

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Una Institución Adventista

Análisis del comportamiento en la subrasante de un pavimento flexible convencional, red vial San Juan del Oro – Quispicanchis, Puno

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero civil

Por:

Nain Mendoza Chambilla
Erika Lizeth Quispe Calisaya

Asesor:

Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticona

Juliaca, noviembre de 2022

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

Rina Luzmeri Yampara Ticona, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: **“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO EN LA SUBRASANTE DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE CONVENCIONAL, RED VIAL SAN JUAN DEL ORO – QUISPICANCHIS, PUNO”** constituye la memoria que presentan los Bachilleres **Nain Mendoza Chambilla** y **Erika Lizeth Quispe Calisaya** para obtener el título de Profesional de Ingeniero Civil, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad de los autores, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 25 días del mes de noviembre del año 2022

..... 

Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticona
Asesor



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a... 22 día(s) del mes de... noviembre del año 2022, siendo las... 16:30 horas, se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, Filial Juliaca, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: Ing. Nelson Duberly Pari Lusi, el secretario: Ing. Moises Araca Chile y los demás miembros: Mg. Edwin Pavullo Escarsena y el asesor Ing. Rina Luzmeri Yampara

Escom con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: Análisis del comportamiento en la subrasante de un pavimento flexible convencional, red vial San Juan del Oro - Quispicanchis, Puno

de el(los)/la(las) bachiller(es): a) Nain Mendoza Chambiella b) Erika Lizeth Quipe Lalisaya conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil (Nombre del Título Profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)/(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): Nain Mendoza Chambiella

Table with columns: CALIFICACIÓN, ESCALAS (Vigesimal, Literal, Cualitativa), Mérito. Row 1: Aprobado, 14, C, aceptable, Bueno

Candidato (b): Erika Lizeth Quipe Lalisaya

Table with columns: CALIFICACIÓN, ESCALAS (Vigesimal, Literal, Cualitativa), Mérito. Row 1: Aprobado, 14, C, aceptable, Bueno

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)/(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Signatures for Presidente, Asesor, and Candidato/a (a)

Signature for Miembro

Signature for Secretario

Signature for Candidato/a (b)

**Análisis del comportamiento en la subrasante de un pavimento flexible
convencional, red vial San Juan del Oro – Quispicanchis, Puno**
*Behavior analysis in the subgrade of a conventional flexible pavement, road network San
Juan del Oro - Quispicanchis, Puno*

¹ Erika Lizeth Quispe Calisaya

² Nain Mendoza Chambilla

¹ Universidad Peruana Unión. Ingeniería Civil. Juliaca, Perú. E-mail:
erickalizeth.qc98@gmail.com; mendozanain1@gmail.com

* Rina Luzmeri Yampara Ticona: rina.yampara@upeu.edu.pe

RESUMEN

El presente estudio se realizó con el objetivo de analizar el comportamiento en la subrasante de un pavimento flexible convencional del tramo San Juan del Oro a Quispicanchis, se empleó la metodología de investigación científica, de tipo aplicada, con un diseño de investigación de pre-experimental en el que se analiza las propiedades de la subrasante. Los resultados demostraron deterioros y fallas en el pavimento flexible el cual se clasifica como un estado crítico, en cuanto a las propiedades de la subrasante se determinaron que el promedio del índice de plasticidad es de 9.5% representando un alto contenido de humedad, la capacidad de soporte del suelo es apto como material de subrasante, se asumió las propiedades resultantes con los diferentes ensayos de laboratorio para proponer un diseño por el método AASHTO – 93, con la cual se hallaron espesores de 38 cm para una capa de subbase, 34 cm para una base y 5 cm de carpeta asfáltica. Concluyendo que, la actual subrasante en promedio no representa la causa principal de las fallas críticas presentados en todo el tramo de la vía, sin embargo, en ciertos puntos del tramo, la subrasante se encuentra en un estado crítico siendo un factor que genera fallas en el pavimento. Conforme a lo mencionado suponemos que las fallas y el deterioro temprano del pavimento se debe a los factores de humedad de la zona de estudio, el tráfico y asentamiento de suelos en diferentes puntos del tramo.

Palabras clave: Base, capacidad de soporte, deterioro, plasticidad, sub base.

ABSTRACT

The present study was carried out with the objective of analyzing the behavior in the subgrade of a conventional flexible pavement of the San Juan del Oro to Quispicanchis section, the applied scientific research methodology was used, with a pre-experimental research design. in which the properties of the subgrade are analyzed. The results showed deterioration and failures in the flexible pavement which is classified as a critical state, in terms of the properties of the subgrade, it was determined that the average plasticity index is 9.5%, representing a high moisture content, the capacity of soil support is suitable as a subgrade material, the resulting properties were assumed with the different laboratory tests to propose a design by the AASHTO - 93 method, with which thicknesses of 40 cm were found for a subbase layer, 30 cm for a base and 6 cm of asphalt layer. Concluding that the current subgrade on average does not represent the main cause of the critical failures presented in the entire section of the road, however, at certain points of the section, the subgrade is in a critical state, being a factor that generates failures in the pavement. In accordance with the above, we assume that the failures and early deterioration of the pavement are due to the factors of humidity in the study area, traffic and soil settlement at different points of the section.

Keywords: Base, bearing capacity, deterioration, plasticity, sub base.

1. INTRODUCCIÓN

El deterioro de los pavimentos flexibles es uno de los problemas que se puede presentar en las vías, debido a la falta de mantenimientos, por influencia de varios factores ya sean climatológicas o por la demanda excesivo de tránsito vehicular. La mayoría de las veces, los defectos del pavimento de la carretera ocurren como resultado de la deformación desarrollada en el pavimento bajo el efecto combinado de la carga del tráfico, las condiciones ambientales y los problemas geotécnicos debido a la subrasante expansiva, así mismo la causa principal en el deterioro de la vía es el agente climatológico característica de cada lugar o zona, el posible daño en drenajes o acueductos, la falta de cuidado que es encargada la administración pública ^[1]. La resistencia de la subrasante de la carretera se puede investigar realizando una prueba de relación de carga de California (CBR) en el material de la subrasante. El CBR de la subrasante de la carretera puede influir en el grosor y la profundidad generales de la construcción del pavimento de la carretera, lo que tiene un gran impacto en el costo de la construcción ^[2]. También estos caminos se ven afectados cuando pasan sobre la capa de subrasante deficiente, por lo tanto, crean fallas en la estructura del pavimento, entre tales fallas se encuentran los surcos y la fatiga que ocurren más comúnmente en la estructura de pavimento flexible ^[3].

En las subrasantes que se encuentran las arcillas ablandadas permiten la perturbación del subsuelo y la infiltración de material de la capa de subbase, base y subrasante en temporada de lluvias. Los asentamientos de la subrasante de esta magnitud causarán un exceso de problemas técnicos, fallas en la subrasante y fisuras en el pavimento. Las cualidades físicas y mecánicas de los suelos de subrasante y en las capas de pavimento estructural están cambiando como resultado del tráfico y el clima ^[4]. La capa de la subrasante presenta varios comportamientos volumétricos, la mayor parte ocurre por la variación del contenido de agua en el suelo generando cambios volumétricos ya sea expansión o contracción, también los cambios de temperatura que son absorbidas por la capa de subbase, estas pueden reflejarse en la carpeta asfáltica como deformaciones, fisuras y hundimientos ^[5]. Además, la subrasante generalmente se ve afectada por el agua subterránea y el contenido de humedad afecta el comportamiento constitutivo de los suelos de la subrasante, lo que influye aún más en el desempeño de las estructuras de pavimento en el campo ^[6]. Varios investigadores trataron de estudiar las causas del deterioro del pavimento como la mala calidad de los materiales en la construcción, drenaje deficiente, malas propiedades del suelo, sobrecarga del tráfico, suelos de subrasante expansivos, malas prácticas de construcción, supervisión inadecuada del sitio y un

mantenimiento deficiente ^[7]. También la falla del pavimento ocurre por la mezcla de una base inadecuada lo que puede causar formación de surcos excesivos sobre la capa de rodadura ^[8].

En el Perú más del 50% de las carreteras son construidas de baja calidad debido al costo elevado, otra razón es la topografía que dificulta las construcciones ^[9]. La vía pavimentada de San Juan del Oro – San Pedro de Putina Punco de la provincia de Sandia ubicada en el norte de la región Puno considerado como la selva puneña fue ejecutado en el año 2016 por la empresa constructora ICOSA, la cual fue encargada por el gobierno central para realizar un mantenimiento mediante afirmado en la zona durante un periodo de 5 años comprendida desde el año 2014 hasta el año 2018, dicho trabajo consistía en realizar un mantenimiento rutinario con afirmado, la apertura de cunetas, tapado de hoyos creados por los vehículos y demás labores para mantener una vía en buenas condiciones, sin embargo, en el año 2016 la empresa decidió realizar un pavimento flexible convencional sin un expediente que lo valide para evitar tener que realizar estos mantenimientos rutinarios que generan costos mayores que un pavimento flexible, este proyecto pasó a considerarse como mantenimiento ante el gobierno central, por este motivo no se cuenta con la información del proyecto de pavimentación. Hoy en día el pavimento presenta diversas fallas a su corto periodo de construcción fallas como: fisuras, baches, pieles de cocodrilo, hundimientos, deslizamientos debido al talud de relleno entre otros.

El clima de la selva puneña es húmedo, caluroso y presenta constantes precipitaciones, incluso el tipo de suelo es problemático para cualquier tipo de construcción en cuanto a pavimentaciones. En los últimos años en la misma zona hubo excesivas precipitaciones pluviales a comparación de años pasados y esto se debe al cambio climático, estos factores hacen que el pavimento flexible se debilite comenzando desde la subrasante hasta la carpeta asfáltica. Un factor clave que influye en el rendimiento y la vida útil de los pavimentos en funcionamiento es la fluctuación estacional del contenido de humedad provocada por factores ambientales como la precipitación, las inundaciones y la fluctuación del nivel freático ^[10].

