

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

Estabilización de suelos en el diseño de sub-rasante de la carretera

Junín–San Pedro De Parí – Puente Upamayo

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor:

Bach. Erick Aaron PAREDES TOLENTINO

Asesor:

Dr. Favio Máximo MENA OSORIO

Cerro de Pasco – Perú – 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

Estabilización de suelos en el diseño de sub-rasante de la carretera

Junín–San Pedro De Pará – Puente Upamayo

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Reynaldo MEJIA CACERES
PRESIDENTE

Dr. José Fermin HINOJOSA DE LA SOTA
MIEMBRO

Mg. Javier LOPEZ ALVARADO
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides
Carrión Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 131-2024-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**“Estabilización de suelos en el diseño de sub-rasante de la carretera
Junín–San Pedro De Pará – Puente Upamayo”**

Apellidos y nombres de los tesisistas:

Bach. PAREDES TOLENTINO, Erick Aaron

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. MENA OSORIO, Favio Maximo

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Geológica

Índice de Similitud

28 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 03 de junio del 2024



Firmado digitalmente por MEJIA
CACERES Reynaldo FAU
20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 03.06.2024 06:16:35 -05:00

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada en primer lugar a Dios, ya que gracias a Él pude haber llegado a donde hoy en día me encuentro, en segundo lugar, a mis padres, Lucio Paredes Caro, y Victoria Tolentino Hinostroza y hermanos, Néstor, Ana, Julio, Estivenson y Gabi Q.E.P.D por su apoyo incondicional y continuo durante toda mi carrera universitaria.

Erick Aaron Paredes Tolentino

Cerro de Pasco, diciembre 2022

AGRADECIMIENTO

Reconozco y agradezco a Dios por la oportunidad de brindarme el estudiar esta hermosa carrera la cual me ha llenado de satisfacciones, logros y desarrollo profesional y personal, aunque con todo ello también llegaron los días de desvelo y sacrificio, agradezco también:

A mis padres por la paciencia y el apoyo incondicional desde mis primeros años de formación hasta hoy en día.

A mis hermanos por el apoyo incondicional motivándome siempre a seguir estudiando.

A mi asesor Dr. Favio Máximo Mena Osorio y Jurados calificadores, Dr. Reynaldo Mejía Cáceres, Dr. José Fermin Hinojosa De La Sota, Mg. Javier Lopez Alvarado. A cada uno de ellos por darme soporte durante el desarrollo del proyecto.

RESUMEN

La presente tesis titulada “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS EN EL DISEÑO DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA JUNÍN - SAN PEDRO DE PARI - PUENTE UPAMAYO”. El presente trabajo tiene como objetivos específicos: Describir las características geológicas de los suelos de la zona en estudio, analizar las características geotécnicas de la zona en la determinación de la estabilización de la subrasante de la carretera Junín – San Pedro de Parí – Puente Upamayo. Los materiales que nos ayudó durante esta investigación son: bolsa de muestreo, GPS, planos geológicos, planos geomorfológicos, spray, pico, pala, picota, etc. El método que se usó, es el Análisis y síntesis, que permite la descomposición de un todo en sus elementos para examinarlas en forma individual, cada una por tramos y luego se les integra para determinar una solución global.

Con el estudio efectuados los resultados fueron.

1. Las características geológicas de la zona de estudio se identificaron tramos de depósito tipo coluvial, lacustre, aluvial, así también afloramiento del grupo pucara, Fm. Condorsinga, Fm Aramachay, Fm Chambara, Conglomerado Shuco y la formación pocobamba.
2. Entre las características geotécnicas se identificaron 17 tramos con características similares en el tipo de material según la exploración realizada en la subrasante existente, de los cuales 10 tramos (Tramos N°01, 03, 05, 07, 09, 10, 12, 14, 15 y 17) no requieren ningún mejoramiento de suelos, ya que cuentan con CBR < 6%.

Finalmente, las conclusiones que reflejan la presente investigación serán para futuros trabajos de mejoramiento de suelos de dicho tramo por parte de la empresa especializada ganadora por licitación pública o directa.

Palabras clave: estudio geotécnico, estabilización de suelos, diseño de subrasante, evaluación de nivel freático, características geológicas.

ABSTRACT

This thesis is titled "SOIL STABILIZATION IN THE DESIGN OF THE SUBPASSING OF THE JUNÍN - SAN PEDRO DE PARI - UPAMAYO ROAD BRIDGE". The specific objectives of this work are: Describe the geological characteristics of the soils in the study area, analyze the geotechnical characteristics of the area in determining the stabilization of the subgrade of the Junín – Sa Pedro de Parí – Puente highway. . Upamayo.

The materials that helped us during this investigation are: sampling bag, GPS, geological plans, geomorphological plans, spray, pickaxe, shovel, pillory, etc.

The method used is Analysis and Synthesis, which allows a whole to be broken down into its elements to examine them individually, each one in sections and then integrate them to determine a global solution.

With the study carried out the results were:

1. The geological characteristics of the study area identify stretches of colluvial, lacustrine and alluvial deposits, as well as outcrops of the pucará group, Fm. Condorsinga, Fm Aramachay, Fm Chambara, Conglomerate Shuco and the Pocobamba formation.
2. Among the geotechnical characteristics, 17 sections are identified with similar characteristics in the type of material according to the exploration carried out in the existing subgrade, of which 10 sections (Sections N°01, 03, 05, 07, 09, 10, 12, 14, 15 and 17) do not require any soil improvement, since they have CBR < 6%.

Finally, the conclusions that reflect this research will be for future soil improvement works in said section by the specialized company that won through public or direct bidding.

Keywords: geotechnical study, soil stabilization, subgrade design, water table evaluation, geological characteristics.

INTRODUCCIÓN

Como componente importante en el análisis de una zona inestable es importante el estudio de suelos como herramienta útil para conocer el comportamiento del subsuelo y ayudar a contrarrestar fenómenos de remoción en masa, funciona como apoyo para la planificación y desarrollo de diferentes proyectos de ingeniería. La caracterización y estudio del subsuelo y análisis geotécnico es una alternativa para evaluar los factores naturales y antrópicos que influyen en la inestabilidad del terreno y las consecuencias que estos fenómenos acarrearán.

La base y subbase debe reunir las propiedades adecuadas para proporcionar la estabilidad de la subrasante.

Muchas veces la subrasante sufre asentamientos provocados por las inundaciones de los terraplenes, la filtración de agua en temporadas de lluvia, aumento y disminución del nivel freático. Es importante en la construcción de una carretera mantener la subrasante con la estabilidad requerida para que no se tenga problemas de subsidencia, asentamiento y hundimientos, que causa deterioro en la subrasante provocando perjuicios económicos en la población que utiliza los servicios de la carretera.

Por lo tanto, es importante realizar un estudio de las posibles estabilizaciones de la base y subbase para no tener los problemas mencionados.

Los suelos es la materia prima para elaborar la base y subbase por lo tanto debe lograrse una buena estabilización de los suelos para lograr una buena subrasante en una carretera.

Para lograr una buena carretera se requiere realizar un estudio de los suelos que van a lograr una buena base y subrasante, que permitan lograr una subrasante con las condiciones necesarias para colocar el pavimento flexible, logrando de esa manera la viabilidad del proyecto.

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE IMÁGENES	

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación	2
1.3.	Formulación del problema	3
1.3.1.	Problema general	3
1.3.2.	Problemas específicos	3
1.4.	Formulación de Objetivos	4
1.4.1.	Objetivo general	4
1.4.2.	Objetivo específico	4
1.5.	Justificación de la Investigación	4
1.6.	Limitaciones de la Investigación	4

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes del Estudio	5
2.2.	Bases Teóricas – Científicas	6
2.3.	Definición de Términos Básicos	20
2.4.	Formulación de Hipótesis	21

2.4.1. Hipótesis general	21
2.4.2. Hipótesis específicas.....	21
2.5. Identificación de Variables	22
2.6. Definición Operacional de Variables e Indicadores.....	22

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación.....	23
3.2. Nivel de Investigación.....	24
3.3. Métodos de Investigación	24
3.4. Diseño de investigación.....	24
3.5. Población y muestra	24
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	24
3.7. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.....	25
3.8. Tratamiento estadístico	25

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del Trabajo de Campo.....	27
4.2. Presentación, Análisis e interpretación de Resultados.....	59
4.3. Prueba de Hipótesis	79
4.4. Discusión de Resultados	98

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 periodo de investigacion.....	2
Tabla N° 2 Coordenadas del punto inicial y punto final de la investigación	2
Tabla N° 3 Lectura de la carga para las siguientes penetraciones	16
Tabla N° 4 Clasificación de suelos.....	19
Tabla N° 5 Identificación de Variables.....	22
Tabla N° 6 Operacionalización de las variables e indicadores	22
Tabla N° 7 Coordenadas del punto inicial y punto final de la investigación	28
Tabla N° 8 Columna Estratigráfica de la carretera Junín–San Pedro De Pará – Puente Upamayo” área de estudio.....	36
Tabla N° 9 Cuadro de caracterización geológica y geotécnica de los suelos en el tramo de estudio.	54
Tabla N° 10 Clasificación de la subrasante en el tramo (Junín – Huarmipuquio)	60
Tabla N° 11 Clasificación de la subrasante en el tramo (Huarmipuquio – Sacicucho)	61
Tabla N° 12 Clasificación de la subrasante en el tramo (Sasicucho – Paccha).....	62
Tabla N° 13 Clasificación de la subrasante en el tramo (Pacchca – Ondores).....	63
Tabla N° 14 Clasificación de la subrasante tramo (Ondores - Pari) parte 01.....	65
Tabla N° 15 Clasificación de la subrasante tramo (Ondores - Pari) parte 02.....	66
Tabla N° 16 Clasificación de la subrasante tramo (San Pedro Pará – Puente Upamayo)	67
Tabla N° 17 Resultado de CBR en las calicatas exploradas.	68
Tabla N° 18 Obtención del CBR de diseño por el método AASHTO-Tramo N°15.	69
Tabla N° 19 Valores número de ejes y percentiles.....	70
Tabla N° 20 Obtención del CBR de diseño para el tramo N°15 con el método del Instituto del Asfalto.....	70
Tabla N° 21 Sectorización de CBR en la subrasante existente.	72
Tabla N° 22 Zonas de bajo CBR en la subrasante existente.....	73

Tabla N° 23 Resumen de zonas de inundaciones y bofedales.....	74
Tabla N° 24 Índice de compresibilidad.....	75
Tabla N° 25 Resumen de zonas con presencia de suelos blandos.....	75
Tabla N° 26 Potencial de los suelos en función a la plasticidad.....	76
Tabla N° 27 Resumen de las zonas con suelos Expansivos.....	76
Tabla N° 28 Resumen de zonas con filtraciones de agua.....	77
Tabla N° 29 Resumen de Zonas con Suelo Rocoso.....	78
Tabla N° 30 Altura sobre el nivel freático.....	79
Tabla N° 31 Rango de Cemento Requerido en Estabilización Suelo Cemento.....	83
Tabla N° 32 Altura requerida según la Estabilización por Sustitución de zonas con bajos CBR.....	95
Tabla N° 33 Cuadro de tramos que requieren Estabilización con Cal.....	96
Tabla N° 34 Cuadro de tramos que requieren Estabilización Especial (Geosintéticos)	98
Tabla N° 35 Cuadro de tramos que requieren Estabilización.....	99
Tabla N° 36 Resumen de la evaluación del nivel freático.....	100
Tabla N° 37 Resumen de la selección de la altura de mejoramiento de la subrasante en suelos de baja capacidad de soporte.....	101

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen N° 1 Vista Satelital del Proyecto	3
Imagen N° 2 Definición en gráfica del CBR de laboratorio.	7
Imagen N° 3 Equipos y materiales para determinar CBR laboratorio	11
Imagen N° 4 Esquema de la estructura de un pavimento flexible.....	27
Imagen N° 5 Plano de ubicación.	28
Imagen N° 6 Geomorfología Regional.....	30
Imagen N° 7 Vista panorámica del relieve altiplánico en el área de trabajo, desde la parte más alta de Óndores.....	31
Imagen N° 8 Terraza aluvial cortada por pequeño cauce.....	32
Imagen N° 9 Imagen de ladera de pendiente moderada, compuesta de calizas y lutitas, con cobertura de depósitos coluviales.	32
Imagen N° 10 Geología Regional.....	34
Imagen N° 11 tramo de zona de estudio	35
Imagen N° 12 Km. 28+500. Afloramiento de Calizas grises de la formación Chambará, se visualiza nódulos de chert en superficie.	38
Imagen N° 13 Afloramiento de Calizas beige de la formación Aramachay en la parte alta del Km. 15+700, se visualiza el fracturamiento intenso que tiene, inestabilidad en el plano de estratificación y desprendimiento de fragmentos acumulados en su base.	39
Imagen N° 14 Km. 4+700. Afloramiento de Calizas beige y grises de la formación Condorsinga, se visualiza el fracturamiento y plano de estratificación paralelo al eje de la carretera.....	40
Imagen N° 15 Km. 30+700. Afloramiento de lutitas color beige blanquecinas en superficie de relieve plano, eje de la vía cortando el afloramiento.....	41

Imagen N° 16 Km. 33+540. Afloramiento de conglomerados color pardo rojizo, Formación Pocobamba – Miembro Shuco, clastos subredondeados de calizas del Grupo Pucará, matriz de limos rojizos.....	42
Imagen N° 17 Km. 38+000. Depósito aluvial en relieve plano, con gravas angulosas en una matriz limo-arenosa.....	43
Imagen N° 18 Depósito lacustre, siendo erosionado por un cauce de agua, Puente Chacachimpa, Km. 1+840.....	43
Imagen N° 19 Depósito coluvial, clastos angulosos de distintos tamaños, suspendidos en matriz limo-arcillosa de color rojizo, Km. 21+300	44
Imagen N° 20 Km. 21+400. Depósitos de suelos residual, roca insitu (conglomerado) meteorizándose y convirtiéndose en suelo, clastos mal seleccionados de todo tamaño, angulosos en matriz limosa-arcillosa de color rojizo.....	45
Imagen N° 21 Km. 28+880. Zona de falla en corte de carretera, en calizas del Grupo Pucará, se logra visualizar el azimut y buzamiento de los principales planos de falla (azul) casi paralelos al plano de estratificación (negro), presencia de panizo rellenando la apertura de la falla.	47
Imagen N° 22 Zona de falla geológica con apertura de 50 cm en calizas del Grupo Pucará, se logra visualizar el azimut y buzamiento del plano de falla (azul), Km. 20+860 – 20+900.....	48
Imagen N° 23 Zonificación de actividad sísmica del Perú	49
Imagen N° 24 Vista Satelital del Proyecto	59
Imagen N° 25 Confinamiento Lateral e incremento del módulo.....	90
Imagen N° 26 Mejoramiento Capacidad Portante.	91
Imagen N° 27 Efecto de Membrana tensionada.....	92
Imagen N° 28 Trabazón de las partículas en las aberturas de la geomalla.	93

Imagen N° 29 Sección típica del mejoramiento de la subrasante (cabe señalar que las alturas varían de acuerdo a su diseño de mejoramiento por sectores y al diseño geométrico de acuerdo al corte y relleno). 102

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La base y subbase debe reunir las propiedades adecuadas para proporcionar la estabilidad de la subrasante.

Muchas veces la subrasante sufre asentamientos provocados por las inundaciones de los terraplenes, la filtración de agua en temporadas de lluvia, aumento y disminución del nivel freático. Es importante en la construcción de una carretera mantener la subrasante con la estabilidad requerida para que no se tenga problemas de subsidencia, asentamiento y hundimientos, que causa deterioro en la subrasante provocando perjuicios económicos en la población que utiliza los servicios de la carretera.

Por lo tanto, es importante realizar un estudio de las posibles estabilizaciones de la base y subbase para no tener los problemas mencionados.

Los suelos es la materia prima para elaborar la base y subbase por lo tanto debe lograrse una buena estabilización de los suelos para lograr una buena subrasante en una carretera.

Para lograr una buena carretera se requiere realizar un estudio de los suelos que van a lograr una buena base y subrasante, que permitan lograr una

subrasante con las condiciones necesarias para colocar el pavimento flexible, logrando de esa manera la viabilidad del proyecto.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación Temporal

Lo datos que serán considerados dentro del trabajo de investigación se realizó de acuerdo al cronograma siguiente.

Tabla N° 1 periodo de investigacion

Actividad	oct-21	nov-21	dic-21	ene-22	feb-22	mar-22
Acopio de información						
Reconocimiento de campo						
Toma de datos						
Análisis de datos						
Redacción de informe						
Revisión de borrador informe						
Entrega de informe						

Fuente: Elaboración propia.

1.2.2. Delimitación Espacial

El área de estudio se encuentra ubicada en la región de Junín, provincia de Junín, en los distritos Junín y Óndores, con el límite departamental Pasco, se ubica entre las coordenadas:

Tabla N° 2 Coordenadas del punto inicial y punto final de la investigación

	N	E
Punto inicial	390606	8765914
Punto final	361976	8792450

Fuente: Elaboración propia.

La carretera se dispone a lo largo del área natural protegida, Reserva Nacional de Junín, en sus márgenes, centros poblados, zonas agrícolas y ganaderas.

Desde la ciudad de Lima se puede acceder a través de la carretera central Lima – Cerro de Pasco - Huánuco, ruta 3N, hasta la ciudad de Junín; donde se encuentra un empalme con el proyecto de la Carretera.

Imagen N° 1 Vista Satelital del Proyecto



Fuente: SAS.Planet

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿El análisis de estabilización de los suelos influye en el diseño de la subrasante de la carretera Junín-San Pedro de Pari – Puente de Upamayo?

1.3.2. Problemas específicos

- a) ¿Las características geológicas de los suelos influyen en el diseño de la subrasante de la carretera?

