextiles and Geomembranes*, 50(4), 607–617.  
<https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2022.03.001>
- Artica, D., & De la Cruz, J. (2023). *Comparación del pavimento permeable con los pavimentos rígidos y flexibles para la mejora del drenaje en el estacionamiento del aeropuerto de Jauja*. [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de tesis PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/25283>
- Cholewa, M., & Plesiński, K. (2021). Performance comparison of geodrain drainage and gravel drainage layers embedded in a horizontal plane. *Materials*, 14(21).  
<https://doi.org/10.3390/ma14216321>
- Consorcio Proyecto Picota. (2021). *Resumen Ejecutivo Proyecto “Mejoramiento Del Servicio De Transitabilidad De La Carretera Departamental Rut Sm-107, Tramo: Emp. Sm-107 (Pte. Picota)-Tngo De Ponaza Del Distrito De Picota, Provincia De Picota-Departamento De San Martín.”* <https://acortar.link/ISYkyv>.
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2023). Informe de emergencia no 1355 - 25/4/2023 / COEN - INDECI / 19:55 horas (Informe N° 114). <https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2022/09/INFORME-DE-EMERGENCIA-No-1506-4OCT2022-LLUVIAS-INTENSAS-EN-LA-PROVINCIA-DE-PICOTA-SAN-MARTÍN-14.pdf>
- Kalore, S. A., & Sivakumar Babu, G. L. (2023). Hydraulic design of granular and geocomposite drainage layers in pavements based on demand-capacity modeling.

- Geotextiles and Geomembranes*, 51(5), 131–143.  
<https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2023.06.001>
- Kim, S., Gopalakrishnan, K., Ceylan, H., & Steffes, R. F. (2014). Performance evaluation of roadway subdrain outlets in Iowa. *Transportation Research Record*, 2462, 68–76.  
<https://doi.org/10.3141/2462-09>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_2950.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf).
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos*. [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/MANUALES\\_DE\\_CARRETERAS\\_2019/MC-05-14\\_Seccion\\_Suelos\\_y\\_Pavimentos\\_Manual\\_de\\_Carreteras\\_OK.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES_DE_CARRETERAS_2019/MC-05-14_Seccion_Suelos_y_Pavimentos_Manual_de_Carreteras_OK.pdf)
- Naranjo, J., & Alvarado, M. (2012). *Diseño del subdrenaje vial en la vía La Tranca - Tambo Viejo de 3.6 Km. Ecuador*. [Tesis de licenciatura, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional Universidad de Cuenca.  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/761>
- PAVCO WAVIN. (2016). *Diseño de Infraestructura con Geosintéticos*. <https://www.geosoftpavco.com/libro/DisenoDeInfraestructuraConGeosinteticos-DecimaEdicion.pdf>
- PAVCO WAVIN. (2021). *Geodrén Vial*. [https://pavcowavingeosinteticos.com/fichas/Geodren\\_Vial\\_FT2021.pdf](https://pavcowavingeosinteticos.com/fichas/Geodren_Vial_FT2021.pdf)
- Ponomarev, A. B., Konyushkov, V. V., Lushnikov, V. V., & Kirillov, V. M. (2019). Impact of non-cavity drainage systems on the bearing capacity of the roadbed. *Water and Ecology*, 24(4), 47–53. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2019.24.4.47-53>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2023a). *Descarga de datos Meteorológicos*. Ministerio Del Ambiente.  
<https://www.senamhi.gob.pe/site/descarga-datos/>

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2023b). *Avisos meteorológicos*.  
<https://www.senamhi.gob.pe/servicios/?p=aviso-meteorologico-detalle&a=2023&b=9121&c=00&d=SENA>
- Suaréz, J. (2012). *Deslizamientos. Tomo II: Técnicas de Remediación*.  
<https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-ii-tecnicas-de-remediacion/>
- Vías PUCP. (2021, 02 de junio). *Drenaje de pavimentos en carreteras*. Recuperado el 14 de septiembre de 2023, de <http://blog.pucp.edu.pe/blog/viaspucp/2021/06/02/drenaje-de-pavimentos-en-carreteras/>
- Vite Cardoza, 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* [Proyecto de tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio Institucional UNP. <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/2208>

# Geodrén Vial

## ANEXOS Anexo 1

RED DRENANTE (HDPE)			
PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA	UNIDAD	VALOR

Esesor	ASTM D5199	mm	5.8
Resistencia a la compresión	ASTM D1621	kPa	700
Resistencia a la tensión	ASTM D4595	kN/m	4.8

GEOTEXTIL NO TEJIDO DE FILTRO (PP)			
PROPIEDADES HIDRÁULICAS	NORMA	UNIDAD	VALOR

Tamaño de apertura aparente	ASTM D4751	mm (Nº. Tamiz)	0.180 (80)
Permitividad	ASTM D4491	s <sup>-1</sup>	2.9
Permeabilidad	ASTM D4491	cm/s	46 x 10 <sup>-2</sup>
Tasa de flujo	ASTM D4491	L/min/m <sup>2</sup>	8109