El principal problema de las vías es la falta de mantenimiento, no se consideran periodos de vida útil para diseñar un pavimento, el cual significa que no se examina el comportamiento estructural del pavimento y es intervenida cuando el pavimento falla y se encuentra en condiciones muy graves ^[11]. Para estructuras flexibles de un pavimento, la deformación constante total se entiende como la sumatoria de deformaciones que se produce en cada espesor del pavimento, en la actualidad en las metodologías de diseño de un pavimento ya suponen que las deformaciones surgen a partir de la subrasante debido a que es la capa más propensa a las deformaciones por su baja resistencia de portar contenido de agua excesivas, llega a disminuir la capacidad portante ^[12].



Figura 1. Falla del pavimento flexible en la vía San Juan del Oro a Quispicanchis

2. METODOLOGÍA

2.1. Objetivo de la investigación

El estudio tiene por objetivo analizar el comportamiento en la subrasante de un pavimento flexible convencional del tramo San Juan del Oro a Quispicanchis, determinando las características geotécnicas y las propiedades físicas y mecánicas del suelo, además evaluar los diferentes factores externos que afecta al tramo en estudio y encontrar el factor que causa el deterioro del pavimento. De acuerdo al análisis de la sub rasante se propuso un diseño de pavimento flexible convencional para la vía estudiada.

2.2. Tipo y diseño de investigación

Se usó métodos de estudio, técnicas e instrumentos para llegar a cabo la presente investigación, “el tipo de investigación aplicada conlleva llegar a los resultados con el fin de orientar a la solución de problemas” [13], dicho el fundamento en la presente investigación se usa el tipo de investigación aplicada porque busca resolver el problema que se presenta en el pavimento flexible.

Además, “el diseño de investigación pre-experimental es el estudio de la variable independiente mas no se manipulan las variables con ningún componente químico” [14], referente al fundamento la investigación es pre-experimental porque se analiza las propiedades de la subrasante para ver el comportamiento debido a las severas fallas y deterioro observadas en la carpeta asfáltica y no se emplea ningún otro componente en las propiedades de la subrasante.

La investigación está conformada por dos tipos de variables, y una de ellas es la variable independiente que consiste en el estudio de las propiedades de la subrasante debido a que es la causa o fenómeno que se analiza, la siguiente variable es dependiente donde llega a ser el comportamiento de la subrasante de un pavimento flexible debido a que depende de otro factor para que sufra cambios.

2.3. Población y muestra

La población estuvo conformada por la vía pavimentada desde el distrito de San Juan del Oro hasta el distrito de San Pedro de Putina Punco, según el manual de carreteras (DG-2014) la vía clasificada por demanda corresponde a una carretera de tercera clase ya que el IMDA es menor a 400 veh/día con una calzada de dos carriles, de la cual se tomó como muestra un tramo representativo mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia desde el distrito de San Juan del Oro hasta el Centro poblado Quispicanchis (L=3.443km).

La cantidad de pozos exploratorios en el tramo de estudio fueron realizadas de acuerdo al siguiente criterio:

- El manual de carreteras (MTC 2014) nos menciona que las carreteras de tercera clase de una calzada de dos carriles con un IMDA entre 400-201 veh/día se requiere realizar dos calicatas por cada kilómetro con una profundidad de 1.50m respecto al nivel de subrasante ubicadas longitudinalmente en forma alternada.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas: es usada por el investigador para la recolección de datos, son recursos que ayudan en la investigación ya sean materiales, tecnologías y financieros ^[15], y se usaron las siguientes técnicas por el investigador para fortalecer la investigación: la revisión bibliográfica, exploración de campo, ubicación de los puntos de muestra, apertura de calicatas, extracción de muestras, ensayos de laboratorio, análisis e interpretación de resultados y por último la prueba de hipótesis.

Instrumentos: son comprendidas como mecanismos que facilitan al investigador para adquisición de la información de la muestra y sirven para el análisis, se pueden adaptar de acuerdo al tipo de investigación y técnicas a emplearse ⁽³⁾, en la investigación se usan los siguientes instrumentos de recolección de datos.

- Cuaderno de campo y pizarra para registro de las coordenadas UTM de los puntos de muestreo, herramientas de campo para la extracción de muestra.
- Fichas de recolección de datos para obtener información de los ensayos realizados en laboratorio.
- Software (Office Excel) donde se realiza el procesamiento de datos para hallar los resultados de cada ensayo.
- Software (SPSS) para las pruebas de estadística que corroboren los resultados obtenidos en laboratorio.

2.5. Procedimientos

Primera fase: es el inicio de la etapa que se conoce como la etapa preliminar donde se inició con una revisión bibliográfica buscando antecedentes de investigaciones similares y datos de la zona en estudio como cartas nacionales descargadas del INGEMET que detallan la zona de estudio, la cual está conformado por dos formaciones geológicas similares, una formación de

rocas metamórficas con capas de pizarra y filitas, tiene restos de pirita y algunas texturas arcillosas contenidas con abundantes graptolites y materias orgánicas.

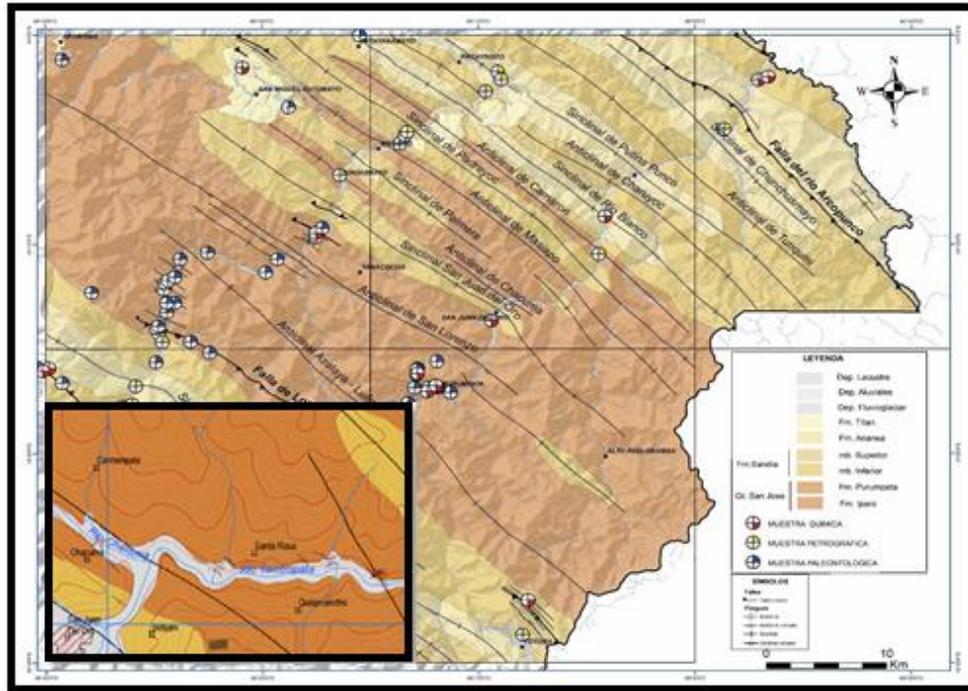


Figura 2. Mapa geológico del cuadrante Sandia 29 y San Ignacio 29z4

Luego se realizó una exploración de campo donde se recolectó la información de la condición del pavimento flexible convencional, se utilizó la técnica de observación directa para registrar algunas fallas en el tramo de estudio representando los puntos críticos, en paralelo se realizó el aforo vehicular para determinar los puntos de muestreo y también para la propuesta de diseño de pavimento flexible, finalmente se ubicó con un GPS los puntos de exploración para la apertura de calicatas.

Segunda fase: en esta etapa se realizó la apertura de calicatas de forma manual con herramientas convencionales. Las calicatas presentaron las siguientes características: 1.5m x 1.5m de ancho y una profundidad de 1.50m realizados a un lado de la vía sin interferir el tránsito regular de la zona, tal como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Tramo de estudio San Juan del Oro – Quispicanchis

Tercera fase: Para la extracción de las muestras alteradas se realizaron de acuerdo a la norma NTP 339.089 / MTC E 105. Este procedimiento consiste en colocar la muestra encima de una superficie plana, la misma que debe de estar limpia y horizontal, con el fin de no perder muestra, al homogenizar se seleccionó el material para trasladarlo al laboratorio.



Figura 4. Tramo de estudio San Juan del Oro – Quispicanchis.

Cuarta fase: en esta etapa se realiza los ensayos en laboratorio para determinar las carteristas físicas y mecánicas del material extraída de la subrasante. Las propiedades del suelo se determinaron midiendo el contenido de agua, los límites de consistencia y la densidad utilizando equipo estándar ^[16], además se realizaron los ensayos, análisis granulométrico y capacidad de soporte CBR.



Figura 5. Tramo de estudio San Juan del Oro – Quispicanchis

Nota. A: ensayo de granulometría; B: Límite líquido; C: Límite plástico; D: Proctor modificado;
E: Inmersión de los especímenes y F: ensayo de CBR

Quinta fase: considerado como la etapa de gabinete donde se procesaron los datos obtenidos en laboratorio para ser analizados e interpretados mediante tablas y figuras generados por el software Excel, además de un software para el diseño de pavimentos flexibles, se compararon los resultados obtenidos con los parámetros mínimos requeridos por el manual de carreteras (MTC 2014).

3. RESULTADOS

Se presentan los resultados después de un proceso de pre-experimentación en laboratorio del material extraída a nivel de subrasante del pavimento flexible en la vía de estudio para el tramo San Juan del Oro – Quispicanchis, donde se analizó los factores que afectan en la estructura de la vía debido a que se detectaron fisuras con pronóstico de fallas a nivel de la subrasante, para ello se analizaron las propiedades físicas y mecánicas, además se ha propuesto un nuevo diseño de la vía con la finalidad de reconstrucción y mejora, con la cual se compararon las dimensiones de la estructura de pavimento existente con la propuesta de un nuevo pavimento conforme al estudio de tráfico vehicular y los diferentes ensayos realizados en laboratorio considerados para su posterior diseño. A continuación, se muestra el tramo de estudio con sus progresivas respectivas ubicando cada pozo exploratorio.