- b) ¿Las características geotécnicas de los suelos influyen en el diseño de la subrasante de la carretera?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Analizar la estabilización de los suelos en el diseño de la subrasante de la Carretera Junín – Puente de Upamayo.

1.4.2. Objetivo específico

- a) Describir las características geológicas de los suelos de la zona en estudio para la determinación de la estabilización de la subrasante de la carretera Junín – Puente de Upamayo.
- b) Analizar las características geotécnicas de los suelos de la zona en estudio para la determinación de la estabilización de la subrasante de la carretera Junín – Puente de Upamayo.

1.5. Justificación de la Investigación

En todo proyecto de carretera es necesario realizar un análisis geotécnico de los suelos para realizar la estabilización adecuada de la base y subbase de la subrasante, para lograr una adecuada pavimentación flexible. que permita lograr una carretera que no tenga problemas de asentamientos y con ello lograr el desarrollo económico adecuado de la población.

1.6. Limitaciones de la Investigación

Las limitaciones es que la inversión que se requería fue limitada, por tanto de las 115 calicatas solo se tomaron 23 muestras para el estudio del CBR.

Conociendo que las propiedades de los suelos son anisótropas podemos afirmar que las conclusiones a las que se llegan en el estudio son propias para la zona y solo pueden ser usados en forma referencial.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Estudio

2.1.1. Antecedente Local

- **En el trabajo de investigación “Estabilización de suelos arcillosos aplicando cascara de huevo y cal, carretera Cerro de Pasco – Yanahuanca, realizado por Marcelo Alberto, V.” (2019).** Concluyen que para mejorar la resistencia de un suelo arcilloso con mayor eficacia se debe utilizar la cal teniendo en cuenta que con el 9% de cal el CBR se redujo en comparación con el 6%.

2.1.2. Antecedente Nacional

- **Asimismo, en la tesis “Estudio comparativo de los ensayos California Bearing Ratio (CBR) de laboratorio y penetración dinámica de cono (PDC) en la localidad de Picsi realizado por Llanos S. A. y Reyes P. S.” (2017).** Concluyen que la resistencia de los suelos a nivel de subrasante, que es uno de los estudios prioritarios e importantes para el desarrollo de las futuras construcciones viales; y damos a conocer que se puede obtener datos de CBR laboratorio de manera rápida y sencilla, mediante el ensayo PDC in situ, estableciendo parámetros de resistencia del suelo

estudiado con un grado de confiabilidad aceptable y aplicable para el futuro diseño del pavimento.

- **En el trabajo de investigación “Estabilización de subrasante de vías en suelos expansivos con cloruro de sodio - Avenida Jacinto Ibarra, distrito de Chilca - Huancayo 2020 realizado por Quispe Ch. W.J” (2020). Utiliza el cloruro de sodio para la estabilización de la subrasante.**
- **En la tesis de Diaz Ch. G.M (2018) “Mejoramiento del CBR de un suelo arcilloso con cloruro de Sodio”. Concluye que el CBR de un suelo arcilloso como subrasante mejora hasta un 20% al adicionar porcentajes entre 14% y 18% de cloruro de sodio.**

2.1.3. Antecedente Internacional

- **En el proyecto “Comparación de los efectos de diferentes métodos de estabilización de subrasantes en arcillas bogotanas” de García C. X.A” (2015). Propone diversos métodos de estabilización en subrasantes para suelos arcillosos.**

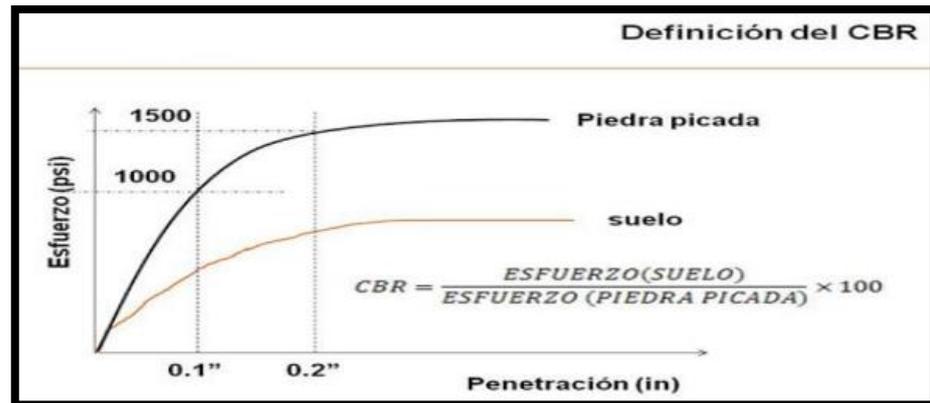
2.2. Bases Teóricas – Científicas

2.2.1. California Bearing Ratio (CBR) de laboratorio

“Este método fue propuesto en 1929 por los ingenieros T. E. Stanton y O. J. Porter del departamento de carreteras de California” (Osorio & Casas, 2011, p.23). “Desde esa fecha tanto en Europa como en América, el método CBR se ha generalizado y es una forma de clasificación de un suelo para ser utilizado como subrasante o material de base en la construcción de carreteras” (Osorio & Casas, 2011, p.23). “Durante la segunda guerra mundial, el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos adoptó este ensayo para utilizarlo en la construcción de aeropuertos” (Osorio & Casas, 2011, p.23). Definición: Sánchez (2012). “El CBR es un ensayo para evaluar la calidad de un material de suelo con base en su

resistencia, medida a través de un ensayo de placa a escala” (Sánchez, 2012). “CBR significa en español relación de soporte California, por las siglas en inglés de California Bearing Ratio, aunque en países como México se conoce también este ensayo por las siglas VRS, de Valor Relativo del Soporte” (Sánchez, 2012). Fuente: (Sánchez, 2012).

Imagen N° 2 Definición en gráfica del CBR de laboratorio.



Fuente: definiciones de (Sánchez, 2012)

Chang (2014), “El CBR de un suelo es la carga unitaria correspondiente a 0.1 ó 0.2 de penetración, expresada en por ciento en su respectivo valor estándar” (Chang, 2014). “También se dice que mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada” (Chang, 2014). “El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, que no es constante para un suelo dado, sino que se aplica solo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo” (Chang, 2014).

Núñez (2014). “Es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo bajo condiciones de densidad y humedad” (Núñez, 2014, p.76). “La metodología utilizada en la ejecución de los ensayos es la normada por ASTM-D 1883 para los ensayos de CBR de laboratorio, ASTM-D 4429-93 para los ensayos de CBR in situ” (Núñez, 2014, p.76).

El número CBR (o simplemente CBR), se obtiene de la relación de la carga unitaria (lbs/pulg², psi) necesaria para lograr una cierta profundidad de

penetración del pistón de penetración (19.4 cm²) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón (lbs/pulg² .) requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado”. (Chang, 2014) “Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para un suelo específico, determinado utilizando el ensayo de compactación estándar o modificada del experimento” (Chang, 2014).

2.2.2. Empleo

“Este método de prueba se emplea para evaluar la resistencia potencial de materiales de subrasante, subbase y base, incluyendo materiales reciclados para empleo en pavimentos de carreteras y pistas de aterrizaje. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma parte integral de varios métodos de diseño de pavimentos flexibles”. (Amaya, 2013).

- a. “Para aplicaciones en las cuales el efecto del contenido de agua de compactación sobre el CBR es bajo, tales como materiales de grano grueso sin cohesión, o cuando se permita una tolerancia en relación con el efecto de diferentes contenidos de agua de compactación en el procedimiento del diseño, el CBR se puede determinar al contenido óptimo de agua de un esfuerzo de compactación especificado. La masa unitaria seca especificada corresponde, generalmente, al porcentaje mínimo de compactación permitido al usar las especificaciones para compactación en el campo”. (Amaya, 2013)
- b. “Para aplicaciones en las cuales el efecto del contenido de agua de compactación sobre el CBR se desconoce, o en las cuales se desea tener en cuenta su efecto, el CBR se determina para un rango de contenidos de agua, usualmente el permitido para compactación en el campo empleando las especificaciones existentes para tal fin”. (Amaya, 2013).

- c. “El criterio para la preparación de especímenes de prueba de materiales auto cementantes (y otros), los cuales ganan resistencia con el tiempo, se debe basar en una evaluación de ingeniería geotécnica. Los materiales de auto cementantes, deben curarse apropiadamente hasta que se pueda medir relaciones de soporte representativas de las condiciones de servicio a largo plazo, de acuerdo con el criterio del Ingeniero”. (Amaya, 2013)

2.2.3. Equipo y materiales que se usan al realizar el ensayo de CBR:

Los equipos a hacer utilizados son:

- a. “Prensa: Similar a las usadas en ensayos de compresión, utilizada para forzar la penetración de un pistón en el espécimen. Debe tener una capacidad suficiente para penetrar el pistón en el espécimen a una velocidad de 1.27 mm/min (0.05/min) y hasta una profundidad de 12.7 mm (0.5). El desplazamiento entre la base y el cabezal se debe poder regular a una velocidad uniforme de 1.27 mm (0.05) por minuto. La capacidad de la prensa y su sistema para la medida de carga deben ser de 44.5 kN (10000lbf) o más y la precisión mínima en la medida debe ser de 44N o menos”. (Amaya, 2013)
- b. “Moldes: De metal, cilíndricos, de 152,4 mm \pm 0.66 mm (6 \pm 0.026) de diámetro interior y de 177,8 \pm 0.46 mm (7 \pm 0.018) de altura, provisto de un collar suplementario de 51 mm (2.0) de altura y una placa de base perforada de 9.53 mm (3/8) de espesor”. (Amaya, 2013)
- c. “Las perforaciones de la base deberán ser por lo menos 20 uniformemente espaciadas dentro de la circunferencia del molde, no excederán de 1,6 mm (1/16) de diámetro. La base se deberá poder ajustar a cualquier extremo del molde”. (Amaya, 2013)
- d. “Disco espaciador: De forma circular, metálico, de 150.8 \pm 0.8mm (5 15/16 \pm 1/32) de diámetro y de 61.37 \pm 0.25 mm (2.416 \pm 0.01) de espesor, para insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación”. (Amaya, 2013)

- e. “Martillos de compactación: Como los descritos en las normas INV E – 141 (equipo normal) e INV E – 142 (equipo modificado)”. (Amaya, 2013)
- f. “Aparato medidor de expansión – compuesto por” (Amaya, 2013):
- g. “Una placa de metal perforada, por cada molde, de $149.2 + 1.6$ mm ($5 \frac{7}{8} \pm \frac{1}{16}$) de diámetro, cuyas perforaciones no excedan de 1,6 mm ($\frac{1}{16}$) de diámetro. Estará provista de un vástago en el centro con un sistema de tornillo que permita regular su altura”. (Amaya, 2013)
- h. “Un trípode cuyas patas puedan apoyarse en el borde del molde, que lleve montado y bien sujeto en el centro un dial (deformímetro), cuyo vástago coincida con el de la placa, de forma que permita controlar la posición de éste y medir la expansión, con aproximación de 0.025 mm (0.001)”. (Amaya, 2013)
- i. “Sobrecargas metálicas: Unas diez por cada molde, una anular y las restantes ranuradas, con una masa de $2,27 \pm 0.04$ Kg (5 ± 0.10 lb) cada una, $149.2 + 1.6$ mm ($5 \frac{7}{8} \pm \frac{1}{16}$) de diámetro exterior y la anular con 54 mm de diámetro en el orificio central” (Amaya, 2013).
- j. “Pistón de penetración: Cilíndrico, metálico de 49.63 ± 0.13 mm de diámetro (1.954 ± 0.005), área de 1935 mm² (3 pulg²) y con longitud necesaria para realizar el ensayo de penetración con las sobrecargas precisas, pero nunca menor de 101.6 mm (4)”. (Amaya, 2013)
- k. “Dos diales (deformímetros): Con recorrido mínimo de 25 mm (1) y divisiones en 0.025 mm (0.001), uno de ellos provisto de una pieza que permita su acoplamiento en la prensa para medir la penetración del pistón en la muestra”. (Amaya, 2013).
- l. “Tanque: Con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua” (Amaya, 2013). - “Horno: Termostáticamente controlado, regulable a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F)” (Amaya, 2013).
- m. “Balanzas: Una de 20 kg de capacidad, y otra de 1000 g con sensibilidades de 5 g y 0.1 g respectivamente” (Amaya, 2013).

- b. Si el espécimen va a ser sometido a inmersión, se toma una muestra representativa del material para la determinación de humedad al comienzo de la compactación de cada espécimen y otra muestra del material restante, después de la compactación” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.5). “Usar la norma INV E – 122 para determinar el contenido de humedad” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.5). “Si el espécimen no va a ser sometido a inmersión, se toma una muestra para el contenido de humedad, de acuerdo con las normas INV E – 141 o INV E – 142 si se desea el contenido promedio de humedad” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.5).

2.2.5. Procedimiento:

- a) “Relación de soporte al contenido óptimo de humedad” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.5):
- b) “Normalmente se deben compactar tres especímenes de manera que los límites de sus densidades compactadas sean de 95% (o menos) a 100% (o mayor) de la máxima densidad seca determinada” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6).
- c) “Se ajusta el molde a la placa de base, se une el collar de extensión y se pesa con aproximación a 5 g (0.01 lb)” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6). “A continuación se insertar el disco espaciador dentro del molde y se coloca un papel filtro grueso encima del disco” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6).
- d) “Se mezcla cada una de las tres porciones de 6.8 Kg. (15 lb) con suficiente agua para obtener el contenido de humedad óptimo determinado” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6).
- e) “Se compacta la primera de las tres porciones de la mezcla de suelo - agua en el molde, usando tres capas iguales y el martillo apropiado si la densidad máxima fue determinada por la norma INV E – 141 o cinco

capas iguales si la densidad máxima fue determinada por la norma INV E – 142 para obtener una profundidad total compactada de más o menos 125 mm, compactando cada capa con el menor número de golpes seleccionados para obtener una densidad compactada del 95%, o menos, de la densidad máxima”. (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6).

- f)** “Se determina el contenido de humedad del material que está siendo compactado, al comienzo y a la terminación de este procedimiento (dos muestras)” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6).
- g)** “Cada muestra de humedad deberá tener una masa de, por lo menos, 100 g para suelos de grano fino, y 500 g para suelos de grano grueso” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6). “La determinación del contenido de humedad se debe hacer de acuerdo con la norma INV E – 122” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6).
- h)** “Terminada la compactación, se quita el collar y se enrasa el espécimen por medio de un enrasador o cuchillo de hoja resistente y bien recta” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6). “Cualquier hueco superficial producido al eliminar partículas gruesas durante el enrase, se rellenará con material sobrante sin gruesos, comprimiéndolo con la espátula” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6). “Se desmonta el molde y se vuelve a montar invertido, sin disco espaciador, colocando un papel de filtro entre el molde y la base” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6). “Se determina la masa del molde con el espécimen compactado, con aproximación a 5 g (0.01 lb)” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6).
- i)** “Relación de soporte para un rango de contenidos de humedad – Los especímenes se deben preparar de acuerdo con la Sección 4.2” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6). “Toda la compactación se debe

efectuar en los moldes de CBR. Cada espécimen usado para desarrollar las curvas de compactación para 10, 25 y 56 golpes por capa, será penetrado” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6). “En casos en los cuales la masa unitaria seca especificada está en o cerca del 100% de la máxima, será necesario incluir un esfuerzo de compactación mayor de 56 golpes por capa” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.6-7).

- j)** “Inmersión – Se coloca sobre la superficie de la muestra invertida la placa perforada con vástago, y, sobre ésta, los anillos necesarios para completar una sobrecarga tal, que produzca una presión equivalente a la originada por todas las capas de pavimento que hayan de ir encima del suelo que se ensaya, la aproximación quedará dentro de los 2.27 kg (5.0 lb) correspondientes a una pesa. En ningún caso, la sobrecarga total será menor de 4.54 kg. (10lb)”. (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7
- k)** “Se toma la primera lectura para medir la expansión colocando el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde, haciendo coincidir el vástago del deformímetro con el de la placa perforada” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7). Se anota su lectura, el día y la hora.
- l)** A continuación, se sumerge el molde en el tanque con la sobrecarga colocada dejando libre acceso al agua por la parte inferior y superior de la muestra” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7). “Se mantiene la probeta en estas condiciones durante 96 horas (4 días) con el nivel de agua aproximadamente constante, aproximadamente 25 mm (1) por encima de la superficie del espécimen” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7). “Se admite también un periodo de inmersión más corto, nunca menor de 24 horas si se trata de suelos granulares que se

aturen de agua rápidamente y si los ensayos muestran que esto no afecta los resultados” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7). “Para algunos suelos arcillosos puede ser necesario un período de inmersión superior a 4 días” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7).