CAPACIDAD HIDRÁULICA DE LA TUBERÍA CORRUGADA DE DRENAJE FORMULA DE PRANDTL COLEBROOK						
PENDIENTE (%)	65mm		100mm		200mm	
	v (m/s)	Q (l/s)	v (m/s)	Q (l/s)	v (m/s)	Q (l/s)

0.5	0.28	0.84	0.38	3.05	0.46	8.29	0.53	15.25
1.0	0.40	1.19	0.55	4.33	0.65	11.74	0.75	21.57
2.0	0.57	1.68	0.77	6.12	0.92	16.61	1.07	30.52
4.0	0.80	2.38	1.09	8.67	1.29	23.50	1.51	43.17
6.0	0.98	2.91	1.34	10.62	1.59	28.78	1.85	52.88
8.0	1.13	3.36	1.55	12.26	1.83	33.24	2.13	61.07
10.0	1.27	3.76	1.73	13.71	2.05	37.16	2.38	68.28

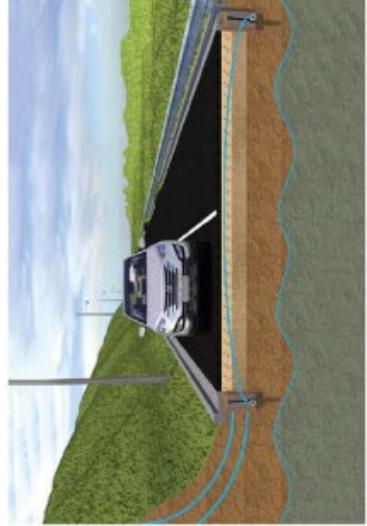


GRADIENTE HIDRÁULICO	
PRESIÓN	I=1.0
10 kPa	l/s-m
20 kPa	0.489
50 kPa	0.449
	0.391

GEOCOMPUESTO		
DIMENSIONES DEL ROLLO	LONGITUD (M)	ALTURA (M)

65	50	0.5
	50	1.0
	50	2.0
100	50	0.5
	50	1.0
	50	2.0
160	50	0.5
	50	1.0
	50	2.0
200	35	1.0
	35	2.0

\*Cada rollo incluye una unión



CONVENCIONES:  
ASTM: American Society for Testing and Materials. • N.A.: No aplica.

Operamos bajo sistemas internacionales de control de calidad. Contamos con la acreditación GM LAP (The Geosynthetic Institute).

La presente ficha técnica está vigente a partir de mayo de 2021. Nos reservamos el derecho de introducir las modificaciones de especificaciones que considere necesarias para garantizar la óptima calidad y funcionamiento de sus productos sin previo aviso. La información aquí contenida se ofrece gratis, es clara y exacta a nuestro total saber y entender; no obstante, todas las recomendaciones y sugerencias están hechas sin garantía, puesto que las condiciones de uso están fuera de nuestro control y es responsabilidad exclusiva del usuario. Por favor, verificar los datos de esta especificación con el Departamento de Ingeniería para confirmar que la información está vigente.



## Anexo 2

### Factores de reducción para geotextiles aplicados como drenaje

Área	Colmatación FRSCB	Reducción de vacíos por creep FRCR	Intrusión en los vacíos FRIN	Colmatación química FRCC	Colmatación biológica FRBC
Filtros en el espaldón muros de contención	2.0 a 4.0	1.0 a 2.0	1.0 a 1.2	1.0 a 1.2	1.0 a 1.3
Sistemas de subdrenaje	2.0 a 10	1.0 a 1.5	1.0 a 1.2	1.2 a 1.5	2.0 a 4.0**
Filtros de control de erosión	2.0 a 10	1.0 a 1.5	1.0 a 1.2	1.0 a 1.2	2.0 a 4.0
Filtros en rellenos sanitarios	2.0 a 10	1.5 a 2.0	1.0 a 1.2	1.2 a 1.5	2.0 a 5.0**
Drenaje por gravedad	2.0 a 4.0	2.0 a 3.0	1.0 a 1.2	1.2 a 1.5	1.2 a 1.5
Drenaje a presión	2.0 a 3.0	2.0 a 3.0	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3	1.1 a 1.3

\*Si bloques de concreto o rip rap cubren la superficie de los Geotextiles, use los valores superiores o incluya un factor de reducción adicional.

\*\*Los valores pueden ser particularmente más altos por alta alcalinidad del agua subterránea.

\*\*\*Los valores pueden ser más altos por un extremadamente alto contenido de microorganismos y/o crecimiento de organismos y raíces de plantas o vegetación.