Figura 6. Tramo de estudio San Juan del Oro – Quispicanchis

3.1. Identificación de fallas en el pavimento

En el tramo de estudio San Juan del Oro – Quispicanchis se detectaron fallas a nivel de subrasante y deterioros en la carpeta asfáltica.

Los tipos de fallas en la vía surgieron en los bordes del pavimento flexible del tramo, y existe una inestabilidad de los suelos, las cuales generan asentamientos y deslizamientos de la estructura existente. También se observó deterioro en la carpeta asfáltica por la alta humedad

de la zona, el tráfico continuo de vehículos, el clima cambiante del lugar, entre otros. A continuación, se muestran algunas imágenes que demuestra las fallas mencionadas.



Figura 7. Fallas y deterioros del pavimento flexible

Nota: A: Falla por fisuras y agrietamiento, B: Deterioro por surgimiento de huecos, C: Deterioro por la formación de piel de cocodrilo

Con las imágenes presentadas y mediante una observación directa se estimó un aproximado de 40% de fallas del total del tramo que es 3.443 kilómetros representando el 100%, de acuerdo al valor estimado la vía requiere de una evaluación inmediata tanto de la subrasante, la estructura del pavimento y factores externos que podrían desgastar la estructura, en la presente investigación únicamente se evaluó la subrasante ya que es el soporte de la estructura.

3.2. Propiedades físicas de la sub rasante

Se realizó el muestreo considerando el Manual de Carreteras indica según el tipo de carretera, la vía en estudio se clasifica Carretera de tercera clase, con un IMDA 400-201 veh/día de una calzada de dos carriles, donde corresponde realizar 2 calicatas por Km con una profundidad de 1.5 m respecto a la sub rasante de la carretera. El estudio abarca una longitud de 3.00 km, con un IMDA de 259 vehículos por día y está dentro del rango establecido por la norma MTC.

Además, según el INGEMEET en la zona de estudio está conformado por dos formaciones geológicas similares, en el tramo San Juan del Oro – Quispichis porta una formación de rocas metamórficas con capas de pizarra y filitas, tiene restos de pirita y algunas texturas arcillosas contenidas con abundantes graptolites y materias orgánicas.

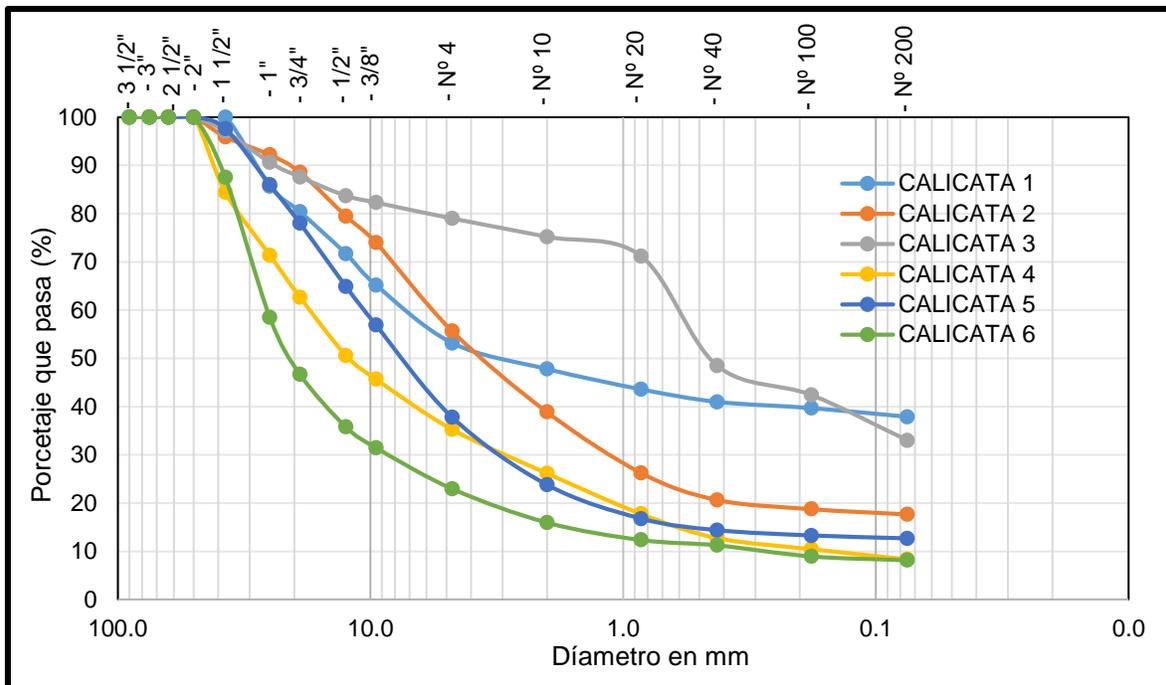


Figura 8. Resumen de curva granulométrica de cada calicata

En la Figura 8 mostramos las diferentes curvas granulométricas obtenidas por cada calicata indicándonos la distribución de las partículas de suelo en la sub rasante, así como el tamaño máximo nominal de la partícula y el tipo de suelo encontrado a lo largo del tramo San Juan del Oro - Quispicanchis. La calicata 01 posee un suelo grava arcillosa con arena, la calicata 02 un suelo grava arcillosa con arena, la calicata 03 un suelo arena arcilla-limosa con grava, la calicata 04 un suelo grava mal graduada con arcilla y arena, la calicata 05 un suelo grava arcillosa con arena y por último la calicata 06 un suelo de tipo grava mal graduada con arcilla.

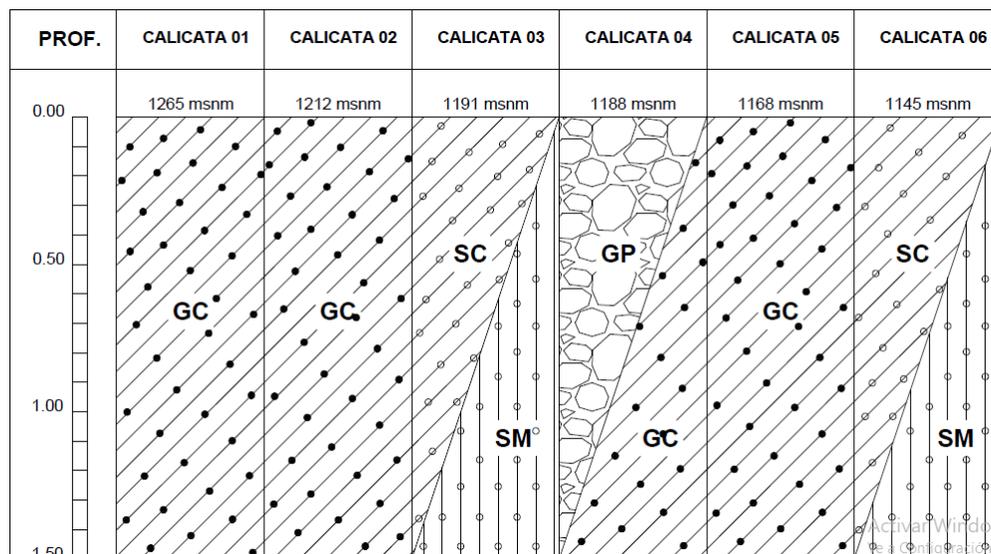


Figura 9. Perfil estratigráfico – clasificación SUCS

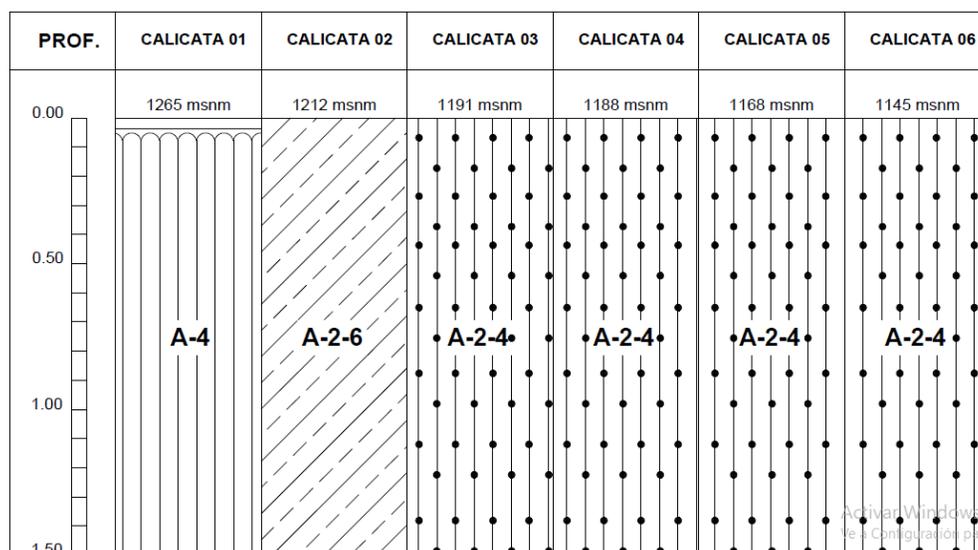


Figura 10. Perfil estratigráfico – clasificación AASHTO

En la Figura 9 y 10 se representó los perfiles estratigráficos de la clasificación de suelos en la subrasante, por SUCS en las calicatas 1, 2 y 5 se encontró suelos de grava arcillosa, mezcla de grava-arena-arcilla; en las calicatas 3 y 6 se encontró suelos combinados de arena arcillosa, mezcla de arena-arcillosa y con plasticidad muy bajo; en la calicata 4 se encontró suelos de grava mal granulada, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino y combinado con suelos de grava arcillosa, mezcla de grava-arena-arcilla. Por último, la clasificación por AASHTO en la calicata 1 se encontró un suelo limoso de característica pobre; en la calicata 2 se encontró suelos de grava y arena arcillosa o limosa de característica excelente a buena; y en las calicatas 4,5 y 6 se encontró suelos de grava y arena arcillosa o limosa de característica excelente a buena. En relación con las fallas del pavimento son los suelos de gravas arcillosas cerca de las calicatas 1, 2 y 5, además el deterioro sobre la carpeta asfáltica son suelos de arenas-gravas-arcillosas detectadas cerca de las calicatas 3, 4 y 6.