- m)** “Al final del período de inmersión, se vuelve a leer el deformímetro para medir el hinchamiento” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7). “Si es posible, se deja el trípode en su posición, sin moverlo durante todo el período de inmersión” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7); “no obstante, si fuera preciso, después de la primera lectura se puede retirar, marcando la posición de las patas en el borde del molde para poderla repetir en lecturas sucesivas” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7). “La expansión se calcula como un porcentaje de la altura inicial del espécimen” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7). “Después del período de inmersión se saca el molde del tanque y se vierte el agua retenida en la parte superior del mismo, sosteniendo firmemente la placa y sobrecarga en su posición” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7). “Se deja escurrir el molde durante 15 minutos en su posición normal y, a continuación, se retiran las sobrecargas y la placa perforada. Inmediatamente, se pesa y se procede al ensayo de penetración” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7).
- n)** “Penetración – Se coloca sobre el espécimen las mismas sobrecargas que tuvo durante el período de inmersión” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7). “Para evitar el empuje hacia arriba del suelo dentro del agujero de las pesas de sobrecarga, es conveniente asentar el pistón luego de poner la primera sobrecarga sobre la muestra” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7). “Para ello, previamente se ha llevado el conjunto a la prensa y colocado el pistón de penetración en el orificio central de la sobrecarga anular” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.7-

- 8). “Después de aplicar la carga de asentamiento se coloca el resto de las sobrecargas alrededor del pistón” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.8).
- o)** “Se monta el dial medidor de manera que se pueda medir la penetración del pistón y se aplica una carga de 44 N (10 lb) para que el pistón asiente” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.8). “Seguidamente, se sitúan en cero los diales medidores, el del anillo dinamométrico, u otro dispositivo para medir la carga, y el de control de la penetración” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.8). “Para evitar que la lectura de penetración se vea afectada por la lectura del anillo de carga, el control de penetración se deberá apoyar entre el pistón y la muestra o el molde” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.8).
- p)** Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el gato o mecanismo correspondiente de la prensa, con una velocidad de penetración uniforme de 1.27 mm (0.05) por minuto” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.8). “Las prensas manuales no pre paradas para trabajar a esta velocidad de forma automática se controlarán mediante el deformímetro de penetración y un cronómetro. Se anotan las lecturas de la carga para las siguientes penetraciones” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.8):

Tabla N° 3 Lectura de la carga para las siguientes penetraciones

PENETRACIÓN	
0.63	0.025
1.27	0.050
1.91	0.075
2.54	0.100
3.18	0.125
3.81	0.150
5.08	0.200
7.62	0.300
10.16	0.400
12.70	0.500

Fuente: (Instituto Nacional de Vías, 2007)

- q) “Estas lecturas se hacen si se desea definir la forma de la curva, pero no son indispensables” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.8). “Finalmente, se desmonta el molde y se toma de los 25 mm (1”) superiores, en la zona próxima a donde se hizo la penetración, una muestra para determinar su humedad” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.8). “Su masa deberá ser de al menos 100 g si el suelo ensayado es de grano fino y de 500 g si es granular” (Instituto Nacional de Vías, 2007, p.8)

2.2.6. Productos que se utilizan para estabilizar el suelo

- a. **Cal:** La cal es un compuesto derivado del calcio que se utiliza comúnmente en la estabilización de suelos. Para el tratamiento de estos es posible utilizar cal viva (óxido de calcio –CaO) o cal hidratada (Hidróxido de Calcio, Ca (OH)₂). La cal viva se produce a partir de la transformación química del carbonato de calcio (Piedra caliza con óxido de Calcio); y la cal hidratada se obtiene cuando la cal viva reacciona con el agua (Nacional Lime Association, 2004). De acuerdo con el Manual de Estabilización de Suelo Tratado con Cal (Nacional Lime Association, 2004), para suelos de subrasante arcillosos se utiliza entre el 3 y 6% del suelo seco para la estabilización del mismo.
- b. **Terrasil (producto a base de nanotecnología):** Es un producto desarrollado a partir de organosilanos capaces de reaccionar con los silicatos presentes en el suelo y cambiar las propiedades naturales del mismo. De acuerdo con el productor, este es un agente impermeabilizante que aporta las siguientes ventajas:
- ✓ El suelo se convierte en hidrófobo de forma permanente.
 - ✓ El suelo mantiene la transpiración expulsando el agua en forma de vapor.
 - ✓ Reduce el índice de plasticidad de los suelos.

- c. **TX-85 (Polímero):** El polímero TX-85 es un producto desarrollado en Johor Malasya que es 100 % orgánico y generado a partir de la combinación de azufre orgánico y ácidos de efecto sellador. Su efecto con los suelos consiste en producir una acción estabilizante y endurecedora, mejorando la capacidad portante de los mismos (Álvarez, 2015).” Extraído de García C. X. A (2015).

2.2.7. Propiedades físicas y mecánicas de los suelos

Para caracterizar un suelo se lleva a cabo ensayos que ayudan a conocer las características físicas y mecánicas del suelo.

- a. **Análisis granulométrico:** Determinar la granulometría de un suelo es medir la dimensión de las partículas que intervienen en la constitución del suelo. En su composición los suelos presentan propiedades físicas y mecánicas, que cuantifican su comportamiento físico y mecánico, al momento de estar sometido a cargas.
- b. **Límites de consistencia:** Los límites de Atterberg se usan para describir los comportamientos de los suelos de partículas finas. Los límites de transición de una fase a otra muestran contenidos de humedad que son designados límites de Atterberg. Las características del suelo hecho por granos debidamente fraccionadas, un ejemplo de esto es la arcilla, obedece en gran fracción al contenido de humedad. La humedad formada por el agua forma una película entorno a las partículas y su grosor logra ser concluyente para generar un comportamiento del material. Para demostrar mejor el límite de Atterberg se dará un ejemplo de una porción de arcilla. Al momento de agregar agua a la arcilla, esta se halla en estado líquido, el agua chorrea con mucha facilidad, pero a medida que se volatiliza el agua contenida, va formándose algo plástica. Hay un intervalo de tiempo donde la porción de arcilla transita de estado líquido al estado plástico. El límite entre los dos estados está representado por el contenido de humedad y es denominado

límite líquido. Si sigue la disipación de agua, la porción de arcilla disminuirá plasticidad y llegará a secarse hasta alcanzar una firmeza semisólida. Se puede denominar a este proceso de cambio de estado semisólido a plástico como límite plástico. Seguidamente lograr conseguir un último límite donde se ubica en el límite del estado semisólido al estado sólido denominado como límite de contracción.

- c. **Clasificación de los suelos según (Bañon, 2010):** Una apropiada e inflexible tipificación con lleva al profesional de carreteras obtener una inicial representación aproximada del comportamiento que se esperar de un suelo para una cimentación firme. Explícitas las particularidades de las superficies, se logra evaluar con bastante acercamiento el comportamiento del suelo, fundamentalmente con la comprensión del análisis granulométrico, índice de plasticidad e índice de grupo para después poder clasificar los suelos. La simbolización de los suelos se desarrollará bajo el procedimiento expuesto en el consiguiente cuadro. Seguidamente en la tabla número 4 se muestra una correspondencia de los sistemas de clasificación más conocido, AASHTO y ASTM:

Tabla N° 4 Clasificación de suelos

Clasificación de suelos AASHTO	Clasificación de suelos ASTM
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

Fuente: Palomino Saldaña; Yelsin, 2010

- d. **Subrasante:** Es una capa que está contenido en la superficie natural, además de ser el soporte del pavimento. Cuando se hace el diseño de un pavimento se habrá que delimitar el suelo de cimentación y luego de ello realizar los ensayos insitu y en laboratorio para obtener las propiedades del

suelo. Según (Montejo Fonseca, 2002). Para hacer un diseño de pavimentos se corresponden suponer cuatro componentes significativos. El inicial es el tránsito, importa para dar dimensiones al pavimento, según las cargas para las cual va ser diseñado durante el tiempo de diseño acogido. Seguidamente otro componente es el clima, es de suma importancia suponer los efectos de las lluvias y los cambios de temperatura en el deterioro del pavimento, también este constituyente interviene en la resistencia. Seguidamente otro factor es el material útil, ya que en algunos lugares de diferentes accesos es difícil encontrar un material conveniente por eso se debe seleccionar el más adecuado que esté relacionado a la economía y tiempo. Y por último otro constituyente es la calidad de la capa que está en función del espesor del pavimento, sea esta flexible o rígida como medida de valoración se hace los ensayos en laboratorio para determinar su deformación y cambios volumétricos de los suelos expansivos que generan daños al pavimento como agrietamientos o fisuras. Según el CBR se caracterizarán 6 clases de subrasante:

- ✓ S0: Subrasante de baja calidad o inadecuada (CBR < 3%)
- ✓ S1: Subrasante pobre (CBR = 3% - 5%)
- ✓ S2: Subrasante regular (CBR = 6 – 10 %)
- ✓ S3: Subrasante buena (CBR = 11 - 19%)
- ✓ S4: Subrasante buena calidad o muy buena (CBR = 20 - 29%)
- ✓ S5: Subrasante Excelente (CBR > 30%)

2.3. Definición de Términos Básicos

2.3.1. CBR: California bearing ratio

Es un ensayo que mide la resistencia del suelo a la penetración, para lograr una cierta profundidad dentro de una muestra compactada del suelo; comparando la carga vs penetración.

2.3.2. Subrasante:

Es la superficie del camino sobre la cual se apoyará la estructura de un pavimento. Pudiendo estar constituida por el suelo natural del corte o de la parte superior de un relleno debidamente compactado.

2.3.3. Contenido de humedad:

Es un ensayo que permite determinar la cantidad de agua en una muestra de suelo al momento de ser extraído, definiéndose como la relación entre el peso del agua y el peso de los sólidos.

2.3.4. Densidad:

Es un indicativo de la relación peso por volumen del suelo, y está en relación a la porosidad. A mayor contenido de materia orgánica, más poroso y menos denso será el suelo

2.3.5. Geomalla:

es un geosintético robusto, ideal para estabilizar superficies, terrenos, cimentaciones o caminos. Utilizadas comúnmente para aplicaciones de refuerzo. Se fabrican principalmente a partir de materiales poliméricos, normalmente polipropileno (PP), polietileno de alta densidad (HDPE) y poliéster (PET).

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El análisis de la estabilización de los suelos si influye en el diseño de la subrasante de la carretera Junín- Puente de Upamayo.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a. Las características geológicas de los suelos si influyen en el diseño de la subrasante de la carretera.
- b. Las características geotécnicas de los suelos si influyen en el diseño de la subrasante de la carretera.

2.5. Identificación de Variables

Tabla N° 5 Identificación de Variables

Variables	Concepto	Indicador	Aspecto Geológico/Geotécnico
Independiente: Estabilización de los suelos	Procesos mecánicos o químicos que generan la estabilidad del suelo.	-Tipos de suelos -% de aditivos químicos	-Clasificación según SUCS y AASHTO - el % de diferente aditivo químico, dependerá de la calidad de suelo
Dependiente: Diseño de la subrasante de la carretera	Cálculo del espesor de la subrasante	-Número de CBR.	-Los valores de CBR cercanos a 0% representan suelos de pobre calidad, mientras los cercanos al 100% indican mejor calidad

Fuente: Elaboración propia.

2.6. Definición Operacional de Variables e Indicadores

En la Tabla, se muestran las diferentes hipótesis de la investigación, así como sus variables, indicadores y formas de medición.

Tabla N° 6 Operacionalización de las variables e indicadores

Hipótesis	VARIABLES	INDICADOR	MEDICIÓN
Hipótesis General El análisis de la estabilización de los suelos si influye en el diseño de la subrasante de la carretera Junín- Puente de Upamayo.	Var. Independiente: Estabilización de suelos.	Tipo de suelo	Clasificación
	Var. Dependiente: Diseño de la subrasante de la carretera	Índice de CBR	%
Hipótesis Esp. 1 Las características geológicas de los suelos si influyen en el diseño de la subrasante de la carretera.	Var. Independiente: Las características geológicas.	Tipos de rocas Tipos de suelos	Espesor (m)
	Var. Dependiente: diseño de la subrasante de la carretera.	Modifica el diseño	Conceptual - Sin medición
Hipótesis Esp. 2 Las características geotécnicas de los suelos si influyen en el diseño de la subrasante de la carretera.	Var. Independiente: Las características geotécnicas.	Tamaño partículas Peso específico, Cohesión Angulo de fricción	mm Kg/m ³ Kg/m ² grados
	Var. dependiente diseño de la subrasante de la carretera.	Modifica el diseño de la subrasante.	Conceptual - Sin medición

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El trabajo de investigación tiene las características de tipo descriptivo y aplicativo.

Con el trabajo se pretende describir las características geotécnicas de los suelos para determinar sus propiedades mecánicas permitiendo aplicarla en determinar la estabilidad de los suelos.

(Hernández y otros, 2014, p.92) señala que “Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis”. Por lo especificado el trabajo reúne las características de ser un estudio descriptivo.

Lozada nos explica que “La investigación Aplicada se centra en la resolución de problemas en un contexto determinado, es decir, busca la aplicación o utilización de conocimientos, desde una o varias áreas especializadas, con el propósito de implementarlos de forma práctica para satisfacer necesidades concretas, proporcionando una solución a problemas del sector social o productivo”. (Lozada, 2014, p. 35), Como el trabajo resuelve el problema de estabilizar los suelos utilizando el CBR, tienen el carácter de ser aplicativo.

3.2. Nivel de Investigación

Considerando, el tipo y las variables de investigación, el nivel de investigación corresponde al exploratorio; el cual se sustenta en examinar un tema que aún no ha sido analizado.

3.3. Métodos de Investigación

El trabajo de investigación utilizará el método de Análisis- síntesis, que permite la descomposición de un todo en sus elementos para examinarlas en forma individual, cada una por separado y luego se les integra para determinar una solución global.

3.4. Diseño de investigación

El diseño del trabajo de investigación, consiste primero en determinar las características de los suelos, luego se determina el CBR de los mismos, para luego diseñar la subrasante. como una sola variable, donde se ejerce un grado de control mínimo, permitiéndonos dar el primer paso para solucionar el problema de estabilidad de los suelos. Por lo tanto, es una investigación de diseño pre experimental.

3.5. Población y muestra

- a. Población:** La población será las 115 calicatas realizadas durante el tramo de recorrido.
- b. Muestra:** de las 115 calicatas se tomo 23 muestras para determinación del CBR y 80 puntos adicionales para la caracterización geológica y gotecnica.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

El presente trabajo se realizo mediante la técnica de observación.

3.6.2. Instrumentos

- a.** Guia de observaciones (libreta de campo).
- b.** Mapa geologico.
- c.** Mapa geomorfolofico.

- d. Plano topográfico.

3.7. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

3.7.1. Técnicas

- a. Se utilizará la técnica clásica de mapeo geotécnico en suelos.
- b. Luego se realizará el muestreo de suelo (calicatas).

3.7.2. Procesamientos

- a. Formulas y operación de datos.
- b. Análisis de datos de muestreo.

3.7.3. Instrumentos de evaluación

La información obtenida se procesa y luego se interpreta.

3.8. Tratamiento estadístico

La estadística utilizada es descriptiva, sobre todo para conocer el comportamiento de los suelos con respecto a la subrasante en los tramos estudiados a continuación los resultados.

- a. Se identificaron 17 tramos con características similares en el tipo de material según la exploración realizada en la subrasante existente, de los cuales 10 tramos (Tramos N°01, 03, 05, 07, 09, 10, 12, 14, 15 y 17) no requieren ningún mejoramiento de suelos, ya que cuentan con $CBR < 6\%$.
- b. Se identificaron 10 tramos de zonas de inundaciones y bofedales con suelos saturados.
- c. Se identificaron 15 tramos con nivel freático en la exploración de la subrasante, sin embargo, no afecta a la estructura proyectada en la carretera de estudio, debido a que, la altura del material desde el nivel freático hasta la subrasante pasa los 120cm mínimos que recomienda el Manual de Geología y Geotecnia.
- d. La estabilización de la subrasante se realizará con material OVER de 30cm como mínimo y 40 cm de material de préstamos con un CBR de 10% a un 95% de su máxima densidad seca, cabe señalar que las alturas varían de

acuerdo a su diseño de mejoramiento por sectores y al diseño geométrico de acuerdo al corte y relleno.

- e.** Se ha sectorizado 07 tramos en la subrasante de acuerdo a las características físicas y mecánicas del material existente en la subrasante, es por ello que se tendrá 06 tipos de diseño de capas para la estructura del pavimento flexible.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del Trabajo de Campo

4.1.1. Generalidades

La subrasante es el asiento directo de la estructura de pavimento y forma parte del prisma de la carretera que se construye entre el terreno natural allanado o explanada y la estructura del pavimento. Además, esta capa de terreno de una carretera se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

Imagen N° 4 Esquema de la estructura de un pavimento flexible.



Fuente: Google <https://acortar.link/i0jiaf>

4.1.2. Lugar de investigación

El área de estudio se encuentra ubicada en la región de Junín, provincia de Junín, en los distritos Junín y Óndores, con el límite departamental Pasco, se ubica entre las coordenadas:

4.1.3. Clima y altitud

La zona del proyecto se encuentra en una planicie alto andina, con altitudes promedio de 4000 msnm a 4200 msnm, el clima es bastante seco y frío a lo largo del año, sin embargo, se presenta húmedo en los meses de invierno, bastante lluvioso desde noviembre a marzo, en los meses de verano, los cielos se presentan bastante despejados, con fuerte radiación solar, desde noviembre hasta marzo.

El lago de Junín da origen a un pequeño micro clima, elevando la temperatura del viento, además de una densa vegetación en los litorales, que son aprovechados para la agricultura, ganadería y la propia fauna local.

4.1.4. Geomorfología

Morfológicamente, la zona de estudio se encuentra dentro de las Altiplanicies Interandinas que separan la Cordillera Occidental de la Cordillera Oriental.

A nivel regional, la morfología de la altiplanicie se distingue por una topografía relativamente suave, llanuras y planicies aluviales, bofedales, así mismo, el proyecto se encuentra al pie de montañas y colinas en rocas sedimentarias, a una altura promedio de 4,000 m.s.n.m, en comparación con la Cordillera Occidental y Oriental que la flanquean, entre las cotas 3,800 y 4,500 m.s.n.m.

Los distintos procesos erosionales generaron las distintas geomorfológicas que está dentro del área de estudio:

4.1.5. Geomorfología Local

Se han identificado 03 unidades geomorfológicas en la zona de influencia del proyecto. Estas corresponden a Planicie, Terrazas y Laderas de pendiente suave a media.

A. Planicie: La planicie del lago Junín, propiamente dicho, tiene un relieve bastante plano, con pequeñas laderas de pendiente muy suave, el fondo es netamente llano, cubierto por una enorme acumulación de agua perteneciente al lago de Junín. El drenaje está compuesto por ríos rectilíneos de muy bajo caudal, que discurren en el lago, preponderantemente con dirección W-E y S-N. Los ríos erosionan la Cadena Occidental, depositando coberturas aluviales.

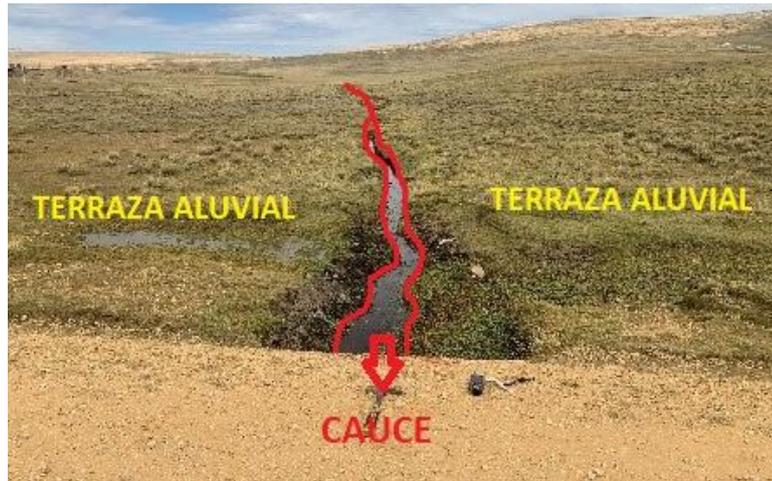
Imagen N° 7 Vista panorámica del relieve altiplánico en el área de trabajo, desde la parte más alta de Óndores.



Fuente: Elaboración Propia

B. Terrazas: Tienen un origen variado, preponderantemente son de origen aluvial, con una acumulación de sedimentos lacustrinos y alta concentración de materia orgánica en superficie, posee un relieve plano, el cual viene siendo cortado por pequeños cauces de agua de forma perpendicular en gran parte al eje de la carretera, en el cuál las zonas agrícolas, ganaderas y urbanas vienen teniendo el mayor porcentaje del área.

Imagen N° 8 Terraza aluvial cortada por pequeño cauce.



Fuente: Elaboración Propia

C. Laderas: La unidad de Ladera está conformada por afloramientos de secuencias de calizas, lutitas y conglomerados fracturados y ocasionalmente alterados, pertenecen al grupo Pucará y Casapalca, con una cobertura de depósitos cuaternarios recientes, constituyendo una superficie de topografía suave a moderada con pendientes de entre 20° a 50°. Actualmente la erosión fluvial es el principal agente modelador de esta unidad.

Imagen N° 9 Imagen de ladera de pendiente moderada, compuesta de calizas y lutitas, con cobertura de depósitos coluviales.



Fuente: Elaboración Propia

4.1.6. Geología Regional

La geología regional del área de estudio, tiene sus orígenes ligados al tectonismo regional iniciado desde el Proterozoico hasta la actualidad.

Las rocas más antiguas están representadas por afloramientos de sedimentos carbonatados, correspondientes al Grupo Pucará, Triásico Superior – Jurásico Inferior. Luego se instalan ríos distales con intercalaciones de llanura de inundación y deltas del Grupo Goyllarizquisga, el cual podría abarcar desde el Jurásico superior hasta el Cretácico inferior. En el Albiano, se tiene una sedimentación volcano-sedimentaria de la Formación Chayllacatana. Finalizando el Cretácico inferior se instala nuevamente una plataforma carbonatada de las formaciones Chulec, Pariatambo y Jumasha, que alcanza hasta finales del Cretácico superior. estas no se encuentran bien definidas dentro del plano geológico del INGEMMET, compuesta por conglomerados y areniscas de abanicos aluviales y ríos proximales.

4.1.7. Caracterización geológica - geotécnica local

La información ha sido recopilada en campo, con el reconocimiento de las principales formaciones lito estratigráficas del área, sus características físicas, químicas, estructurales y sus implicancias ingenieriles con respecto a las obras que se ejecutarán en la carretera.

La zona de estudio se desarrolla en la meseta del Bombón, el recorrido del eje de la carretera se encuentra a lado del lago de Junín y al pie del extremo oriental de la cordillera occidental.

Imagen N° 11 tramo de zona de estudio



Fuente: Propia

- **Estratigrafía:** Localmente aflora las unidades lito-estratigráficas de los Grupos Pucará, Goyllarizquisga y Formación Pocobamba, siendo cortados estos por el eje de la carretera, con excepción del Grupo Goyllarizquisga, ya que este, se encuentra recubierto por depósitos cuaternarios y no es posible su reconocimiento superficial, los depósitos Cuaternarios se hallan cubriendo

en partes los afloramientos rocosos, los que de acuerdo a su génesis se han clasificado en aluviales, coluviales, residuales y lacustres; algunos sectores de estos depósitos son afectados por agentes de erosión fluvial. De acuerdo a ello se tiene la columna estratigráfica siguiente:

**Tabla N° 8 Columna Estratigráfica de la carretera Junín–San Pedro De Pará –
Puente Upamayo” área de estudio**

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES	SIMBOLOGIA	descripcion litologica		
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENA	Deposito aluvial		Qh-al	clastos subredondeados de diferente composicion y matriz areno-limosa	
			Deposito biogenico		Q-bi	Depósitos de limos y arcillas saturadas en agua cubierta por pastos altoandinos.	
			Deposito glacial		Q-gl	Acumulaciones de gravas y bloques subangulosos a angulosos no consolidados en	
	PALEOCENA	PALEOCENA	Deposito fluviglacial		Q-glfl	Depósitos constituidos por facies terrigenas pobremente clasificadas arrastradas por el	
			Grupo huayabamba		NP-huay	Conglomerata con clastos de caliza del pucaa, intercalado con arenisca de color rojo	
		SUPERIOR	Formacion Casapalca		KsP-c	consiste en areniscas rojas friables, suaves, margas, lodolitas y conglomerados que tienen	
MESOZOICO	CRETACEO	INFERIOR	Formacion Chonta		Ki-ch	rocas carbonatadas intercaladas con areniscas, arcillitas y localmente niveles de limolitas	
			Formacion Chulec		Ki-chu	está compuesta por calizas, margas y areniscas calcáreas que fueron depositadas	
			Grupo goyllarisquiza		Ki-g	consiste principalmente de estratos comunes de areniscas blancas y macizas en capas de 1 a	
	JURASICO	INFERIOR	Grupo pucara	F.condorsinga		Ji-c	Compuestas por calizas fosilíferas con algunas dolomias, además de intercalaciones con
				F. armachay		Ji-a	Calizas mudstone con estratificación definida, lutitas beige en estratos pequeños, grano
				F. chambera		Ts-ch	conformado por mudstones gris oscuros, de grano fino, en estratos delgados (10 a 30 cm)
TRIASICO	SUPERIOR						
PALEOZOICO	PERMICO	SUPERIOR	Grupo mitu		PET-m	fósiles marinos y las facies descritas son de areniscas, lutitas y calizas marinas	
	CARBONIFERO	SUPERIOR	Grupo ambo		Cm-a	constituido de areniscas cuarzosas micáceas con lutitas pizarrosa	
		MEDIO	Grupo tarma		Cp-t	limolitas, areniscas con lutitas y limoarcillitas	

Fuente: Elaboración propia

- Grupo Pucará:** La vía se desplaza y/o corta afloramientos de calizas grises muy resistentes y estables pertenecientes al Grupo Pucará (Triásico superior a Jurásico inferior). La morfología que predomina en estos afloramientos es la ladera de moderada a suave pendiente, con taludes bajos, los taludes generalmente se presentan muy estables, con excepción de taludes en la formación Aramachay, puesto que, por sus propiedades físicas y alteración, se presentan como un tipo de roca de calidad regular a mala (RMR Bieniawski). Este grupo no presenta problemas geodinámicos relevantes, el problema principal, desde el punto de vista ingenieril, lo representa la dureza del macizo rocoso, si bien es cierto, la calidad del macizo es muy buena para

el diseño de taludes, existe un factor desfavorable, que será en los nuevos cortes de carretera, necesariamente se hará uso de explosivos y maquinaria pesada para remover el material excedente, al estar en una zona de ANP, la composición química de explosivos como el anfo o cartuchos de dinamita generarán impactos ambientales negativos. Para la solución a este problema, se recomienda el uso de voladuras controladas, por métodos no explosivos. Añadido a este problema, el ruido que genera la remoción del material excedente con maquinaria pesada, por lo tanto, tendrán que implementarse medias de control ingenieril. Desde el punto de vista geotécnico estos afloramientos se presentan muy estables para el diseño de taludes para el nuevo corte de carretera. En sectores se presenta fracturas abiertas y zonas de falla, siendo de estos últimos, un solo sector que está en riesgo latente. El Grupo Pucará tiene 3 formaciones bien definidas que son cortadas por el eje de la carretera.

- a) **Formación Chambará:** Conformado por mudstones gris oscuros, de grano fino, en estratos delgados (10 a 30 cm), frecuentemente nodulares. Hay algunos intervalos con abundante bioturbación, así como otros tramos con abundante sílex (nódulos de chert) en concreciones redondeadas, y en algunos casos ramificados, resistencia del macizo rocos de dura a muy dura.

Imagen N° 12 Km. 28+500. Afloramiento de Calizas grises de la formación Chambará, se visualiza nódulos de chert en superficie.



Fuente: Elaboración propia

- b) Formación Aramachay:** Está conformada por calizas mudstone con estratificación definida, y lutitas beige en estratos pequeños, grano medio, en algunos estratos, se visualiza una intercalación con areniscas limosas amarillentas, estratos no mayores a 30 cm, se presentan de forma alterada estructural y mineralógicamente, lo cual es desfavorable para el diseño de taludes con alta verticalidad. Resistencia del macizo rocoso moderadamente duro a ligeramente suave.

Imagen N° 13 Afloramiento de Calizas beige de la formación Aramachay en la parte alta del Km. 15+700, se visualiza el fracturamiento intenso que tiene, inestabilidad en el plano de estratificación y desprendimiento de fragmentos acumulados en su base.



Fuente: Elaboración propia

c) Formación Condorsinga: La Formación Condorsinga está compuesta por calizas fosilíferas con algunas dolomitas, además de intercalaciones con calizas oscuras con chert y algunas calizas nodulosas. Resistencia del macizo rocoso de muy duro a duro.

Imagen N° 14 Km. 4+700. Afloramiento de Calizas beige y grises de la formación Condorsinga, se visualiza el fracturamiento y plano de estratificación paralelo al eje de la carretera.



Fuente: Elaboración propia

d) Formación Pocobamba: La Formación Pocobamba ha sido dividida en dos miembros cartografiables: Cacuán y Shuco (Ángeles, 1999). El miembro Cacuán está compuesto a la base por conglomerados con clastos subangulosos a subredondeados de diferente composición, predominando su composición según los aportes y la proximidad de afloramientos preexistentes. En el área de trabajo, en las progresivas 30+700 – 33+600 se encuentran afloramientos que pasan alrededor del eje de la vía calizas y lutitas blanquecinas y grises, con tintes rosáceos y presencia de sílex y chert. Desde el punto de vista geotécnico estos afloramientos se presentan también muy estables para el diseño y asfaltado de la vía, el relieve es muy suave donde se encuentran cortando estos afloramientos, por lo tanto, no se realizarán diseños de taludes. De la misma forma que en las calizas del Pucará, se tendrá ciertas dificultades para el corte y traslado de material excedente, su resistencia es muy dura, por tanto, se recomienda utilizar voladuras controladas.

Imagen N° 15 Km. 30+700. Afloramiento de lutitas color beige blanquecinas en superficie de relieve plano, eje de la vía cortando el afloramiento.



Fuente: Elaboración propia

El miembro Shuco, en el área de trabajo, está compuesto por conglomerados sedimentarios con escasos lentes de limolitas y areniscas; la mayor parte de los clastos son de forma sub redondeadas a sub angulosas, son de caliza y sílex de la Formación Chambará, con diámetros de 2 a 30 cm, que pueden llegar a 6 m, englobados en una matriz limo-arcillosa de color rojizo.

Se encuentran suprayaciendo a las calizas y lutitas en contacto de forma paralela.

Imagen N° 16 Km. 33+540. Afloramiento de conglomerados color pardo rojizo, Formación Pocobamba – Miembro Shuco, clastos subredondeados de calizas del Grupo Pucará, matriz de limos rojizos.



Fuente: Elaboración propia

e) Depósitos Cuaternarios:

- **Depósitos Aluviales:** Son depósitos inconsolidados que han sido acumulados por la combinación de procesos aluvionales y fluviales. Están ubicados principalmente en las desembocaduras de las quebradas, especialmente de las que forman la red hidrográfica del lago Junín. Litológicamente, están compuestos por gravas, arenas y limos. Estos depósitos, de acuerdo al comportamiento de su composición pueden ser utilizados como canteras para agregados.

Imagen N° 17 Km. 38+000. Depósito aluvial en relieve plano, con gravas angulosas en una matriz limo-arenosa



Fuente: Elaboración propia

- **Depósitos Lacustres:** Son depósitos que se encuentran en las orillas de las lagunas de la zona de estudio y se interdigitan con los depósitos aluviales. Están compuestos por limos y material orgánico con intercalaciones de gravas.

Imagen N° 18 Depósito lacustre, siendo erosionado por un cauce de agua, Puente Chacachimpa, Km. 1+840.



Fuente: Elaboración propia

- **Depósitos Coluviales:** Se encuentran en la base de las laderas de los cerros. Son depósitos mal clasificados conformados por gravas sub angulosas y angulosas, de tamaño medio suspendidas en una matriz limosa o limo-arenosa. Se observan aflorando por sectores a lo largo de toda la vía evaluada, cubriendo calizas del grupo pucará y pocobamba.

Imagen N° 19 Depósito coluvial, clastos angulosos de distintos tamaños, suspendidos en matriz limo-arcillosa de color rojizo, Km. 21+300



Fuente: Elaboración propia

- **Depósitos Residuales:** Están compuestos por arenas, limos y arcillas, esporádicamente presentan gravas. Son el producto de la meteorización "in situ" de rocas preexistentes y que se encuentran aflorando en los alrededores, en especial en los afloramientos de intrusivos formando los llamados suelos residuales o eluviales; estos se encuentran poco consolidados o parcialmente compactos, cubriendo, en parte, los afloramientos rocosos con una capa generalmente delgada, que puede llegar a unos pocos metros de espesor.

Imagen N° 20 Km. 21+400. Depósitos de suelos residual, roca insitu (conglomerado) meteorizándose y convirtiéndose en suelo, clastos mal seleccionados de todo tamaño, angulosos en matriz limosa-arcillosa de color rojizo.



Fuente: Elaboración propia

4.1.8. Geología estructural

Estructuralmente, los plegamientos, estructuras, dirección de la estratificación, prepondera la dirección de rumbo andino NO - SE y en zonas bien definidas NNO – SSE, además, cortando a todas estas, se encuentran estructuras, fallas y familia de fracturas con dirección E-O.

Las estructuras presentes son el resultado de varias etapas de procesos tectónicos pertenecientes al Ciclo Andino, el cual deformó la superficie pre existente dejando como consecuencia pliegues y fallas con grandes extensiones (kilómetros), las fallas presentan dos direcciones preferenciales NO-SE con tendencia al N-S, los pliegues poseen una dirección similar, superponiéndose a estas direcciones, se encuentran estructuras fracturas y fallas (estas últimas inferidas según el plano geológico INGEMMET) con dirección E-W.

- **Fallas:** En el tramo de la carretera, de acuerdo al plano geológico regional de INGEMMET, cortan de forma casi perpendicular 4 fallas geológicas, de las cuales, en el reconocimiento y mapeo local, se ha encontrado evidencia tan solo de 2 de estas, que están en relación directa, la primera y de mayor importancia, es la que se encuentra en el Centro Poblado de Palomayo, se evidencia los rasgos estructurales en el corte de carretera y talud, la segunda, a 80 metros aproximadamente del eje de la vía, a la salida del Distrito de Óndores, sin embargo, no se ha evidenciado que esté en interacción directa con el eje de la carretera. En campo se ha evidenciado fallas del tipo estructural inactivas, esto debido a que parte de los afloramientos se encuentran cubiertos por depósitos cuaternarios sobre los cuales no se evidencia actividad reciente, así mismo el Mapa Neo tectónico del Perú no registra fallas activas en este sector. Se ha observado una zona de falla inactiva que ha afectado afloramientos de calizas del Grupo Pucará, no hay evidencia de que se encuentre activa, dado que los materiales superficiales no se encuentran disturbados.
- A. Falla Palomayo:** Se ha encontrado una zona de falla geológica (Az. N340° - Bz 80°) que cruza de forma casi perpendicular al eje de la vía, en las progresivas 28+960 – 29+020, dentro de esta zona el macizo rocoso está bastante alterado estructuralmente, así mismo por la debilidad que tiene, es más susceptible a la meteorización física y química. Se evidencia que existe infiltración de agua proveniente de la parte alta de la ladera, además de esto, el río que pasa a lado de la vía, aumenta de forma exponencial la saturación de agua en el macizo rocoso, por ende, existe oxidación, alteración de la composición química inicial del macizo rocoso, minerales preexistentes, haciéndola una zona de alto riesgo. En el contexto geotécnico, según el mapeo de la estación geomecánica, el índice RMR da como resultado un tipo

de roca con una puntuación de 40, por lo tanto, nos encontramos en Calidad Mala, clase IV.

Imagen N° 21 Km. 28+880. Zona de falla en corte de carretera, en calizas del Grupo Pucará, se logra visualizar el azimut y buzamiento de los principales planos de falla (azul) casi paralelos al plano de estratificación (negro), presencia de panizo rellenando la apertura de la falla.