Tabla 1.

Resumen de los límites de consistencia

Límites Calicatas	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6
Límite líquido	30%	36%	22%	30%	25%	28%
Límite plástico	20%	20%	17%	21%	17%	19%
Índice de plasticidad	10%	16%	5%	9%	8%	9%

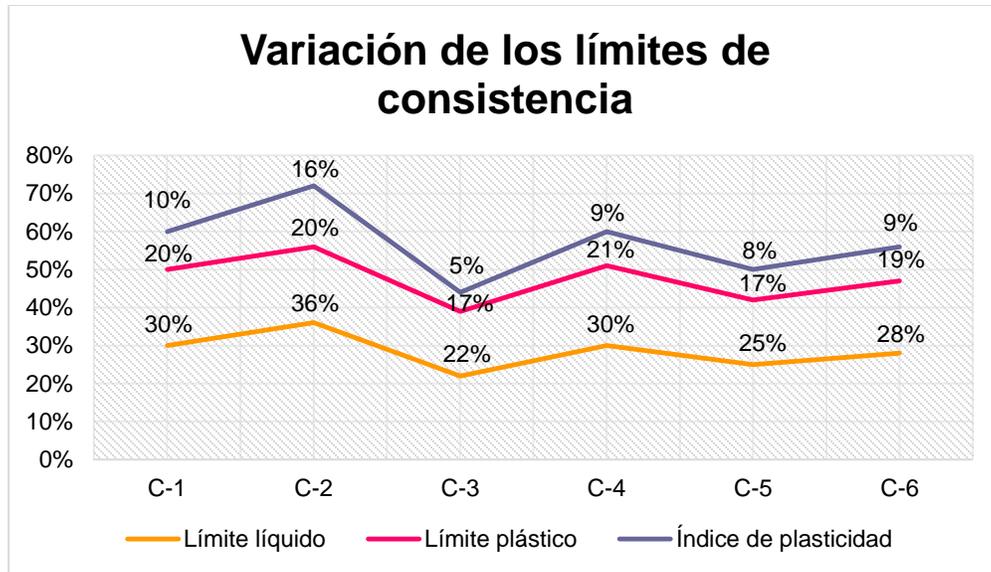


Figura 11. Variación de los límites de consistencia

En la Tabla 1 se mostraron los resultados obtenidos al realizar el ensayo de límites de consistencia para cada muestra extraída de 6 calicatas. La Figura 11 muestra la variación de los datos de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, según el manual de carreteras (MTC, 2014) elaborado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones nos presenta cuatro niveles de plasticidad entre “alta”, “media”, “baja” y “no plástico”. La calicata 01 presenta una plasticidad del 10% considerado según norma un suelo con una plasticidad media, la cual pertenece a suelos arcillosos, la calicata 02 presenta una plasticidad del 16% considerado según norma una plasticidad media, la calicata 03 presenta una plasticidad del 5% considerado una plasticidad baja según norma con un tipo de suelo poco arcilloso, la calicata 04 presenta una plasticidad media del 9%, la calicata 05 presenta una plasticidad media del 8% y por último la calicata 06 presenta una plasticidad también media del 9%. La plasticidad en el tramo evaluado oscila entre 5% a 16%, en resumen, un promedio de 9.5%, la cual estaría con una plasticidad media, considerable para una sub rasante.

3.3. Propiedades mecánicas de la sub rasante

En la Tabla 2 presentamos los resultados de las propiedades mecánicas de una sub rasante, elaborados mediante una serie de ensayos en laboratorio, posterior a ello se hizo una estimación de la calidad del material extraído comparándolo con los parámetros del manual de carreteras (MTC, 2014), elaborado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Tabla 2.

Resumen de las propiedades mecánicas de la subrasante

CALICATA	Contenido de humedad óptima	Máxima densidad seca	CBR al 95% de la MDS
C-1	8.2%	2.143	23%
C-2	7.9%	2.129	16%
C-3	10.9%	2.035	16%
C-4	7.8%	2.199	29%
C-5	7.2%	2.257	17%
C-6	8.3%	2.170	20%

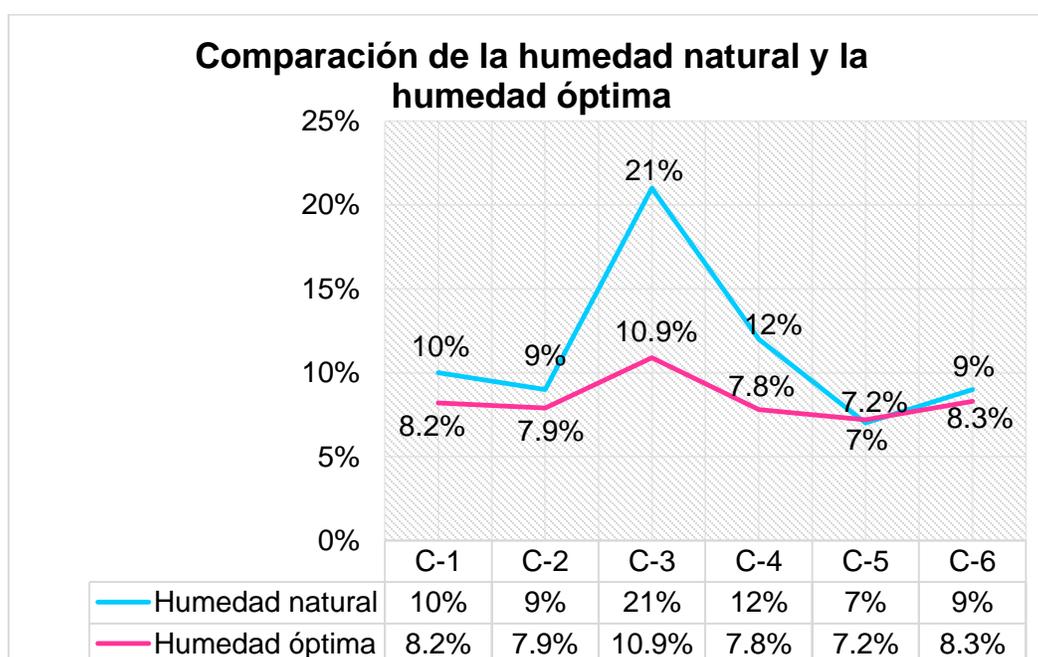


Figura 12. Resumen del CBR en una sub rasante por cada calicata.

La Figura 12 muestra un gráfico de líneas en el que se realizó una comparación entre la humedad natural obtenida de cada calicata y la humedad óptima obtenida del ensayo de Proctor modificado, según el manual de carreteras (MTC 2014) nos menciona que sí en caso el contenido de agua natural nos da un valor inferior o igual a la óptima humedad es necesario preparar una compactación normal agregando la cantidad necesaria de agua, pero si el contenido de agua natural nos resulta superior a la óptima humedad es necesario incrementar la energía de compactación, airar el suelo o cambiar el material saturado existente. En nuestros resultados obtuvimos una humedad natural superior a una humedad óptima especialmente en la calicata 03 donde la variación es cercana al 50% respecto a la humedad óptima, con esto indicamos que la

muestra natural presenta un alto contenido de agua no adecuada para su funcionamiento como subrasante, Asimismo mencionamos que al momento de realizar la extracción de muestras en cada calicata se tuvo un nivel freático elevado en la calicata 3 por lo que estaríamos afirmando los resultados obtenidos en laboratorio.