Fuente: Elaboración propia

- B. Falla Óndores:** De acuerdo al mapeo geológico local, en la parte alta de ladera a 90 metros a la izquierda aproximadamente de las progresivas 20+880 – 20+960, se ha reconocido una falla geológica (Az. $N281^{\circ}$ - Bz 72°) que cruza de forma perpendicular al eje de la vía, esta falla tiene bien definido un movimiento dextral normal, una apertura de 50 cm sin relleno hasta el nivel de su piso apreciable, a partir de este, relleno de material limo-arcilloso, se evidenció estrías, espejo de falla, que nos permitieron realizar una correcta clasificación de su cinemática, sin embargo, no se aprecia una relevancia mayor, ni factores perjudiciales como hundimientos, caída de bloques, que

puedan comprometer la integridad del asfaltado ni de los taludes que se encuentran muy recubiertos por depósitos coluviales.

Imagen N° 22 Zona de falla geológica con apertura de 50 cm en calizas del Grupo Pucará, se logra visualizar el azimut y buzamiento del plano de falla (azul), Km. 20+860 – 20+900



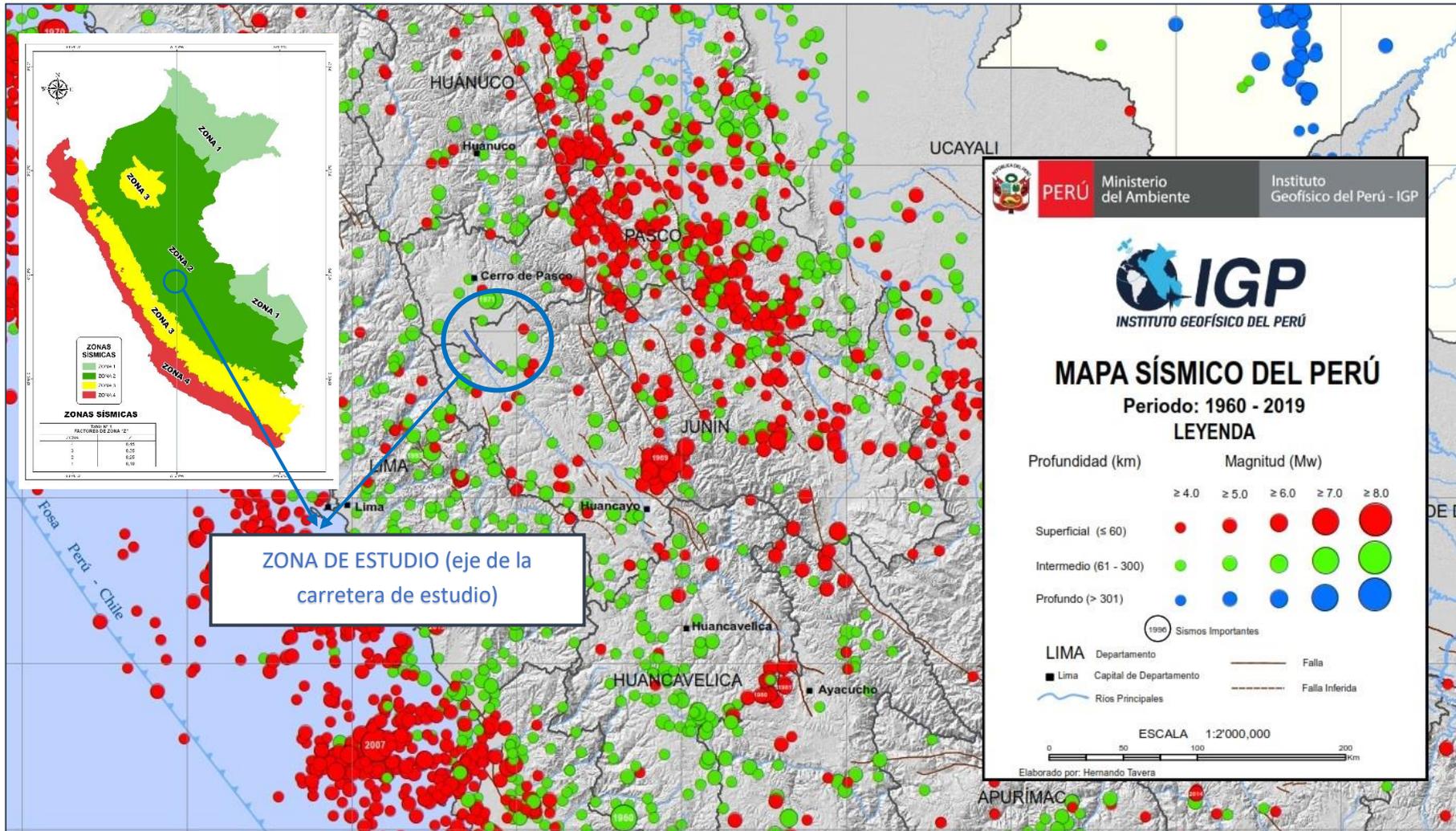
Fuente: Elaboración propia

4.1.9. Zonificación sísmica

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) ha elaborado un mapa del territorio peruano en el que se establece 3 zonas de actividad sísmica (Zona 1, Zona 2, Zona 3 y Zona 4), las cuales presentan diversas características de acuerdo a la mayor o menor actividad sísmica, el área de estudio se encuentra en la Zona 3, en las que se encontrarán aceleraciones máximas de 0.35.

Según el mapa sísmico del Perú, se determina que la zona de estudio está expuesta a una actividad sísmica de naturaleza intermedia, con sismos que tienen ocurrencia a profundidades entre 60 a 300km.

Imagen N° 23 Zonificación de actividad sísmica del Perú



Fuente: INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERU

4.1.10. Propiedades geotécnicas del material de corte

Se describe las características geotécnicas los afloramientos rocosos y depósitos cuaternarios que conforman los taludes y la plataforma de la carretera en estudio. Se determinaron los siguientes sectores geotécnicos y geológicos:

Tabla N° 9 Cuadro de caracterización geológica y geotécnica de los suelos en el tramo de estudio.

TRAMO		CLASIFICACIÓN DE MATERIALES (%)			FORMACIÓN/DEPÓSITO	Talud existente (grados)	Talud de corte recomendado (grados)	Tipo de Peligro	Caracterización del Peligro	Medidas Correctivas	ASPECTO LITOESTRATIGRÁFICO, ESTRUCTURALES Y GEOTÉCNICOS OBSERVADOS
PROGRESIVAS		MATERIAL SUELTO	ROCA SUELTA	ROCA FIJA							
0+000	1+000	100	0	0	Aluvial / Lacustre	0	0	Zona estable	Estable	-	Zona urbana. Depósitos aluviales con delgados horizontes lacustres de distinta génesis, con clastos polimícticos en una matriz limo-arcillosa, clastos sub redondeados.
1+000	2+000	100	0	0	Aluvial / Lacustre	0	0	Inundación fluvial / lagunar	Medio	Implementación de Sistema de Drenajes y Alcantarillado	Depósitos aluviales y lacustres, gravas polimícticas en matriz arcillosa, limosa, distribución caótica. Flujos de agua laminares erosionando y moldeando el relieve de forma muy lenta.
2+000	3+000	100	0	0	Aluvial / Lacustre	0	0	Zona estable	Estable	-	Depósitos aluviales con intercalación de depósitos lacustrinos con horizontes orgánicos, arenáceos, limosos y arcillosos. Bofedales recubriendo partes del tramo.
3+000	4+000	100	0	0	Aluvial / Lacustre	0	0	Zona estable	Estable	-	Depósitos aluviales con intercalación de depósitos lacustrinos con horizontes orgánicos, arenáceos, limosos y arcillosos. Bofedales recubriendo partes del tramo.
4+000	4+700	100	0	0	Aluvial / Lacustre	0	0	Zona estable	Estable	-	Depósitos aluviales con intercalación de depósitos lacustrinos con horizontes orgánicos, arenáceos, limosos y arcillosos. Bofedales recubriendo partes del tramo.
4+700	4+850	5	5	90	Gpo. Pucará - Fm. Condorsinga	45	50	Erosión Kárstica Subterránea	Medio	Voladura controlada	Aforamiento de calizas de grano fino color gris claro a beige, resistencia muy dura, plano de estratificación definido (N350° - Bz45°) paralelo al jefe de la carretera; delgada cobertura de suelo residual con gravas angulosas de calizas y matriz limosa. Flujos y descargas de agua que recorren por debajo de la vía, erosionando y formando cavernas kársticas de dimensiones desconocidas.
4+850	6+020	40	0	60	Coluvial / Gpo. Pucará - Fm. Condorsinga	35	50	Erosión Kárstica Subterránea	Medio	Voladura controlada	Cobertura de suelos residual con gravas angulosas en matriz limosa, color marrón claro, sobre aforamiento de calizas de grano fino, color gris oscuro, con nódulos de chert en superficie, fracturamiento moderado, resistencia muy dura. Flujos y descargas de agua que recorren por debajo de la vía, erosionando y formando cavernas kársticas de dimensiones desconocidas.
6+020	6+280	25	0	75	Coluvial / Gpo. Pucará - Fm. Condorsinga	35	50	Zona estable	Estable	Voladura controlada	Cobertura de suelos residuales sobre afloramientos de calizas de grano fino, color gris, nódulos de chert en superficie, resistencia dura a muy dura.
6+280	6+680	100	0	0	Aluvial	0	0	Flujo de detritos	Bajo	Ampliación del alcantarillado y limpieza de materiales acumulados	Flujo de detritos acumulados por erosión fluvial. Al lado derecho, depósitos aluviales y cobertura de sedimentos lacustrinos con alto contenido de niveles de suelos orgánicos y vegetación en superficie, en el lado izquierdo, depósitos aluviales con gravas sub redondeadas en matriz limo-arcillosa.
6+680	8+460	100	0	0	Aluvial	0	0	Zona estable	Estable	-	Al lado derecho, depósitos aluviales y cobertura de sedimentos lacustrinos con alto contenido de niveles de suelos orgánicos y vegetación en superficie, en el lado izquierdo, depósitos aluviales con gravas sub redondeadas en matriz limo-arcillosa.
8+460	9+170	100	0	0	Lacustre	0	0	Flujo de detritos / Inundación Lagunar	Bajo	Ampliación del alcantarillado y limpieza de materiales acumulados	Al lado derecho, depósitos lacustrinos con alto contenido de niveles de suelos orgánicos y vegetación en superficie, en el lado izquierdo, depósitos aluviales con gravas sub redondeadas a sub angulosas en matriz limo-arcillosa.
9+170	12+000	100	0	0	Aluvial	0	0	Zona estable	Estable	-	Al lado derecho, depósitos aluviales y cobertura de sedimentos lacustrinos con alto contenido de niveles de suelos orgánicos y vegetación en superficie, en el lado izquierdo, depósitos aluviales con gravas sub redondeadas en matriz limo-arcillosa.
12+000	12+200	20	0	80	Gpo. Pucará - Fm. Aramachay	30	60	Zona estable	Estable	Voladura controlada	Aforamiento de calizas de grano medio, con intercalaciones limos arenáceos, de color beige y tintes rojizos, fracturamiento moderado, resistencia muy suave.
12+200	12+280	5	20	75	Gpo. Pucará - Fm. Aramachay	70	60	Talud inestable	Latente	Corte máximo de 60° en la voladura	Calizas de grano fino, color beige, resistencia ligeramente suave, zona de corte de carretera (ensanchamiento). Se identificó dos familias de fracturas y planos de estratificación. Dirección de estratificación paralela al eje de la carretera.
12+280	13+160	25	0	75	Gpo. Pucará - Fm. Condorsinga	30	60	Zona estable	Estable	Voladura controlada	Aforamiento de calizas de grano fino, color gris oscuro, agregados cristalinos de Calcita en venillas, de resistencia muy dura a dura, delgada cobertura de vegetación en superficie.

TRAMO		CLASIFICACIÓN DE MATERIALES (%)			FORMACIÓN/DEP ÓSITO	Talud existente (grados)	Talud de corte recomendado (grados)	Tipo de Peligro	Caracterización del Peligro	Medidas Correctivas	ASPECTO LITOSTRATIGRÁFICO, ESTRUCTURALES Y GEOTÉCNICOS OBSERVADOS
PROGRESIVAS		MATERIAL SUELTO	ROCA SUELTA	ROCA FIJA							
13+160	13+290	40	0	60	Coluvial / Gpo. Pucará - Fm. Condorsinga	45	60	Zona estable	Estable	Buen diseño de corte	Cobertura de suelo gravoso, matriz limo-arcillosa sobre calizas grises de grano fino, resistencia dura.
13+290	13+960	10	0	90	Gpo. Pucará - Fm. Condorsinga	55	60	Zona estable	Estable	Buen diseño de corte	Afloramiento de calizas con coloraciones grises y beige, planos de estratificación bien definidos, casi paralelos al eje de la carretera (N330° - Bz65°), resistencia ligeramente suave, presencia de agua (húmedo).
13+960	14+180	5	0	95	Gpo. Pucará - Fm. Condorsinga	30	60	Zona estable	Estable	Buen diseño de corte	Afloramiento de calizas con coloraciones grises y beige, planos de estratificación bien definidos, casi paralelos al eje de la carretera (N335° - Bz70°), resistencia muy dura.
14+180	14+240	30	0	70	Residual / Gpo. Pucará - Fm. Condorsinga	65	60	Zona estable	Estable	Buen diseño de corte	Cobertura de suelos residuales, gravas sub angulosas en matriz limosa sobre calizas de color beige, resistencia dura.
14+240	14+460	5	0	95	Gpo. Pucará - Fm. Condorsinga	30	65	Zona estable	Estable	Voladura controlada	Afloramiento de calizas de grano medio a fino, color beige, nódulos de chert en superficie resistencia muy fuerte, con delgada cobertura de limos y arcillas de color beige.
14+460	15+000	100	0	0	Aluvial / Lacustre	0	0	Zona estable	Estable	Buen diseño de corte	Al lado derecho, depósito lacustre con alto contenido de niveles de suelos orgánicos y vegetación en superficie, en el lado izquierdo, depósitos aluviales con gravas sub redondeadas en matriz limosa, hacia la parte alta afloramientos de calizas grises.
15+000	15+710	15	5	80	Aluvial / Lacustre	0	0	Inundación Lagunar	Medio	Implementación de sistema de drenajes y alcantarillado, elevación de la sub razante.	Al lado derecho, depósito lacustre con alto contenido de niveles de suelos orgánicos y vegetación en superficie, en el lado izquierdo, depósitos aluviales con gravas sub redondeadas en matriz limosa, hacia la parte alta afloramientos de calizas grises.
15+710	15+970	5	5	90	Gpo. Pucará - Fm. Condorsinga	35	65	Inundación Lagunar	Medio	Buen diseño de corte	Afloramiento de calizas de grano medio a fino, color gris, resistencia muy fuerte, delgada cobertura de suelo residual, gravas angulosas a sub angulosas del mismo tipo de litología, en matriz limosa de color marrón claro. Al lado derecho del eje, depósitos lacustres con gran cantidad de materia vegetal, susceptibilidad a inundación lagunar.
15+970	16+140	30	30	40	Gpo. Pucará - Fm. Aramachay	45	65	Inundación Lagunar	Medio	Buen diseño de corte	Afloramiento de calizas de grano medio, con intercalaciones limos arenáceos, de color beige, fracturamiento moderado, resistencia dura.
16+140	16+660	60	0	40	Coluvial / Gpo. Pucará - Fm. Chambará	35	65	Inundación Lagunar	Medio	Buen diseño de corte	Cobertura de depósitos coluviales, con gravas sub angulosas y angulosas del mismo tipo de litología, en matriz limosa de color marrón claro, sobre calizas de color beige, de resistencia dura a moderadamente dura, fracturamiento moderado.
16+660	17+580	5	0	95	Gpo. Pucará - Fm. Chambará	35	65	Zona estable	Estable	Buen diseño de corte	Afloramiento de calizas de grano fino, de color gris oscuro con intercalaciones beige, nódulos de chert en superficie, resistencia dura a muy dura, fracturamiento leve.
17+580	19+370	90	0	10	Aluvial / Lacustre	0	0	Zona estable	Estable	Buen diseño de corte	Depósitos aluviales de gravas redondeadas con matriz limo arcillosa, afloramientos de Calizas grises y beige en la parte alta de la ladera hacia el lado izquierdo del eje de la carretera; en la parte izquierda, depósitos lacustres, relieve plano con intensa cantidad de vegetación y suelos orgánicos de color rojo.
19+370	20+390	100	0	0	Aluvial / Lacustre	0	0	Zona estable	Estable	Buen diseño de corte	Zona urbana sobre depósitos aluviales hacia el lado izquierdo y en la parte alta macizos rocosos de calizas, al lado derecho depósitos lacustrinos.
20+390	20+600	30	10	60	Gpo. Pucará - Fm. Chambará	70	60	Zona urbana con casas cerca a puntos de voladura	Latente	Voladura controlada	Afloramiento de Calizas de grano medio a fino, color beige, agregados cristalinos de Calcita rellanando oquedades y fracturas, ocasionales nódulos de chert en superficie. Resistencia del macizo rocoso duro a muy duro, sobre esta, delgada cobertura de suelo residual, con gravas de distintas litologías en matriz limo arcillosa de color marrón.
20+600	21+370	30	10	60	Gpo. Pucará - Fm. Chambará	30	60	Zona urbana con casas cerca a puntos de voladura	Latente	Voladura controlada	Afloramiento de Calizas de grano medio a fino, color beige, agregados cristalinos de Calcita rellanando oquedades y fracturas, ocasionales nódulos de chert en superficie. Resistencia del macizo rocoso duro a muy duro, sobre esta, delgada cobertura de suelo residual, con gravas de distintas litologías en matriz limo arcillosa de color marrón.
21+370	22+080	40	20	40	Residual / Conglomerado Shuco	20	65	Zona estable	Estable	Buen diseño de corte	Cobertura de suelo residual, gravas de distintas litologías en matriz limo-arcillosa de color rojizo, sobre conglomerados rojos polimicticos, resistencia dura.
22+080	22+210	10	5	85	Conglomerado Shuco / Form. Pocabamba	20	65	Zona estable	Estable	Voladura controlada	Afloramiento de conglomerado, clastos polimicticos angulosos de calizas, areniscas, limolitas y lutitas de distinto tamaño (1 cm. - 15 cm.), matriz limosa de color rojizo, resistencia del macizo rocoso muy dura a dura. Sobre ellos, delgada cobertura de suelos residual, con gravas angulosas y matriz limosa de color marrón rojizo.
22+210	22+680	45	5	50	Coluvial / Gpo. Pucará - Fm. Chambará	45	65	Zona estable	Estable	Buen diseño de corte	Cobertura de suelos con gravas mal seleccionadas de distinto tamaño, sub angulosas a sub redondeadas, en matriz limosa, sobre conglomerados rojos.