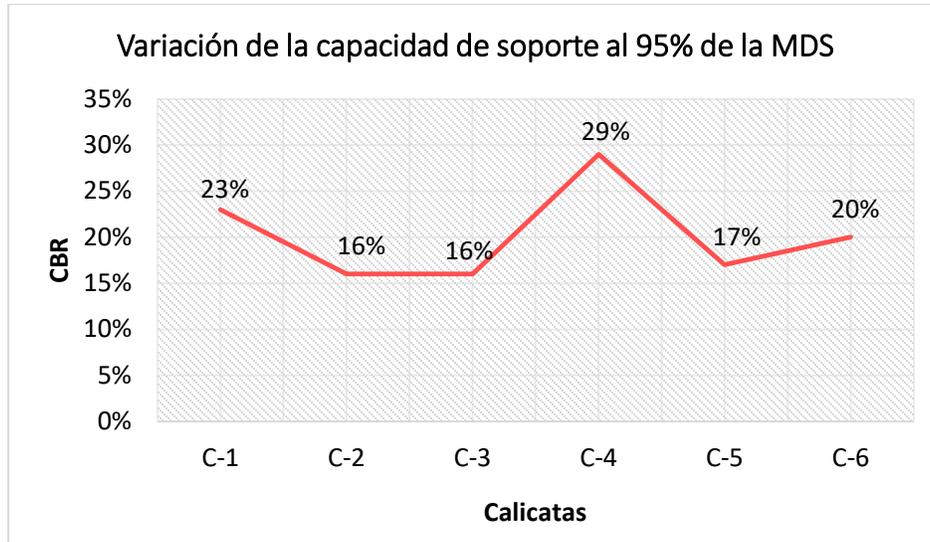


Figura 13. Resumen del CBR en una sub rasante por cada calicata

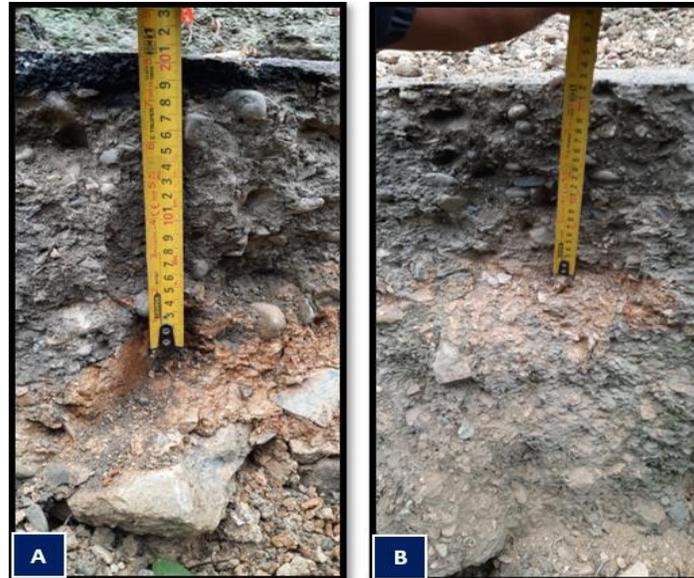
La Figura 13 nos muestra los resultados obtenidos de CBR al 95% de la MDS por cada calicata a nivel de Sub rasante, para la primera calicata tenemos un CBR del 23%, la cual está según norma en una categoría de S4: Sub rasante muy buena, la calicata 02 presenta un CBR de 16% considerado en la categoría de S3: Sub rasante buena, la calicata 03 presentó un CBR también del 16%, la calicata 04 presentó un CBR del 29%, la cual está considerado en una categoría de S4: Sub rasante muy buena, la calicata 05 presentó un CBR de 17% considerado en la categoría S3: Sub rasante buena y finalmente la calicata 06 presentó un CBR del 20% considerado en una categoría S3: Sub rasante buena. Cada una de las calicatas presentan CBR entre buena y muy buena según los parámetros del manual, con esto se afirma que el suelo en la sub rasante del tramo estudiado presentan una capacidad de soporte adecuados, en la cual una estructura de pavimento flexible puede asentarse con normalidad.

3.4. Propiedades físicas y mecánicas del material de la estructura del pavimento

Para analizar la estructura del pavimento flexible se extrajo muestras de dos calicatas en el tramo de estudio al inicio y al final, detallados en la siguiente Tabla:

Tabla 3.*Detalles de las calicatas*

Detalles de calicata	Ubicación	Zona	Este	Norte	Altitud	Profundidad
C-01	0+800	19L	484073.92m E	8428789.78m S	1247 msnm	0.50 m
C-02	2+850	19L	485218.86m S	8428731.03m S	1214 msnm	0.50 m

**Figura 14.** Espesores de la estructura de pavimento; A: Calicata 01 y B: Calicata 02

En la Figura 14 se muestran los perfiles estratigráficos de las dos calicatas aperturadas manualmente para obtener el material de la estructura de pavimento, en la primera calicata se muestra que la dimensión total de la estructura de pavimento es de 21.00 cm y en la segunda calicata presenta una dimensión total de 22.5 cm, se tiene una capa de asfalto y una capa de base, por debajo encontramos la subrasante, el material de carpeta asfáltica y la base fueron analizadas en laboratorio, los resultados obtenidos del material extraído de la estructura se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.*Propiedades físicas de la base granular*

Ensayos Calicatas	Contenido de humedad	Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad	Clasificación	
					SUCS	AASHTO
C-01	9.0%	27.0%	21.0%	6.0%	GP GC	A-1-a
C-02	11.0%	27.0%	20.0%	7.0%	GP GC	A-2-4
Promedio	10.0%	27.0%	20.5%	6.5%		

En la Tabla 4 se presentan los datos de las propiedades físicas obtenidos en laboratorio de las dos muestras extraídas por cada calicata, el tipo de material que presenta la muestra según SUCS es una combinación de grava mal granulada y grava arcillosa, según AASHTO el material es de tipo piedras, gravas y arena en la calicata 1 y gravas y arenas limosas o arcillosas en la calicata 2. El material de la estructura presenta un índice plástico promedio de 6.5% el cual es mucho mayor a lo establecido en el manual de carreteras que nos menciona un parámetro del 4% como máximo.

Tabla 5.

Propiedades mecánicas de la base granular

Ensayos Calicatas	Densidad máxima seca (gr/cm ³)	Contenido de humedad óptimo	CBR al 95%	CBR al 100%
C-01	2.130	8.50%	48.00%	71.00%
C-02	2.127	7.70%	42.00%	67.00%
Promedio	2.129	8.10%	45.00%	69.00%

En la Tabla 5 se presentan los datos de las propiedades mecánicas del material extraído de la estructura de pavimento, de las cuales resaltamos que el CBR al 100% de la máxima densidad seca es en promedio 69%, considerándose un CBR no apto para una capa de base granular, ya que el manual de carreteras nos menciona un mínimo de CBR del 80%, sin embargo, el material si cumple para una subbase, debido a que el mínimo requerido según norma es del 40% como mínimo.

3.5. Propiedades de la carpeta asfáltica



Figura 15. Espesor de la carpeta asfáltica

En la Figura 15 se muestra la capa asfáltica del tramo de estudio, el cual presenta un espesor de una pulgada aproximadamente, el cual se regó por la superficie de una base debidamente compactada tal como se muestra en la imagen.

Tabla 6.

Características del asfalto ensayado

Del material ensayado	Peso	Porcentaje
Peso inicial seco sin lavar	958.5 gr.	
Peso final seco y lavado	900.1 gr.	
Asfalto	58.4 gr.	6.10%
Grava	327.64 gr.	36.40%
Arena	513.96 gr.	57.10%
Finos < #200	58.51 gr.	6.50%

En la Tabla 6 observamos los datos resultantes del material extraído de la carpeta asfáltica, de las cuales se ensayaron 958.5 gramos, una vez realizado el lavado se tuvo 6.10% de contenido de asfalto, para el material sin asfalto se realizó una granulometría en el que tuvimos 36.40% de grava, 57.10% de arena y 6.50 de finos.

3.6. Propiedades del talud inferior

Debido al desplazamiento de la estructura del pavimento en ciertos puntos del tramo estudiado se extrajo una muestra a una profundidad de 2.2 metros del talud inferior en el punto en donde la estructura del pavimento se desplazó (entre las progresivas 0+800 y 0+900) para realizar el ensayo de corte directo.

Respecto a los datos topográficos en el talud hallados mediante GPS tenemos lo siguiente:

- Longitud: 55m
- Altura: 25m
- Ángulo del talud: 24°
- Pendiente de talud: 45.5%

Tabla 7.

Resultados del ensayo de corte directo

Calicata	Densidad seca	Cohesión	Ángulo de fricción
C-1	1.451 gr/cm ³	0.29 kg/cm ²	13.4°

En la Tabla 7 se muestran los datos resultantes del ensayo de corte directo realizado al talud inferior, las cuales serán usadas para determinar el factor de seguridad mediante el software “slide 6.0”.

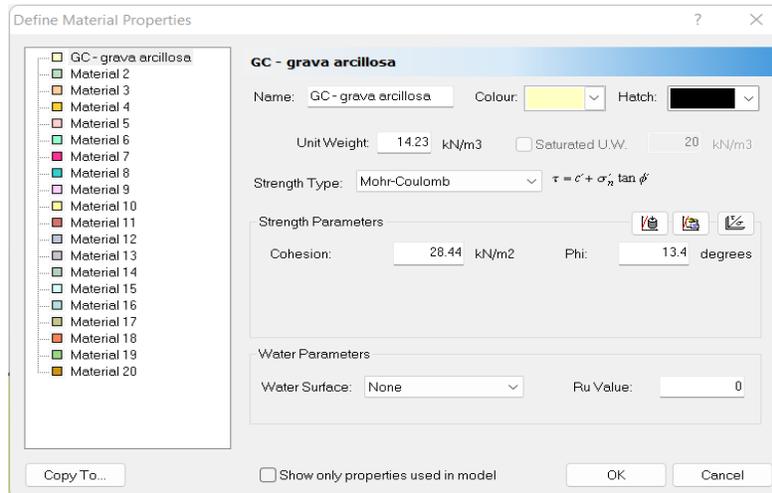


Figura 16. Datos del laboratorio colocado en el programa

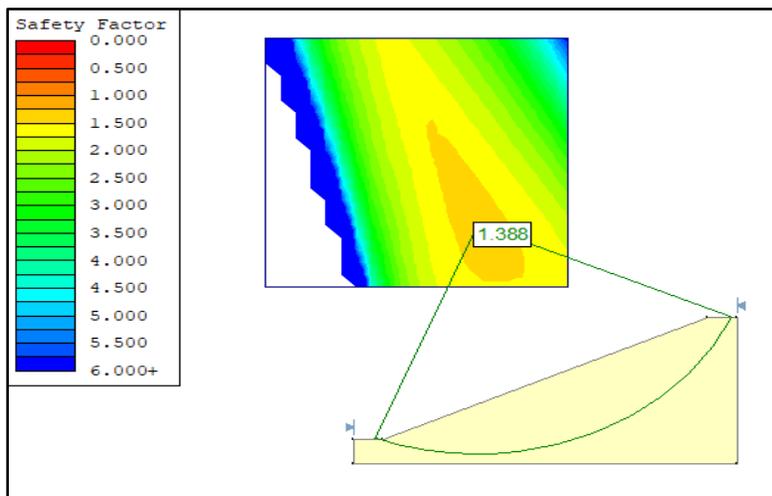


Figura 17. Factor de seguridad hallado mediante el software Slide 6.0

En la Figura 16 se muestran las propiedades del material colocados conforme a los resultados de laboratorio en el software para determinar el factor de seguridad del talud mediante Mohr-Coulumb, la cual se muestra en la Figura 17, donde nos resulta un FS=1.388, conforme al

reglamento nacional de edificaciones CE.020 nos menciona que el factor de seguridad mínima para taludes con solicitaciones estáticas deberá ser 1.50, sin embargo, el factor de seguridad determinada en el talud es menor a lo requerido por lo que se deberá seleccionar un método de estabilización.

3.7. Estudio de tráfico vehicular

Se realizó el estudio de tráfico vehicular con el propósito de evaluar los tipos de vehículos que circulan en la vía y la frecuencia durante una semana, también establecer el índice medio diario semanal (IMDS) y el índice medio diario anual (IMDA), son representadas en las siguientes gráficas.

La Figura 18 muestra el análisis del tráfico vehicular, en el tramo de estudio de San Juan del Oro a Quispicanchis se pudo clasificar los tipos de vehículos que circulan y la demanda por día. La máxima demanda de los vehículos que circulan es el PICK UP clasificada como vehículo liviano y la menor demanda de vehículos es en el camión de cuatro ejes 4E se clasifica como vehículos pesados.

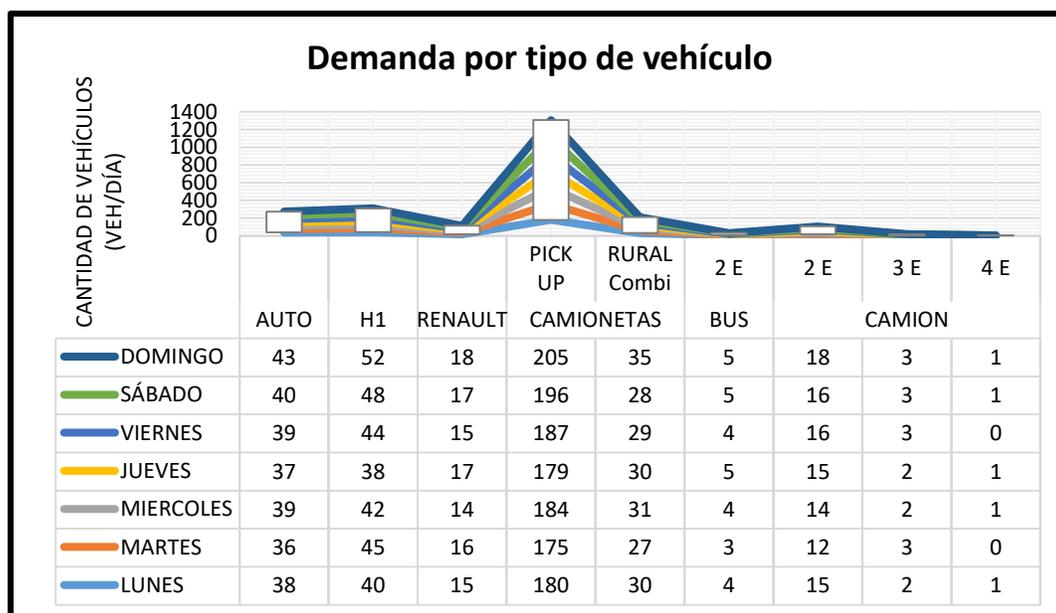


Figura 18. Análisis por tipo de tráfico vehicular

La Figura 19 muestra el análisis del tráfico vehicular total por día, donde se explica que la mayor demanda vehicular total ocurre los días domingo compuesta por los vehículos ligeros y pesados.

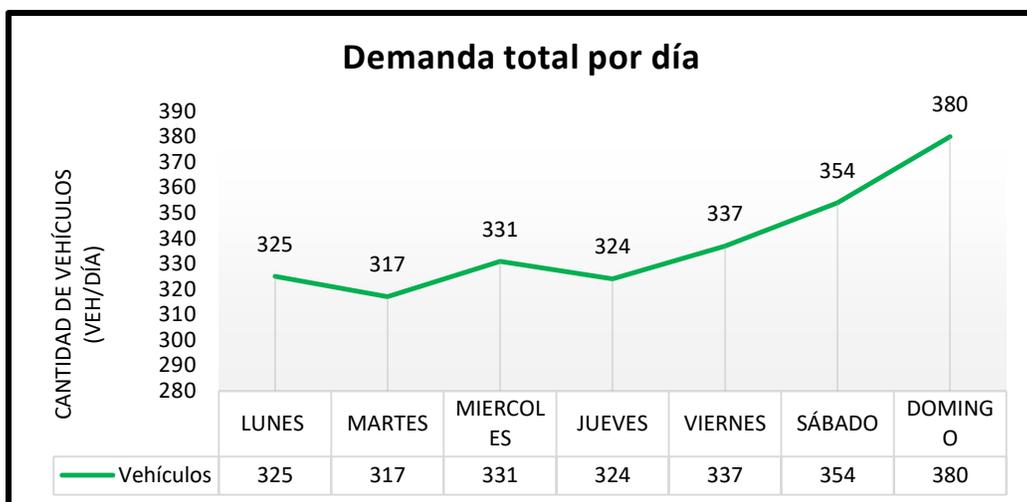


Figura 19. Análisis de tráfico vehicular por día

En la Tabla 8, se usaron factores de corrección estacional de vehículos ligeros y pesados de la unidad de peaje más próximo al lugar de estudio, para este caso la unidad de peaje que se aproxima es de Macusani, se corrigieron con los promedios de tráfico que corresponden al año 2010 – 2016 considerando el factor de corrección del mes de diciembre para determinar el IMDA.

Tabla 8.

Unidad de peaje Macusani

Factor de corrección estacional		
Mes de estudio	Vehículos ligeros	Vehículos pesados
Diciembre	0.7588	0.8424

La Figura 20 indica el análisis del índice medio diario anual IMDA representa por los tipos de vehículos que se circulan en dicha vía, según el análisis existe mayor demanda en los vehículos livianos, donde se registró Autos, H1, Renault, PICK UP y Combi rural, los vehículos PICK UP presento un índice mucho mayor que los demás vehículos se debe por su desempeño en la vía y uso, por otra parte, están los vehículos pesados y se registró buses de dos ejes, camiones de dos, tres y cuatro ejes los cuales presentaron un bajo índice ya que su escases se deben a la accidentabilidad de la vía y dificulta la transitabilidad de estos vehículos.

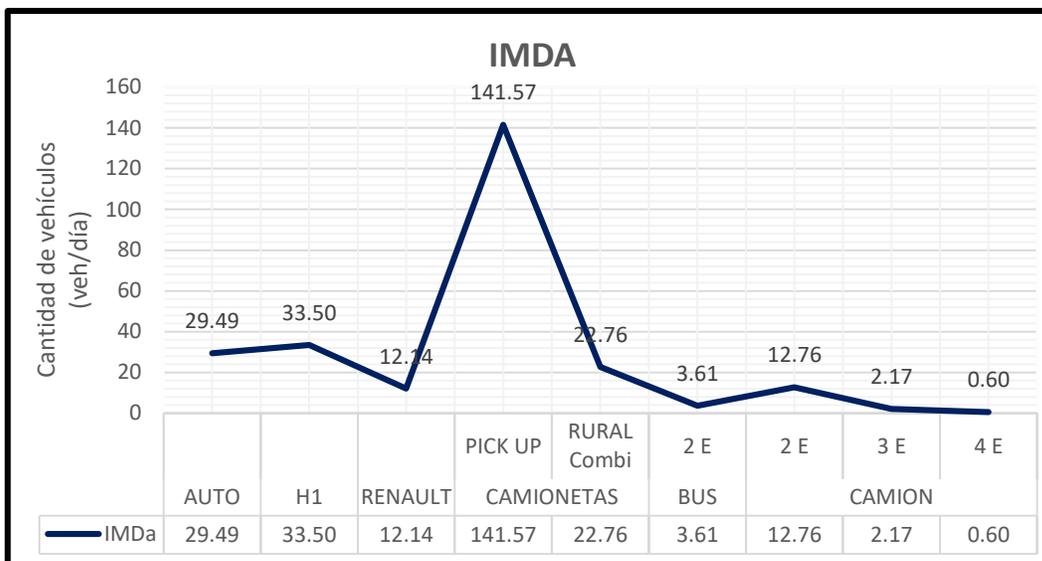


Figura 20. Análisis del IMDA de vehículos en San Juan del Oro – Quispicanchis

3.8. Población futura de vehículos

La tasa de crecimiento (TC) y el producto bruto interno (PBI) considerados para los vehículos ligeros y pesados, fueron tomados de la información actualizada en el año 2017 por la Oficina de Programación Multianual de Inversiones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (OPMI – MTC) del Formato N° 1.2 tomando en consideración el lugar de investigación ubicada en la región Puno.

Tabla 9.

Tasa de crecimiento de vehículos proyectado al año 2031

Tasa anual de crecimiento Vehículos Livianos	r (TC-VL)	0.92%
Tasa anual de crecimiento Vehículos Pesados	r (PBI-VP)	3.21%
Número de años del periodo de diseño	n	10
Tránsito actual (año base) en veh/día	To	239.00
Tránsito proyectado al año total “n” en veh/día	Ton	259.256

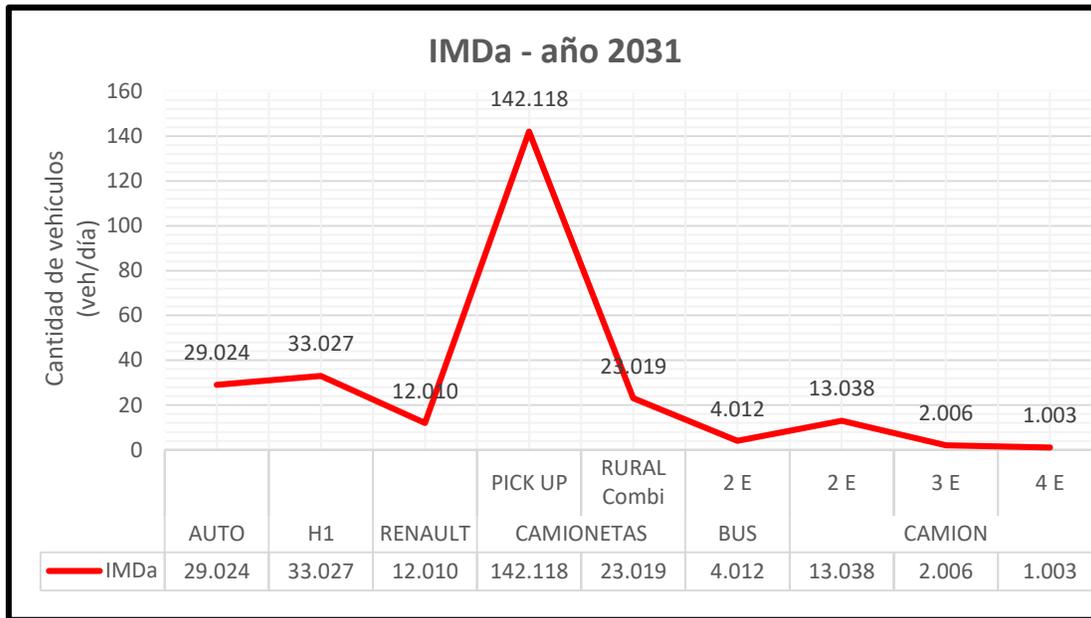


Figura 21. Análisis del IMDa con proyección al año 2031

3.9. Propuesta de diseño un pavimento flexible

La propuesta de diseño de un pavimento flexible fue uno de los fines mencionado al inicio de esta investigación, por lo que se realizó un diseño conforme al método AASHTO 93 utilizando los datos resultantes de los ensayos realizados en laboratorio con las muestras extraídas de cada calicata.