TRAMO		CLASIFICACIÓN DE MATERIALES (%)			FORMACIÓN/DEP ÓSITO	Talud existente (grados)	Talud de corte recomendado (grados)	Tipo de Peligro	Caracterización del Peligro	Medidas Correctivas	ASPECTO LITOESTRATIGRÁFICO, ESTRUCTURALES Y GEOTÉCNICOS OBSERVADOS
PROGRESIVAS		MATERIAL SUELTO	ROCA SUELTA	ROCA FIJA							
22+680	23+070	20	10	70	Coluvial / Gpo. Pucará - Fm. Chambará	25	65	Zona estable	Estable	Buen diseño de corte	Cobertura de depósitos coluviales, gravas mal seleccionadas de distintas litologías y matriz limo-arcillosa, sobre afloramiento de conglomerado de clastos polimícticos (calizas, areniscas, lutitas) redondeados a sub redondeados, englobados en matriz limosa rojiza, resistencia dura, y débil fracturamiento.
23+070	23+380	10	20	70	Coluvial / Gpo. Pucará - Fm. Chambará	30	65	Zona estable	Estable	Buen diseño de corte	Cobertura de depósitos coluviales, con gravas sub angulosas a sub redondeadas en matriz limosa, sobre contacto de Calizas grises con Conglomerados de clastos polimícticos sub redondeados a redondeados, con matriz limosa de color rojo, resistencia muy dura.
23+380	23+860	5	0	95	Gpo. Pucará - Fm. Chambará	20	70	Zona estable	Estable	Voladura controlada	Afloramiento de caliza de grano fino a medio, planos de estratificación (N140° - Bz45°) color gris claro, de resistencia dura a muy dura, agregados cristalinos asociado a fracturas y oquedades, sílice chert en nódulos, fracturamiento débil.
23+860	23+960	15	0	85	Coluvial / Gpo. Pucará - Fm. Chambará	40	70	Zona estable	Estable	Buen diseño de corte	Cobertura de depósitos coluviales con clastos monomícticos de calizas sub angulosas, sobre caliza de grano medio a fino, color gris y beige, de resistencia dura.
23+960	24+060	2	0	98	Gpo. Pucará - Fm. Chambará	35	70	Zona estable	Estable	Voladura controlada	Afloramiento de caliza de grano fino color gris, de resistencia dura a muy dura, venillas y agregados cristalinos de Calcita, nódulos de chert en superficie.
24+060	24+680	90	5	5	Coluvial / Gpo. Pucará - Fm. Chambará	20	60	Zona estable	Estable	Buen diseño de corte	Cobertura de depósitos coluviales de gravas sub angulosas a sub redondeadas en matriz limosa, con horizontes de materia orgánica en superficie, ocasionales bloques desprendidos de Calizas de grano fino color gris, afloramiento de roca insitu en partes altas de la ladera.
24+680	24+950	100	0	0	Coluvial / Gpo. Pucará - Fm. Chambará	15	60	Zona estable	Estable	Buen diseño de corte	Cobertura de depósitos coluviales de gravas sub angulosas a sub redondeadas en matriz limosa, con horizontes de materia orgánica en superficie.
24+950	25+140	10	0	90	Gpo. Pucará - Fm. Chambará	20	70	Zona estable	Estable	Voladura controlada	Caliza de grano fino color beige, de resistencia dura, venillas rellenas de Calcita; sobre esta, cobertura de suelo residual de potencia delgada, gravas sub angulosas a subredondeadas monomícticas de caliza.
25+140	25+350	15	5	80	Coluvial / Gpo. Pucará - Fm. Chambará	15	70	Zona estable	Estable	Buen diseño de corte	Cobertura de depósitos coluviales, gravas angulosas a sub angulosas de caliza de distinto tamaño, englobados en una matriz limo-arenosa sobre caliza de grano fino a medio color gris, resistencia dura, agregados cristalinos de Calcita relleno de fracturas y oquedades.
25+350	25+480	5	0	95	Gpo. Pucará - Fm. Chambará	15	70	Inundación Lagunar	Medio	Implementación de sistema de alcantarillado	Afloramiento de Calizas de grano fino color gris oscuro, con nódulos de chert en superficie, resistencia muy dura a dura, fracturamiento leve, con delgada cobertura de suelo residual limoso.
25+480	25+710	20	0	80	Coluvial / Gpo. Pucará - Fm. Chambará	0	0	Zona estable	Estable	-	Cobertura de depósitos coluviales, con gravas angulosas a sub angulosas de caliza en una matriz limo-arcillosa de color marrón claro, y horizonte orgánico de color negro, consistencia limo-arenosa sobre calizas grises aflorando en pequeños puntos.
25+710	25+750	5	0	95	Gpo. Pucará - Fm. Chambará	10	70	Inundación Lagunar	Medio	Implementación de sistema de alcantarillado	Afloramiento de Calizas de grano fino, color gris oscuro, resistencia muy dura a dura, nódulos de chert en superficie, fracturamiento moderado; cobertura de suelo residual en superficie.
25+750	25+940	60	0	40	Coluvial / Gpo. Pucará - Fm. Chambará	25	70	Zona estable	Estable	-	Cobertura de depósitos coluviales, con gravas angulosas a sub angulosas monomícticas de caliza en una matriz limosa de color marrón claro, sobre calizas grises aflorando hacia la parte alta de la ladera.
25+940	26+310	15	0	85	Gpo. Pucará - Fm. Chambará	25	70	Zona estable	Estable	Voladura controlada	Afloramiento de Calizas de grano fino, con superficie marcadas por erosión fluvial (dentados) y relictos de nódulos de sílice chert, resistencia muy dura a dura, fracturamiento débil, sobre ella, cobertura de suelo residual de gravas angulosas de caliza en matriz limosa de color marrón claro.
26+310	26+820	75	0	25	Coluvial / Gpo. Pucará - Fm. Chambará	35	70	Zona estable	Estable	-	Cobertura de suelo residual, gravas angulosas monomícticas angulosas a sub angulosas en matriz limo-arcillosa, cobertura superficial de horizontes orgánicos y vegetación, ocasionales bloques y fragmentos suspendidos de calizas grises de grano fino, angulosos (transporte gravitacional).
26+820	27+500	80	0	20	Coluvial / Gpo. Pucará - Fm. Chambará	35	70	Zona estable	Estable	-	Cobertura de suelo residual, gravas angulosas monomícticas angulosas a sub angulosas en matriz limo-arcillosa, cobertura superficial de horizontes orgánicos y vegetación, ocasionales bloques y fragmentos suspendidos de calizas grises de grano fino, angulosos (transporte gravitacional).
27+500	27+810	30	5	65	Gpo. Pucará - Fm. Chambará / Aluviales-Lacustres	40	60	Zona estable	Estable	Voladura controlada	Alado derecho, afloramiento de Calizas de grano fino color gris claro, de resistencia dura a medianamente dura, estratificación definida (Az N340 - Bz55°), fracturamiento débil con delgada cobertura superficial de suelo residual con clastos monomícticos de caliza, angulosos a sub angulosos en matriz limosa. Alado izquierdo, depósitos aluviales y lacustrinos.
27+810	28+150	30	5	65	Gpo. Pucará - Fm. Chambará / Aluviales	30	60	Zona estable	Estable	Voladura controlada	Afloramiento de Calizas de grano fino color gris claro, de resistencia dura a medianamente dura, estratificación definida (Az N340 - Bz55°), fracturamiento débil. Cobertura superficial de suelo residual con clastos monomícticos de caliza, angulosos a sub angulosos en matriz limosa.

TRAMO		CLASIFICACIÓN DE MATERIALES (%)			FORMACIÓN/DEPÓSITO	Talud existente (grados)	Talud de corte recomendado (grados)	Tipo de Peligro	Caracterización del Peligro	Medidas Correctivas	ASPECTO LITOESTRATIGRÁFICO, ESTRUCTURALES Y GEOTÉCNICOS OBSERVADOS
PROGRESIVAS		MATERIAL SUELTO	ROCA SUELTA	ROCA FIJA							
28+150	28+240	90	0	10	Aluvial	0	0	Flujo de detritos	Estable	Ampliación del alcantarillado y limpieza de materiales acumulados	Cauce de agua cortando afloramiento de Calizas de grano fino color gris claro, de resistencia dura a medianamente dura, estratificación definida (Az N340 - Bz 55°), fracturamiento débil. Cobertura superficial de suelo residual con clastos monomicticos de caliza, angulosos a sub angulosos en matriz limosa.
28+240	28+660	40	30	30	Coluvial / Gpo. Pucará - Fm. Chamberá	30	60	Zona estable	Estable	-	Cobertura de depósito coluvial de clastos de caliza, de distinto tamaño, angulosos a sub angulosos, en matriz limosa de color marrón claro, sobre calizas grises de grano fino, resistencia medianamente dura.
28+660	28+900	5	0	95	Gpo. Pucará - Fm. Chamberá	45	60	Zona estable	Estable	Voladura controlada	Afloramiento de Calizas de grano fino color gris claro a oscuro, de resistencia muy dura a dura, sílice chert en nódulos superficiales, estratificación definida promedio (Az N340° - Bz 80°), delgada cobertura de suelo residual sobre el afloramiento, con contenido de vegetación.
28+900	29+030	60	40	0	Zona de Falla	65	40	Falla Geológica	Latente	Impermeabilización, mejoramiento del suelo, construcción de muros de contención y banquetas en la cabecera del talud	Zona de falla geológica inactiva en lutitas y limolitas muy alteradas (casi pervasiva) con estratificación (Az N155° - Bz 50°) color beige parduzco, resistencia muy débil, dirección promedio de la familia de fallas (Az N340° - Bz 80°) y tensional promedio (Az N185° - Bz 68°). Dando como resultado una zona muy inestable para el asentamiento del afirmado y asfalto. Mejoramiento de la calidad del suelo y diseño del afirmado.
28+900	29+160	100	0	0	Coluvial	45	40	Zona estable	Estable	-	Depósitos coluviales con gravas sub redondeadas a sub angulosas en matriz de limos color marrón claro, a los lados distales del eje de la carretera afloramientos de lutitas blanquecinas.
29+160	30+170	100	0	0	Coluvial	0	0	Zona estable	Estable	-	Depósitos coluviales con gravas sub redondeadas a sub angulosas en matriz de limos color marrón claro, a los lados distales del eje de la carretera afloramientos de lutitas blanquecinas.
30+170	30+750	100	0	0	Coluvial	0	0	Zona estable	Estable	-	Depósitos coluviales con gravas sub redondeadas a sub angulosas en matriz de limos color marrón claro, horizonte orgánico en superficie.
30+750	30+890	5	0	95	Lutitas / Form. Pocobamba	0	0	Zona estable	Estable	Voladura controlada	Afloramiento de lutitas de color beige blanquecino, con tintes rojizos de limolitas de brillo sedoso, resistencia del macizo rocoso muy dura, agregados cristalinos de Calcita en oquedades y rellenando fracturas, delgada capa de materia orgánica y suelo residual con gravas angulosas y matriz limosa en superficie.
30+890	31+970	50	10	40	Coluvial / Form. Pocobamba	0	0	Zona estable	Estable	-	Cobertura de suelos residuales, gravas sub angulosas en matriz limo-arenosa sobre afloramiento de lutitas beige con tintes rosáceos de resistencia muy dura, hacia la parte superior de la ladera, conglomerados de clastos polimicticos con matriz rojiza.
31+970	32+510	100	0	0	Coluvial	0	0	Zona estable	Estable	-	Depósito coluvial, gravas de clastos polimicticos angulosos a sub angulosos en matriz limo-arenosa de color marrón rojizo, delgada cobertura de materia orgánica en superficie.
32+510	33+600	50	10	40	Coluvial / Form. Pocobamba	5	0	Zona estable	Estable	-	Depósito coluvial y suelo residual de coloración marrón claro, con clastos sub angulosos a sub redondeados de lutitas blanquecinas en matriz limo-arenosa sobre lutitas beige blanquecinas. A la parte alta de la ladera, afloramientos de conglomerados de clastos sub angulosos a sub redondeados polimicticos en matriz limosa de color rojo.
33+600	33+760	5	5	90	Lutitas / Form. Pocobamba	10	70	Zona estable	Estable	Voladura controlada	Afloramiento de lutitas de coloración beige blanquecina, de resistencia muy dura a dura, ligera silicificación, agregados cristalinos de Calcita en oquedades y rellenando fracturas, fracturamiento débil. Cobertura de suelo limoso de color marrón y contenido de materia orgánica en superficie.
33+760	36+290	100	0	0	Aluvial	0	0	Zona estable	Estable	-	Depósito aluvial con pequeña depresión, en la zona media, clastos angulosos a sub angulosos englobados en matriz limo-arenosa, horizontes orgánicos limo-arcillosos de coloración oscura.
36+290	36+630	100	0	0	Aluvial	0	0	Zona estable	Estable	-	Depósito aluvial en llanura, clastos angulosos de distintos tamaños, litológicamente homogéneos en matriz areno limosa, horizonte orgánico en superficie.
36+630	37+280	100	0	0	Aluvial	0	0	Zona estable	Estable	-	Ligera depresión de origen erosional por pequeño cauce; depósitos aluviales en la parte superior de los flancos con clastos homogéneos en una matriz limosa y en la zona inferior, alta concentración de suelos con horizontes orgánicos limo-arcillosos con ocasionales clastos sub angulosos, de coloración negruzco.
37+280	37+980	100	0	0	Aluvial / Lacustre	0	0	Zona estable	Estable	-	Depósito aluvial en llanura, clastos angulosos homogéneos en matriz areno limosa, con delgado horizonte orgánico en superficie.
37+980	39+240	100	0	0	Aluvial	0	0	Zona estable	Estable	-	Terraza aluvial. Zona urbana.
39+240	40+170	100	0	0	Aluvial	0	0	Zona estable	Estable	-	Llanura de depósitos aluviales con pequeñas depresiones formados por pequeños cauces.
40+170	40+720	100	0	0	Aluvial	0	0	Zona estable	Estable	-	Depósitos aluviales de gravas y ocasionales cantos sub redondeados a redondeados en matriz de arenas y limos de color beige, con niveles de capas orgánicas en superficie.
40+720	41+920	100	0	0	Lacustre	0	0	Inundación Lagunar	Medio	Implementación de sistema de alcantarillado	Llanura de depósitos lacustres con alto contenido de materia orgánica.

TRAMO		CLASIFICACIÓN DE MATERIALES (%)			FORMACIÓN/DEP ÓSITO	Talud existente (grados)	Talud de corte recomendado (grados)	Tipo de Peligro	Caracterización del Peligro	Medidas Correctivas	ASPECTO LITOESTRATIGRÁFICO, ESTRUCTURALES Y GEOTÉCNICOS OBSERVADOS
PROGRESIVAS		MATERIAL SUELTO	ROCA SUELTA	ROCA FIJA							
41+920	42+240	95	5	0	Lacustre-Coluvial / Gpo. Pucará - Fm. Condorsinga	15	60	Inundación Lagunar	Medio	Implementación de sistema de alcantarillado	Depósitos coluviales con gravas sub redondeadas a sub angulosas en matriz limo arcillosa amarillenta, hacia el lado derecho, horizontes de depósitos lacustres.
42+240	42+380	15	5	80	Lacustre-Gpo. Pucará - Fm. Condorsinga	20	60	Inundación Lagunar	Medio	Implementación de sistema de alcantarillado	Afloramiento de calizas de grano muy fino de color beige a gris, con intensa silicificación y oxidación asociada a fracturas, dureza moderada y fracturamiento fuerte.
42+380	42+520	100	0	0	Coluvial / Gpo. Pucará - Fm. Condorsinga	15	70	Zona estable	Estable	-	Cobertura de depósitos coluviales, presencia de clastos sub angulosos de calizas englobados en una matriz limo-arcillosa.
42+520	43+390	100	0	0	Lacustre	0	0	Zona estable	Estable	-	Depósito lacustre con alto contenido de niveles orgánicos y vegetación en superficie, hacia parte alta afloramientos de calizas grises.
43+390	44+320	80	5	15	Coluvial / Gpo. Pucará - Fm. Condorsinga	15	60	Zona estable	Estable	-	Cobertura de depósitos coluviales con clastos de calizas de color gris y beige en matriz de limos de coloración marrón clara, sobre calizas de grano fino color gris.
44+320	44+420	5	10	85	Gpo. Pucará - Fm. Condorsinga	15	60	Zona estable	Estable	Voladura controlada, limpieza de material suelto	Afloramiento de calizas de grano fino color beige, resistencia medianamente dura, estratificación bien definida (Az. N220° - Bz. 35°) con tramo alterado, muy deleznable de resistencia muy débil de color verdoso, presencia de agua muy débil (húmedo).
44+420	44+560	30	10	70	Coluvial / Gpo. Pucará - Fm. Condorsinga	15	60	Zona estable	Estable	Voladura controlada, limpieza de material suelto	Cobertura con abundante presencia de material orgánico, conformado por fragmentos sub anguloso de calizas en una matriz limosa de color marrón claro, sobre macizo rocoso de resistencia dura, de calizas de grano fino, color beige.
44+560	44+900	30	10	70	Coluvial / Gpo. Pucará - Fm. Condorsinga	35	70	Zona estable	Estable	Voladura controlada, limpieza de material suelto	Cobertura con abundante presencia de material orgánico, conformado por fragmentos sub anguloso de calizas en una matriz limosa de color marrón claro, sobre macizo rocoso de resistencia dura, de calizas de grano fino, color beige.
44+900	45+360.67	30	5	65	Coluvial / Gpo. Pucará - Fm. Condorsinga	35	70	Inundación fluvial / lagunar	Medio	Implementación de sistema de drenajes y alcantarillado	Cobertura conformada por fragmentos angulosos a sub redondeados de calizas en una matriz limosa de color marrón claro, sobre macizo rocoso de resistencia muy dura a dura, de calizas de grano fino, color beige, con nódulos de chert en superficie.