Tabla 10.

Parámetros considerados para el cálculo de ESAL de ejes equivalentes

Número de calzada	Nº	1
Número de sentido (doble sentido)	Nº	2
Número de carriles por sentido	Nº	1
Número de repeticiones de E.E. de vehículos ligeros	∑ VL	0.2519
Número de repeticiones de E.E. de vehículos Pesados	∑ VP	83.9371
Tasa anual de crecimiento vehículos ligeros (0.92%)	r - VL	0.0092
Tasa anual de crecimiento vehículos pesados (3.21%)	r - VP	0.032
Tiempo de vida útil de pavimentos (años)	n	10
Factores de Crecimiento Acumulado vehículos ligeros	Fca - VL	10.425
Factores de Crecimiento Acumulado vehículos pesados	Fca - VP	11.575
Factor de carril	Fc	1.0
Factor de distribución direccional	Fd	0.5
Numero de ejes equivalentes totales para el carril de diseño.	ESAL (W18)	177793

Tabla 11.

Parámetros considerados para el diseño del pavimento flexible

Capacidad de soporte de la subrasante	CBR %	20
Módulo de resiliencia de la subrasante	Mr(psi)	17380
Capacidad de soporte de la subbase	CBR %	40
Módulo de resiliencia de la subbase	Mr(psi)	27083.8
Capacidad de soporte de la base	CBR %	80
Módulo de resiliencia de la base	Mr(psi)	42205.4
Tipo de trafico	Tipo	Tp2
Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa (10 o 20 años)	Etapas	1
Nivel de confiabilidad	NC	70%
Coeficiente estadístico de desviación estándar normal	ZR	-0.524
Desviación estándar combinado	So	0.45
índice de serviciabilidad inicial según rango de trafico	Pi	3.8
índice de serviciabilidad final según rango de trafico	Pt	2
Diferencial de serviciabilidad según rango de tráfico	DPSI	1.8
Número Estructural Requerido para Pavimentos Flexibles (SN)	SN	1.64
Número Estructural Calculado para Pavimentos Flexibles (SN)	SN	1.65

The screenshot shows a software interface for flexible pavement design, organized into several sections:

- ESAL DISEÑO:** Includes input for "# Total de ejes Equivalentes (W18)" (177793), "Factor de Distribución Direccional (Fd)" (0.5), "Factor Camil (Fc)" (1), and a calculated "ESAL diseño" (177793).
- MATERIALES SUELO:** Shows "MODULO DE RESILIENCIA" for subgrade (Mr Subras: 17.38001 Ksi) and base (Mr base: 42.20544 Ksi).
- MATERIAL PRESTAMO:** Shows CBR and Mr values for base (CBR % base: 80, Mr base: 42.20544 Ksi) and sub-base (CBR % sub b: 40, Mr Sub b: 27.08378 Ksi).
- COEF. ESTRUCTURALES Y DRENAJE:** Contains structural coefficients (a1: 0.125, a2: 0.052, a3: 0.047) and drainage coefficients (Base m2: 1, SubBase m3: 1).
- Parámetros:** Includes "Periodo de Diseño (n)" (10), "Confiabilidad" (70%), "Zr" (-0.524), "PSI Inicial" (3.8), "PSI Final" (2), and "Desv. Estandar" (0.45).
- Número Estruct. Req (SN):** Shows a calculated "SN req" of 1.64.
- DIMENSIONAMIENTO:** Lists layer thicknesses: "D1 cm Carp. Asfalt." (5), "D2 cm BASE" (34), and "D3 cm SUBBASE" (38).
- Buttons:** Includes "MOSTRAR RECOMENDACION", "COMPROBAR", and "NUEVO". A status message reads "SNes 1.65 > SN req 1.64".

Figura 22. Cálculo del diseño estructural de un pavimento flexible

En la Figura 22 se muestra el proceso del cálculo de diseño estructural de un pavimento flexible por el método AASHTO 93 con un programa de diseño de pavimentos, en la cual se colocaron los parámetros considerados según normativa mostrados en las Tablas 10 y 11, con las que se obtuvo un número estructural requerido (SNreq) de 1.64, mediante una tabulación con los espesores colocados de la siguiente manera: 5cm de carpeta asfáltica, 34cm de base granular y 38cm de subbase, se obtuvo un número estructural calculado (SNres) de 1.65 el cual es mayor al número estructural requerido, por lo tanto los espesores colocados cumplen con la condición $SN_{res} > SN_{req}$.

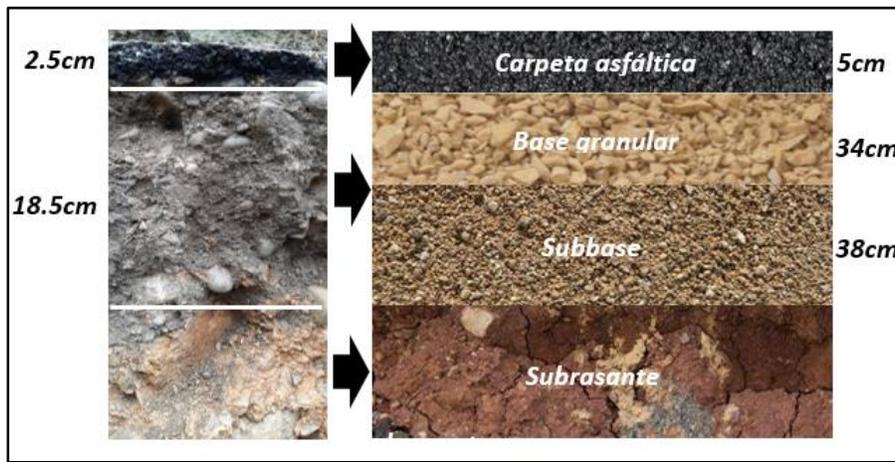


Figura 23. Comparación de espesores del pavimento flexible actual y de diseño

En la Figura 23 se muestran las capas y espesores del pavimento flexible diseñado como propuesta en esta investigación mediante la norma AASHTO 93, las cuales fueron comparadas con los espesores del pavimento actual, con esta imagen mostrada se presume que el pavimento actual no cuenta con una subbase, de acuerdo a las medidas tomadas en campo presentamos en la imagen espesores que podrían haber tenido cada capa del pavimento ejecutado. En cuanto al nuevo diseño propuesto se consideró todos los parámetros normativos y los estudios necesarios para proporcionar dimensiones adecuadas en cada capa de la estructura del pavimento para realizar una vía confortable y con materiales que cumplan el requerimiento de las normas.

4. DISCUSIONES

En la investigación cabe destacar el análisis de la subrasante en la vía San Juan del Oro a Quispicanchis, se detectaron una cantidad alta de fallas visibles en la superficie, lo cual es preocupante el estado actual de la vía. Según los ensayos realizados a nivel de la subrasante se pudo detectar los factores parciales que causan el deterioro y las fallas en el pavimento.

La subrasante presenta un alto contenido de humedad especialmente en la progresiva 1+450, esta afecta el comportamiento de la misma. De acuerdo a la clasificación de suelos según SUCS y AASHTO el material encontrado en la subrasante en su mayoría es grava arcillosa con presencia de limos y en algunos puntos arena, el material presente en gran magnitud podría causar fallas en el tramo, en los puntos que encontramos arena la filtración de agua se incrementa generando mayor contenido de agua.

La capacidad de soporte de la subrasante en el tramo es alta por lo que el material existente en la vía es adecuado y está apto para soportar una estructura de pavimento con un alto índice de tráfico vehicular. El índice de plasticidad en el tramo estudiado presenta una plasticidad media con un IP de 9.5% en promedio, considerado un suelo arcilloso, el cual podría considerarse como un factor parcial que afecta en la estructura, generando fallas en el pavimento.

El material en la estructura del pavimento es de grava mal granulada y grava arcillosa, la arcilla presenta un problema para la resistencia de un material ya que es un material en constante cambio, la gran mayoría de canteras en la zona presentan estos problemas, es decir presentan en el agregado arcilla y limos perjudicando la resistencia del material. El CBR calculado para el material extraído de la estructura del pavimento no cumple con el mínimo de 80% mencionado en el manual de carreteras, por lo que esta capa sería un factor causante de fallas a lo largo del tramo.

El talud inferior fue analizado mediante un ensayo de corte directo y algunos datos topográficos calculados mediante GPS, la pendiente del talud supera al ángulo de fricción indicándonos una inestabilidad en el talud estudiado, además el factor de seguridad calculada mediante el software slide 6.0 fue de 1.388 que indica una inestabilidad ya que la sollicitación estática mínima requerida en el RNE CE – 020 es de 1.50.