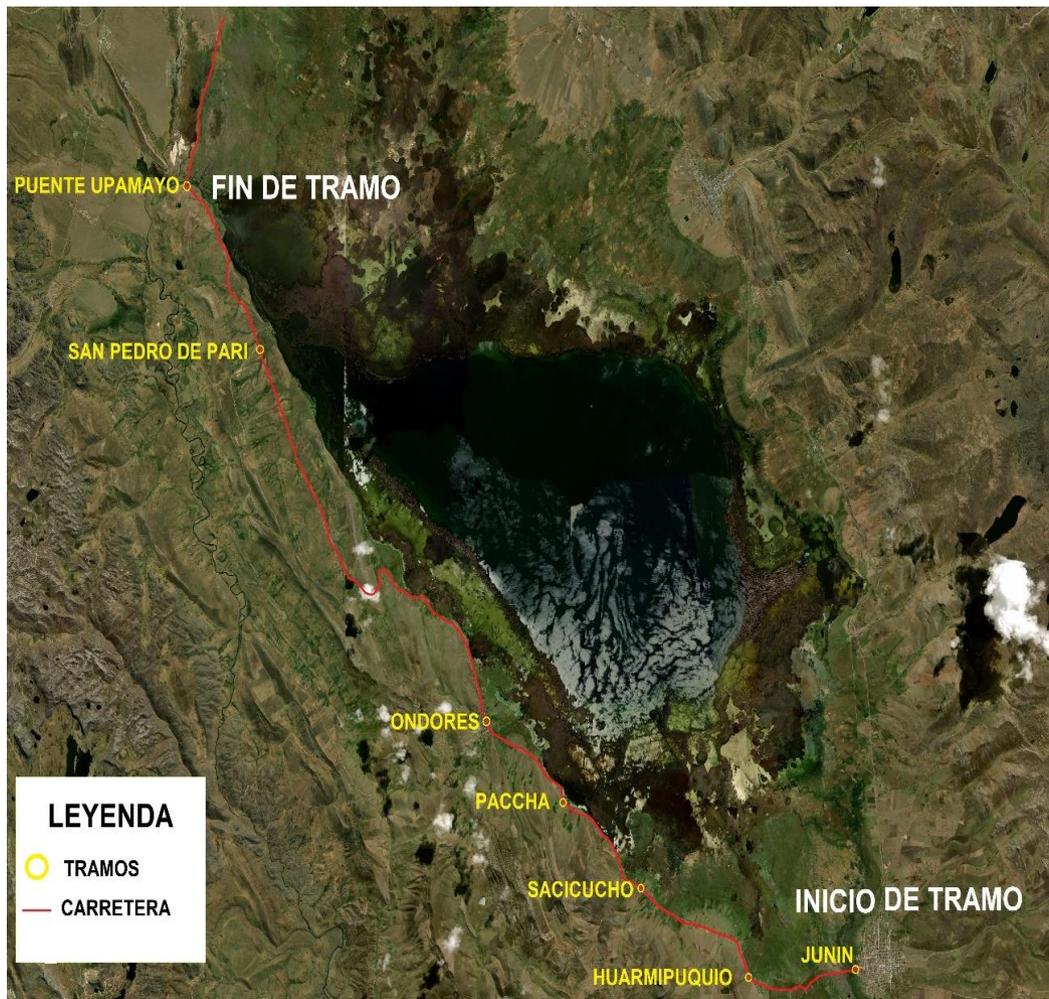
Fuente: Elaboración propia.

4.2. Presentación, Análisis e interpretación de Resultados

4.2.1. Tramos trabajados

El tramo de la carretera inicia en el Distrito de Junín en la progresiva 00+000 Km (Cruce Jr. Garcilaso de la Vega con Jr. Simón Bolívar) y culmina en la progresiva 45+250 Km (Puente Upamayo) (**ver plano N°5 “Plano de Progresivas” en la sección de anexo**). la carretera atraviesa 05 centros poblados (Huarmipuquio, Sacicucho, Paccha, Ondores y San Pedro de Pari), siendo Ondores el distrito principal. La evaluación de la carretera se realizará en 06 tramos (**ver plano N°4 “Plano de ubicación de calicatas” en la sección de anexo**).

Imagen N° 24 Vista Satelital del Proyecto



Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.1. Tramo N°1: Junín – Huarmipuerto (00+000 km – 04+700 km)

El tramo presenta una superficie de rodadura a nivel de Afirmado, en regular estado de conservación. Sus dimensiones de ancho de calzada oscilan entre los 6 m a 7 m, siendo el tramo de doble sentido (ida y vuelta). En la progresiva 04+690 Km, la carretera se convierte en un solo tramo de 4 m a 4.5 m, además se identificó una curva vertical y horizontal, funcionando ambos en un solo punto, lo que genera la pérdida de visibilidad y una zona peligrosa para los transportistas. En la progresiva 04+700, la carretera vuelve a ser en doble sentido 6 m a 7 m. El material de este tramo se resume en la siguiente tabla.

**Tabla N° 10 Clasificación de la subrasante en el tramo
(Junín – Huarmipuerto)**

CALICATA	ESTRATO	AASHTO	SUCS
C-01	M-02	A-4(5)	ML
	M-03	A-3(1)	SP SM
	M-04	A1-a(1)	GW GM
C-02	M-02	A-2-4(0)	SM
C-03	M-02	A-2-4(0)	SM
	M-03	A1-b(0)	SM
C-04	M-02	A-4(2)	ML
	M-03	A-4(0)	ML
	M-04	A-7-5(17)	ML
C-05	M-02	A-2-4(0)	SM
	M-03	A-7-5(16)	ML
	M-04	A-7-5(16)	ML
C-06	M-02	A-2-4(0)	SM
	M-03	A-5(14)	ML
	M-04	A-7-5-(17)	ML
C-07	M-02	A-4(2)	CL ML
	M-03	A-4(2)	CL ML
	M-04	A-4(1)	ML
	M-05	A-4(2)	CL ML
C-08	M-02	A-4(2)	ML
	M-03	A-4(2)	CL ML
	M-04	A-4(0)	ML
C-09	M-03	A-4(0)	ML
	M-04	A1-a(0)	GW GM
C-10	M-03	A-4(5)	ML
	M-04	A-4(0)	SM
C-11	M-02	A-5(12)	ML
	M-03	A-4(0)	ML

	M-04	A-4(2)	ML
C-12	M-03	A-4(1)	CL ML
C-13	M-02	A-4(2)	CL ML
C-14	M-02	A-4(2)	CL ML
	M-03	A-4(2)	CL ML

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.2. Tramo N°2: Huarmipuquio - Sacicucho (04+700 km – 08+100 km)

El tramo presenta una superficie de rodadura a nivel de afirmado, en regular estado de conservación. Las dimensiones de ancho de calzada son similares al tramo anterior de 6 a 7 m. siendo doble sentido.

Presenta en casi todo en tramo una carretera recta con pocas curvas horizontales. El material de este tramo se resume en la siguiente tabla.

**Tabla N° 11 Clasificación de la subrasante en el tramo
(Huarmipuquio – Sacicucho)**

CALICATA	ESTRATO	AASHTO	SUCS
C-15	M-02	A-2-4(0)	GC GM
	M-03	A-4(1)	CL ML
C-16	M-02	A1-a(1)	GP GM
	M-03	A1-a(1)	GP GM
C-17	M-02	A1-a(1)	GP GM
	M-03	A1-a(0)	GW GM
	M-04	A1-a(1)	GP GM
C-18	M-02	A1-a(0)	GP GM
	M-03	A-4(3)	CL ML
	M-04	A1-b(0)	GM
C-19	M-02	A1-b(0)	GM
	M-03	A-4(0)	CL

fuentes: elaboración propia.

4.2.1.3. Tramo N°3: Sacicucho - Paccha (08+100 km – 11+150 km)

Al igual que el tramo anterior, esta presenta una superficie de rodadura a nivel de afirmado, en regular estado de conservación, con dimensiones de ancho que están entre los 6 m a 7 m, siendo de doble sentido, además de presentar un tramo casi recto con pocas curvas horizontales.

Se identificó también quebradas en el transcurso del tramo, lo que indica también la existencia de pontones, siendo 04 el número de pontones pertenecientes a ese tramo, con dimensiones que oscilan entre 3.75 m a 4.50 m de ancho de calzada. El material se resume en la siguiente tabla.

**Tabla N° 12 Clasificación de la subrasante en el tramo
(Sasicucho – Paccha)**

CALICATA	ESTRATO	AASHTO	SUCS
C-20	M-02	A-4(1)	ML
	M-03	A1-a(1)	GW GM
C-21	M-03	A-7-6(14)	ML
	M-04	A-6(11)	CL
C-22	M-03	A-2-4(0)	SC
	M-04	A-7-6(16)	ML
C-23	M-03	A-2-4(0)	SC
	M-04	A-4(12)	ML
C-24	M-03	A-4(0)	ML
C-25	M-03	A-4(3)	CL ML
C-26	M-03	A-4(3)	CL ML
	M-04	A-4(0)	GM
C-27	M-03	A-4(0)	GM
C-28	M-03	A-2-4(0)	GC GM
C-29	M-02	A1-b(0)	GM
	M-03	A-4(1)	CL ML
C-30	M-03	A-4(5)	CL
C-31	M-02	A-4(2)	SC
	M-03	A-7-5(16)	ML
	M-04	A-5(11)	ML

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.4. Tramo N°4 Paccha - Ondores (11+150 km – 20+600 km)

El tramo presenta una superficie de rodadura a nivel de Afirmado, en regular estado de conservación. Sus dimensiones de ancho de calzada oscilan entre los 4.7 a 7 m, siendo el en ciertos tramos de doble sentido (ida y vuelta). En la progresiva 12+100 Km a 14+500 Km, la carretera se convierte en un solo tramo, por situarse al filo de la laguna, además se identificó curvas verticales y horizontales, con radios de curvatura inadecuados, lo que genera la pérdida de visibilidad por parte de los transportistas. El Distrito de Ondores es cruzado por la carretera desde la progresiva 19+650 Km a 20+400 Km, donde en la progresiva 20+200 Km

a 20+300, se encuentra la Plaza Principal del distrito de Ondores y tiene una superficie de pavimento Rígido, en malas condiciones de conservación, con presencia de fisuras y grietas. El material de este tramo se resume en la siguiente tabla.

Tabla N° 13 Clasificación de la subrasante en el tramo (Pacchca – Ondores)

CALICATA	ESTRATO	AASHTO	SUCS
C-32	M-02	A-7-5(24)	MH
C-33	M-02	A-2-4(0)	GC GM
C-34	M-03	A-4(0)	ML
C-35	M-03	A-4(0)	SM SC
C-36	M-02	A-7-6(14)	ML
C-37	M-03	A-4(1)	CL ML
C-38	M-02	A-4(0)	GM
C-39	M-02	A1-a(0)	GM
	M-03	A-4(5)	CL ML
C-40	M-03	A-4(2)	CL
	M-04	A-4(2)	CL ML
C-41	M-03	A-4(7)	CL
C-42	M-04	A-4(5)	ML
C-43	M-02	A-4(3)	ML
C-44	M-02	A-4(3)	CL ML
C-45	M-02	A-2-4(0)	GM
	M-03	A-4(0)	GC GM
C-46	M-02	A-2-6(5)	SC
C-47	M-02	A-2-4(0)	GC GM
C-48	M-02	A-2-4(0)	GM
	M-03	A-2-4(0)	GC GM
C-49	M-03	A-4(4)	CL ML
	M-04	A-2-4(0)	GM
C-50	M-03	A-4(0)	ML
	M-04	A-4(2)	ML
C-51	M-02	A-4(4)	CL
	M-03	A-4(1)	SC
C-52	M-03	A-4(2)	CL ML
	M-04	A1-a(1)	GP GM
C-53	M-03	A-2-4(0)	SC
	M-04	A1-b(0)	SM SC
	M-05	A-4(0)	SM SC

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.5. tramo N°5 Ondores – San Pedro de Pari (20+600 km – 39+100 km)

El tramo presenta una superficie de rodadura a nivel de Afirmado, en regular estado de conservación.

Sus dimensiones de ancho de calzada oscilan entre los 6 a 7 m, de doble sentido (ida y vuelta).

En la progresiva 23+500 Km, es donde se reduce la carretera hasta 23+800 Km donde las curvas horizontales tienden a tener radios inadecuados que generan pérdida de visibilidad en los transportistas. Además de situarse el mirador del Ondores en este tramo, lo que generará la acumulación de automóviles y personas.

El tramo cuenta con dos importantes quebradas que cruzan con dos pontones, uno en la progresiva 28+200 Km, en el cual esta quebrada sólo se activa en épocas de lluvia y es una de las más fuertes y la que más colapsa según fuentes de los pobladores que habitan en ese lugar; y la otra se encuentra en la progresiva 28+700 Km, esta quebrada en la unión de dos mini quebradas por decirse de esa manera, además es donde inicia el río que va paralelo a la carretera hasta la progresiva 27+500 Km.

A partir de la progresiva 28+700 Km hasta la progresiva 39+100 Km la carretera posee innumerables curvas horizontales y verticales, pero siendo a partir del kilómetro 34+000, una carretera recta (sin curvas horizontales), sin embargo, posee curvas verticales, con radios de curvatura inadecuada e impidiendo la visión a los transportistas que transitan a diario.

El material de este tramo se resume en la siguiente tabla.

**Tabla N° 14 Clasificación de la subrasante tramo (Ondores - Pari)
parte 01.**

CALICATA	ESTRATO	AASHTO	SUCS
C-54	M-02	A-7-5(18)	ML
C-55	M-03	A-4(0)	CL ML
C-56	M-02	A-4(0)	SM SC
	M-03	A-4(8)	CL
C-57	M-02	A-7-5(10)	ML
C-58	M-02	A-7-5(15)	MH
C-59	M-03	A-7-6(18)	CL
C-60	M-02	A-2-4(0)	GC GM
C-61	M-03	A1-b(0)	SM
C-62	M-02	A-7-5(18)	MH
C-63	M-03	A-4(3)	CL
C-64	M-02	A-4(2)	CL ML
C-65	M-02	A-4(11)	ML
C-66	M-03	A-7-5(29)	MH
C-67	M-03	A-5(8)	ML
C-68	M-02	A-4(5)	ML
C-69	M-03	A-4(0)	GC GM
C-70	M-04	A-6(12)	ML
C-71	M-02	A-7-6(16)	ML
C-72	M-03	A-7-5(13)	ML
C-73	M-04	A-4(0)	SM
C-74	M-03	A-4(0)	CL ML
C-75	M-02	A-4(1)	ML
C-76	M-03	A-7-5(32)	MH
C-77	M-02	A-7-5(47)	MH
	M-03	A-6(14)	CL
C-78	M-03	A-5(10)	ML
	M-04	A-7-5(22)	MH
C-79	M-03	A1-b(0)	GM
C-80	M-03	A-7-5(21)	MH

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 15 Clasificación de la subrasante tramo (Ondores - Pari)

parte 02.

CALICATA	ESTRATO	AASHTO	SUCS
C-81	M-02	A-5(12)	MH
	M-03	A-6(11)	CL
	M-04	A-4(0)	ML
	M-05	A-7-6(16)	ML
	M-06	A-7-5(13)	ML
C-82	M-03	A-7-5(12)	ML
	M-04	A-4(2)	ML
C-83	M-03	A-6(10)	CL
C-84	M-03	A-6(9)	CL
C-85	M-03	A-6(11)	CL
C-86	M-03	A-4(4)	CL ML
C-87	M-02	A-4(7)	ML
C-88	M-03	A-7-6(23)	ML
	M-04	A-4(5)	ML
C-89	M-02	A-7-5(55)	CH
C-90	M-03	A-5(14)	ML
C-91	M-03	A-7-6(37)	CH
	M-04	A-7-6(33)	CL
	M-05	A-4(0)	SM SC
C-92	M-03	A-7-6(47)	CH
	M-04	A-7-6(33)	CH
	M-05	A-6(2)	SC
C-93	M-03	A-2-4(0)	GC
	M-04	A-7-6(29)	CL
	M-05	A-6(12)	CL
	M-06	A-7-6(14)	ML
C-94	M-02	A-7-5(34)	MH
C-95	M-03	A-2-4(0)	GC GM
C-96	M-02	A-2-4(0)	GM
	M-03	A-4(3)	ML
	M-04	A-7-5(17)	ML
C-97	M-02	A1-b(0)	SM
	M-03	A-2-4(0)	GC GM
	M-04	A-2-4(0)	SM
C-98	M-02	A-4(2)	ML
C-99	M-02	A-2-4(0)	GM
	M-03	A1-b(0)	GM
	M-04	A-2-4(0)	GC
	M-05	A-2-4(0)	GM
	M-06	A-4(3)	CL ML

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.6. Tramo N°6 San Pedro de Pari – Puente Upamayo (39+100 km – 45+250 km)

El tramo presenta una superficie de rodadura a nivel de afirmado, en regular estado de conservación. Las dimensiones de ancho de calzada son similares al tramo anterior de 5.50 m a 7.00 m. siendo de doble sentido. Este tramo presenta una topografía poco ondulada, con radio horizontales amplios, lo que genera un libre tránsito con pocas zonas de peligro.