Para el estudio de tráfico en el tramo San del Oro a Quispicanchis, lo primero que se tomó en cuenta es el crecimiento económico de la población, este factor se ve estudiada para evaluar el desarrollo de la población, además el comercio va incrementando por la explotación de la minería esto generó mayor demanda de transporte interurbano, transportes pesados y

maquinarias pesadas, así mismo el consumo de combustible, alimentos de primera necesidad son de mayor importancia lo cual indica que la economía ha incrementado, por lo que el índice medio diario anual (IMDA) está en constante crecimiento y se ve obligado a proponer un diseño de pavimento adecuado.

Con los datos hallados mediante ensayos en laboratorio y estudio de tráfico vehicular IMDA se hizo un diseño de un pavimento flexible conforme a la normativa AASHTO 93, con la cual se determinó la nueva estructura del pavimento conforme a los parámetros requeridos por el manual de carreteras que sea capaz de soportar el IMDA con el CBR de la subrasante, las nuevas dimensiones sobrepasan el mínimo indicado para que la estructura funcione de la mejor manera evitando fallas tempranas en su estructura.

5. CONCLUSIONES

El trabajo de investigación demostró que la subrasante se caracteriza de un material que es apto según el requerimiento de la norma, existen factores que causan el deterioro en la carpeta asfáltica y fallas en la subrasante por el exceso de la humedad de la zona, el tráfico continuo, el clima entre otros, además los espesores del pavimento flexible demostraron que no son apropiados, para lo cual se ha propuesto un diseño empleando el método AASHTO 93 con la finalidad de establecer espesores adecuados para el tramo.

Se realizó el estudio con el propósito de ser un punto de partida para futuros proyectos de pavimentación, el estudio de suelos es una parte fundamental para diseñar un pavimento, ya que estas nos proporcionan la capacidad de soporte que posteriormente serán usados como un factor para el diseño de un pavimento, sin embargo, para algunas zonas con un terreno inestable que son fácilmente afectadas por factores externos como: precipitaciones constantes, clima, temperatura, entre otros es necesario realizar pruebas para conocer el nivel de daño que puedan causar.

En el estudio la subrasante mediante los datos obtenidos de los diferentes ensayos en laboratorio, demostraron que los datos de propiedades mecánicas como el CBR que fue en promedio 20% obtenido con la humedad óptima estuvieron dentro de los parámetros requeridos por la norma, sin embargo, El CBR natural de la subrasante es menor al CBR calculado en laboratorio por la alta humedad que presenta la vía. Las propiedades físicas como es el caso del índice plástico en promedio fue de 9.5%, el cual según norma está considerado como suelos arcillosos de mediana plasticidad, por lo cual se recomienda para un mejor análisis de CBR un ensayo INSITU para determinar el valor original de capacidad de soporte, para la alta humedad y plasticidad en ciertos puntos de la vía se recomienda una estabilización con cal y cemento que recomienda la Norma MTC para disminuir la plasticidad, si no fuera el caso retirar el material y cambiarlo. Además, se considera que la subrasante es uno de los factores parciales de las fallas del pavimento existente.

En cuanto a la estructura del pavimento se concluye que la base colocada no cumple con los parámetros mínimos de índice de plasticidad y de CBR, sin embargo, el material sería apta para una capa de subbase, de acuerdo a las dos calicatas realizadas existe una sola capa por debajo de la carpeta asfáltica, la cual se ensayó en laboratorio. el contacto de la base con la subrasante no mantiene la estabilidad por la sobrecarga e incluso llega a infiltrarse y mezclarse con la base, a causa de ello ocurre el deterioro y falla del pavimento, además existe una

irregularidad de capas, por lo mencionado se recomienda mejorar la calidad de los materiales que componen la estructura.

En diversos puntos del tramo de estudio se observaron plataformas en desplazamiento, con el estudio realizado a la subrasante y a la estructura este tipo de falla no es producto de lo mencionado, sin embargo, existen factores externos como el talud inferior que juega un papel de vital importancia ya que los bordes de la vía están cercanos al río Tambopata, en épocas de lluvia el río suele incrementar su caudal perjudicando al talud inferior generando pérdida de material y por lo tanto desplazamientos, se determinó un factor de seguridad de 1.388 el cual es menor a lo requerido por norma, es decir que el talud estudiado en la zona requiere de una estabilización, por ello recomendamos para la presente, diseñar defensas ribereñas de concreto armado para evitar efectos de erosión de las aguas que cada año aumentan su intensidad.

Otro de los factores externos que afectan al tramo de estudio, es la cantidad de agua existente, es decir, en diversos puntos encontramos riachuelos, cataratas, filtraciones de agua (ojos de agua), a su vez la zona en la que se encuentra la vía es húmeda con precipitaciones constantes entre los meses de noviembre a abril, el agua generado en la zona suele discurrir en la superficie de la estructura y también por debajo de ella, por esto se recomienda realizar obras de drenaje superficial, el pavimento debería de contar con una inclinación transversal para que el agua discurra hacia las cunetas y de estas a alcantarillas que no solo se encargarán de evacuar las aguas de las lluvias, sino que también evacuarán aguas de los riachuelos y cataratas. La alcantarilla que recomendamos es de tipo circular para facilitar el traslado, ya que ésta suele tener material sólido.

El estudio de tráfico fue incrementando con el pasar de los años por las diferentes actividades que fueron incorporadas en la zona de estudio como es el caso de la minería informal, por lo que el pavimento ya no soporta las cargas vehiculares actuales, generando deterioro en la estructura, por lo tanto, la vía necesita un pavimento que cumpla los parámetros de diseño considerando factores externos y de tráfico. Se realizó una propuesta de diseño de pavimento flexible convencional como una solución estructural para las cargas solicitadas de tráfico vehicular y reemplazar la estructura existente que no cumple con los requerimientos mínimos según la EG - 2013 de calidad de materiales para su funcionamiento.

Esta investigación presenta un estudio inicial de los diferentes factores que podrían ocasionar las fallas en la estructura del pavimento, con los datos obtenidos en laboratorio se podría mencionar que existe una vulnerabilidad geotécnica, es decir un problema de masa en la zona de estudio, por lo que se recomienda estudiar otros factores como la hidrología,

hidrogeología, geología, condiciones ambientales, etc. para determinar otras causas que inciden en el deterioro del pavimento existente.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. J. Gallardo Amaya, L. J. Quintero Lemus, and O. A. Cuanalo Campos, "Caracterización de la tipología de fallos presentados en los pavimentos de la ciudad de Ocaña Norte de Santander," *Rev. Ingenio*, vol. 13, no. 1, pp. 57–64, 2017.
- [2] S. Y. O. Amakye, S. J. Abbey, C. A. Booth, and J. Oti, "Road Pavement Thickness and Construction Depth Optimization Using Treated and Untreated Artificially-Synthesized Expansive Road Subgrade Materials with Varying Plasticity Index," *Materials (Basel)*, vol. 15, no. 8, pp. 100–123, 2022.
- [3] D. Harinder, B. Chandu, and M. Aditya, "Materials Today : Proceedings Evaluation of different types of soil subgrade using glass powder for Low-Volume Roads (LVRs)," *Mater. Today Proc.*, vol. 62, pp. 4487–4491, 2022.
- [4] K. Raja, K. Vishnuvardhan, S. Venkatachalam, P. D. Richard, T. Ramu, and S. RamKumar, "Strength and settlement of subgrade soil in southern part of Kangeyam block," *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, pp. 1–9, 2022.
- [5] J. A. Alvares, *Estabilización de subrasantes*, 1ra ed. Colombia, 2010.
- [6] J. Peng, J. Zhang, J. Li, Y. Yao, and A. Zhang, "Computers and Geotechnics Modeling humidity and stress-dependent subgrade soils in flexible pavements," *Comput. Geotech.*, vol. 120, no. January, pp. 103–413, 2020.
- [7] R. R. Salgude, S. S. Pimplikar, P. S. Kumbhar, and K. D. Shinde, "Effect of geopathic stress on flexible pavement distresses and accidents," *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, pp. 1–6, 2022.
- [8] A. E. M. M. O.G. Omer, A.M. Elsharief, "Failure Investigation for Recently Constructed Road in Khartoum State," *J Geol Resour Eng*, vol. 3, pp. 20–31, 2014.
- [9] MTC, *Sistema nacional de carreteras del Perú*. Lima - Perú, 2012.
- [10] Z. Han, S. K. Vanapalli, J. ping Ren, and W. lie Zou, "Characterizing cyclic and static moduli and strength of compacted pavement subgrade soils considering moisture variation," *Soils Found.*, vol. 58, no. 5, pp. 1187–1199, 2018.
- [11] J. E. Rabanal Pajares, "Análisis Del Estado De Conservación Del Pavimento Flexible De La Vía De Evitamiento Norte, Utilizando El Metodo Del Índice De Condición Del Pavimento. Cajamarca - 2014," 2014.

- [12] E. H. Quintana Rondón, Hugo Alexander; Reyes Lizcano, Fredy Alberto; Sánchez Cotte, “Deformación permanente de materiales fino- granulares en subrasantes,” *Tecnura*, vol. 16, pp. 140–151, 2012.
- [13] H. E. Ñaupas Paitán, Humberto; Valdivia Dueñas, Marcelino Raúl; Palacios Vilela, Jesús Josefa; Romero Delgado, *Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de la tesis*, 1ra ed. Bogotá, 2018.
- [14] R. Hernández Sampieri, *Metodología de la investigación: Las rutas Cuantitativa Cualitativa y Mixta*, 1ra ed. Ciudad de México, 2018.
- [15] J. L. Arias Gonzales, *Métodos de investigación online herramientas digitales para recolectar datos*, 1ra ed. Arequipa, 2020.
- [16] S. Sorate, R. R.; Kharat A. G.; Dharmadhikari, N. P.; Bhagwat, “Effect of Geopathic Stress on Soil Properties,” *Elixir Geosci.*, pp. 12365–12367, 2013.