El material de este tramo se resume en la siguiente tabla.

Tabla N° 16 Clasificación de la subrasante tramo (San Pedro Parí – Puente Upamayo)

CALICATA	ESTRATO	AASHTO	SUCS
C-100	M-02	A-2-4(0)	GM
	M-03	A-4(0)	ML
C-101	M-03	A-2-4(0)	GM
	M-04	A-2-4(0)	GM
	M-05	A-4(0)	ML
C-102	M-03	A1-b(0)	SM
	M-04	A-4(4)	ML
	M-05	A1-b(0)	SM
	M-06	A-7-5-(12)	ML
C-103	M-03	A-4(6)	ML
	M-04	A-6(12)	CL
C-104	M-03	A-4(0)	SM
	M-04	A-4(0)	GC GM
C-105	M-03	A-4(0)	ML
	M-04	A-7-6(11)	ML
C-106	M-03	A-7-5(45)	MH
C-107	M-02	A-5(19)	MH
C-108	M-03	A-6(3)	CL
C-109	M-02	A-4(0)	ML
C-110	M-02	A-7-5(18)	ML
C-111	M-03	A-4(5)	ML
C-112	M-03	A-4(5)	ML
C-113	M-02	A-4(1)	CL ML
C-114	M-01	A-4(6)	ML
C-115	M-02	A-7-6(23)	CH

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Sectorización de zonas en la subrasante

A continuación, se presenta los tipos de zonas halladas en todo el tramo de la carretera, por lo que se clasificó de la siguiente manera: Zonas con bajo CBR, Zonas de Bofedales, Zona de Suelos Blandos, Zona de Suelos Expansivos, Zona con Filtraciones de Agua, Zona con Suelos Rocosos (**ver plano N°1 “Sectorización geotécnica existente”**).

Todas las zonas identificadas están sectorizadas dando un inicio y un fin en kilómetros (km). Además de estar acorde a lo que indica el “Manual de Carreteras” Suelos, Geología y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos, Capítulo IX Estabilización de Suelos.

En la tabla que se muestra a continuación se muestra los resultados de los CBR de las calicatas exploradas en la subrasante existente.

Tabla N° 17 Resultado de CBR en las calicatas exploradas.

NUMERO DE CALICATA	CBR 100%	CBR 95%	SUCS
CALICATA N°01	9.46	9.13	ML
CALICATA N°02	62.29	55.08	GP
CALICATA N°15 E-02	18.97	18.83	GC-GM
CALICATA N°15 E-03	2.76	2.57	CL-ML
CALICATA N°19	24.23	23.69	GM
CALICATA N°28	56.96	49.84	GC GM
CALICATA N°32	9.03	8.7	MH
CALICATA N°40	6.81	5.21	CL ML
CALICATA N°42	3.86	2.34	ML
CALICATA N°45	49.87	45.86	GM
CALICATA N°46	15.69	15.59	SC
CALICATA N°52	19.87	17.7	GP GM
CALICATA N°56	3.86	2.93	CL
CALICATA N°58	5.19	4.69	MH
CALICATA N°75	5.18	4.44	ML
CALICATA N°78	3.82	3.68	MH
CALICATA N°81	15.66	13.69	ML
CALICATA N°88	11	10.96	ML
CALICATA N°96	38.16	33.73	GM
CALICATA N°103	2.07	2	CL
CALICATA N°106	2.68	2.64	MH
CALICATA N°107	2.17	1.76	MH
CALICATA N°115	7.66	7.2	CH

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.1. Sectorización de relación de soporte california (CRB) existente

Para la sectorización de las zonas del CBR de la subrasante existente, se tuvo en consideración la clasificación de suelos, en los “Tramo 01 al Tramo 14 y Tramo 16 y 17 se tenía 02 calicatas exploradas es por ello que el CBR de diseño en estos tramos se consideró el CBR crítico “menor CBR”, para el tramo 15 el CBR de diseño se obtuvo a partir de dos métodos que recomienda el Manual de carreteras EG2013 “METODO AASHTO93” y “METODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO” como se muestra en el desarrollo del informe.

4.2.2.2. CBR de diseño del tramo N°15

- **Metodo AASHTO93**

Para este método se debe obtener el promedio aritmético de los CBRs obtenidos en la exploración de las calicatas de la subrasante, en la siguiente tabla se muestra los resultados.

Tabla N° 18 Obtención del CBR de diseño por el método AASHTO- Tramo N°15.

CALICATA	CBR 100%	CBR 95%	CBR 95% DE DISEÑO
CALICATA N°75	5.18	4.44	8.19
CALICATA N°78	3.82	3.68	
CALICATA N°81	15.66	13.69	
CALICATA N°88	11	10.96	

Fuente: Elaboración propia.

El CBR de diseño del tramo N°15 aplicando el método de la Guía de diseño de pavimentos AASHTO 1993 es de 8.19%.

- **Metodo del Instituto del Asfalto**

Para este método de obtención de CBR de diseño se debe considerar el valor tal que el 60%, 75% y 87.5% de los valores

individuales del CBR sea igual o mayor que él, estos percentiles dependen del tráfico que se espera que circule por el pavimento en un periodo de diseño definido.

Tabla N° 19 Valores número de ejes y percentiles.

Numero de ejes de 8.2tn en el carril de diseño	percentil a seleccionar el cbr de diseño
$\leq 10^4$	60%
$10^4 - 10^6$	75%
$\geq 10^6$	87.50%

Fuente: Instituto del Asfalto- 2006 nueva edición.

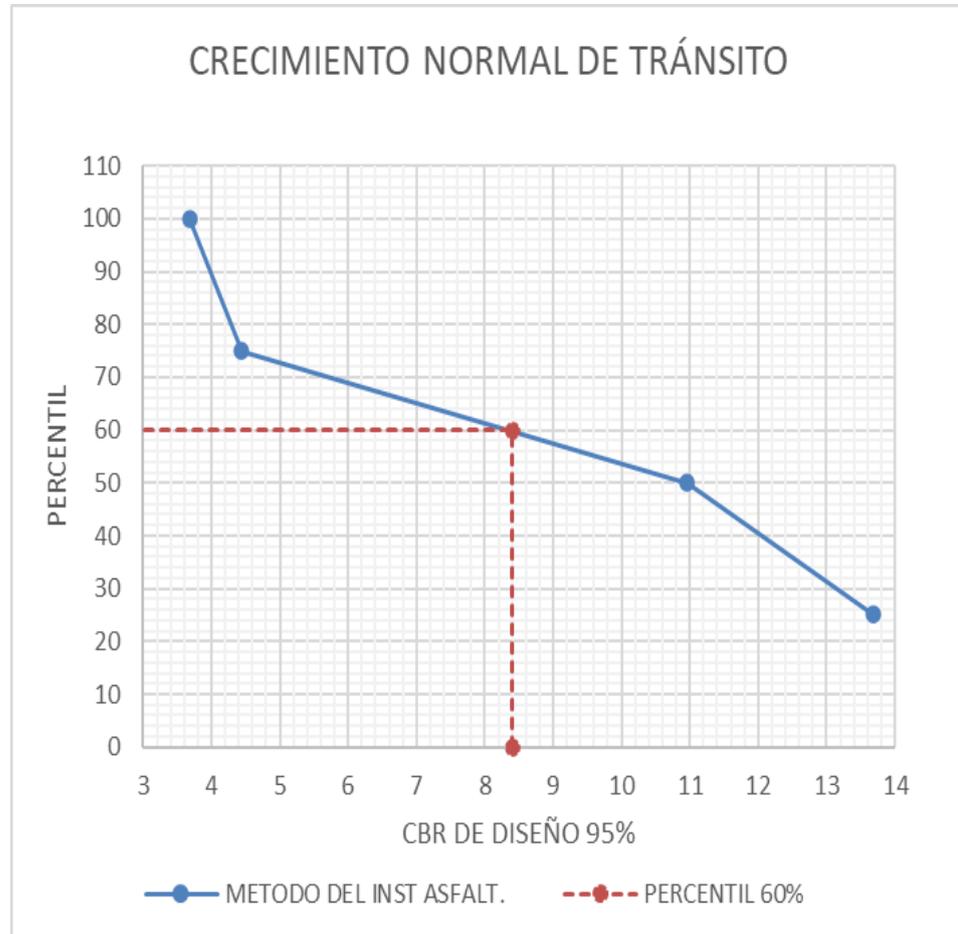
De acuerdo con el Tránsito y CBR establecidos para cada tramo del proyecto en estudio se ordena estos de mayor a menor obteniendo porcentajes mayores o iguales que cada uno, seguido a ello se grafican los valores de CBR con los porcentajes obtenidos, y depende el percentil se obtiene el CBR de diseño.

Tabla N° 20 Obtención del CBR de diseño para el tramo N°15 con el método del Instituto del Asfalto.

CALICATA	CBR 100%	CBR 95%	ITEM	CBR ORDENADO	PERCENTIL
CALICATA N°75	5.18	4.44	1	13.69	25.00%
CALICATA N°78	3.82	3.68	2	10.96	50.00%
CALICATA N°81	15.66	13.69	3	4.44	75.00%
CALICATA N°88	11	10.96	4	3.68	100.00%

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 1: Obtención del CBR de diseño para el tramo N°15 con el método del Instituto del Asfalto.



Fuente: Elaboración propia.

El CBR de diseño del tramo N°15 aplicando el método del instituto del asfalto es de 8.40%.

Finalmente, el CBR de diseño para el tramo N°15 será de 8.19%, esta elección es al criterio del diseñador, ya que el CBR con penetración de 2.54mm \leftrightarrow 0.10 pulg, y CBR al 100% no se tuvo resultados (**ver tabla N°21 “Sectorización de CBR en la subrasante existente”**), es por eso la elección a criterio del diseñador a partir de dos métodos que se

recomienda el Manual de carreteras EG2013 “METODO AASHTO93” y “METODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO”.

4.2.2.3. CBR de diseño en la subrasante existente

Después de la sectorización y la obtención del CBR de diseño la carretera, esta sectorizada por 17 tramos según la clasificación del suelo y CBR, correspondiente a las exploraciones realizadas en las calicatas de la subrasante existente (ver plano N°2 “Plano de CBR de diseño proyectado”).

Tabla N° 21 Sectorización de CBR en la subrasante existente.

TRAMO	PROGRESIVAS DEL TRAMO		CBR CON PENETRACIÓN A 2.54mm \leftrightarrow 0.10pulg.	
	KM DE INICIO	KM DE FIN	CBR AL 100%	CBR AL 95%
Tramo 01	00+000	06+000	2.76	2.57
Tramo 02	06+000	08+000	18.97	18.83
Tramo 03	08+000	10+000	2.76	2.57
Tramo 04	10+000	11+000	56.96	49.84
Tramo 05	11+000	12+000	9.03	8.70
Tramo 06	12+000	14+000	18.97	18.83
Tramo 07	14+000	16+500	3.86	2.34
Tramo 08	16+500	17+800	49.87	45.86
Tramo 09	17+800	19+000	15.69	15.59
Tramo 10	19+000	20+400	2.99	2.54
Tramo 11	20+400	21+600	49.87	45.86
Tramo 12	21+600	23+500	3.86	2.34
Tramo 13	23+500	24+500	18.97	18.83
Tramo 14	24+500	25+500	5.18	4.44
Tramo 15	25+500	37+000	--	8.19%

Tramo 16	37+000	40+000	38.16	33.73
Tramo 17	40+000	45+307	2.07	2.00

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.4. Zonas de bajo CBR

Se identificó sectores con bajo CBR en todo el tramo de la carretera, como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla N° 22 Zonas de bajo CBR en la subrasante existente.

TRAMO	PROGRESIVAS DEL TRAMO		CBR CON PENETRACIÓN A 2.54mm <=> 0.10pulg.	
	KM DE INICIO	KM DE FIN	CBR AL 100%	CBR AL 95%
Tramo 01	00+000	06+000	2.76	2.57
Tramo 03	08+000	10+000	2.76	2.57
Tramo 07	14+000	16+500	3.86	2.34
Tramo 10	19+000	20+400	2.99	2.54
Tramo 12	21+600	23+500	3.86	2.34
Tramo 14	24+500	25+500	5.18	4.44
Tramo 17	40+000	45+307	2.07	2.00

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.5. Zona de bofedales

Los bofedales se forman en zonas como las de los macizos andinos ubicadas sobre los 3.800 m.s.n.m., en donde las planicies almacenan aguas provenientes de precipitaciones pluviales, y principalmente afloramientos superficiales de aguas subterráneas.

El problema principal que presenta este proyecto es que en varios sectores el trazo de la vía cruza zonas de bofedales, en algunos casos, con presencia de material orgánico y filtraciones por lo que no constituyen un terreno estable para la estructura a construirse.

Tabla N° 23 Resumen de zonas de inundaciones y bofedales.

TRAMO	PROGRESIVAS DEL TRAMO		OBSERVACIONES
	KM DE INICIO	KM DE FIN	
T – 01	00+200	06+000	Bofedales y Filtraciones
T – 02	08+000	10+000	Bofedales y Filtraciones
T – 03	11+100	12+000	Bofedales y Filtraciones
T – 04	17+200	22+600	Bofedales y Filtraciones
T – 05	23+600	27+400	Bofedales y Filtraciones
T – 06	32+000	32+500	Bofedales y Filtraciones
T – 07	34+700	34+900	Bofedales y Filtraciones
T – 08	36+800	37+700	Bofedales y Filtraciones
T – 09	38+000	42+000	Bofedales y Filtraciones
T – 10	42+800	44+000	Bofedales y Filtraciones

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.6. Zona de suelos blandos

Son suelos cuyas propiedades físico-mecánicas han sido variados por agentes externos con lo cual se tornan inestables, de muy baja capacidad de soporte y que no son factibles de compactar debido a sus cambios de forma y volumen cuando se aplican fuerzas externas; en otros casos, cuando los suelos aumentan de volumen cuando son retiradas de ellos las presiones actuales y que raramente vuelven a su estado inicial.

Se considera un suelo como inadecuado cuando el índice de compresibilidad (C_c) es igual o mayor que 0.40, que corresponde a grado de compresibilidad Alta, Carlos Crespo Villalaz (“Mecánica de Suelos y Cimentación”):

Tabla N° 24 Índice de compresibilidad.

Coeficiente de Compresibilidad (Cc)	Grado de Compresibilidad
0.0 – 0.19	Baja
0.20 – 0.39	Media
Mayor a 0.40	Alta

Fuente: Mecánica de Suelos y Cimentación – Carlos Crespo.

Y límite líquido LL mayor de 50% según Terzaghi y Peck (W Lambe – R. Whitman, “Mecánica de Suelos”).

$$C_c = 0.009 (LL - 10)$$

Identificado los Sectores con Suelos Blandos, se procedió a evaluar cada sector identificado:

Tabla N° 25 Resumen de zonas con presencia de suelos blandos.

N°	CALI CATA	Muestra	UBICACIÓN (km)	% HUMEDAD	%L.L.	%L.P.	%I.P.	CLASIFICACIÓN AASHTO	SUCS	Cc	
1	C-32	M-02	12+000	26.88	57	37	20	A-7-5(24)	MH	0.42	Alta
2	C-58	M-02	22+550	35.61	54	40	14	A-7-5(15)	MH	0.40	Alta
3	C-68	M-03	26+400	39.07	60	39	21	A-7-5(29)	MH	0.45	Alta
4	C-76	M-03	29+100	45.56	67	44	23	A-7-5(32)	MH	0.51	Alta
	C-77	M-02	29+400	52.73	82	47	35	A-7-5(47)	MH	0.65	Alta
	C-78	M-04	30+040	42.52	60	46	14	A-7-5(22)	MH	0.45	Alta
5	C-80	M-03	30+810	52.95	63	49	13	A-7-5(21)	MH	0.48	Alta
6	C-90	M-02	35+170	51.71	91	39	53	A-7-5(55)	CH	0.73	Alta
	C-91	M-03	35+650	73.65	55	22	33	A-7-6(37)	CH	0.41	Alta
	C-92	M-03	35+670	73.65	61	18	43	A-7-6(47)	CH	0.46	Alta
7	C-94	M-02	36+650	62.76	66	40	26	A-7-5(34)	MH	0.50	Alta
8	C-106	M-03	41+820	52.35	85	53	32	A-7-5(45)	MH	0.68	Alta
	C-107	M-02	42+210	47.52	69	62	7	A-5(19)	MH	0.53	Alta

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.7. Zona de suelos expansivos

En la construcción de una carretera supone un cambio importante en las condiciones de equilibrio de humedad del terreno existente. Por tanto que, si los suelos atravesados tienen características expansivas, este producirá hinchamientos o retracciones, según que la humedad aumente o disminuya al tender a alcanzar las condiciones impuestas por el nuevo entorno.

4.2.2.7.1. Métodos empíricos de identificación

Para la identificación de este tipo de suelos se consideró usar los Límites de Atterberg, para lo cual se procedió a identificar zonas con suelos de casos de presencia de suelos con potencial expansivo alto o muy alto.

Tabla N° 26 Potencial de los suelos en función a la plasticidad.

Potencial de Expansión	Índice de Plasticidad	Límite Líquido
Muy alto	>32	>70
Alto	23 - 32	50 - 70
Medio	12 - 23	35 - 50
Bajo	<12	20 - 35

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 27 Resumen de las zonas con suelos Expansivos.

N°	CALICATA	MUESTRA	UBICACIÓN (km)	% HUMEDAD	%L.L.	%I.P.	CLASIFICACIÓN AASHTO	SUCS	Potencial de Expansión
1	C-32	M-02	12+000	26.88	57	20	A-7-5(24)	MH	Alto
2	C-46	M-02	17+950	15.06	38	38	A-2-6(5)	SC	Alto
3	C-58	M-02	22+550	35.61	54	14	A-7-5(15)	MH	Medio
4	C-63	M-02	24+370	30.55	53	17	A-7-5(18)	MH	Alto
5	C-68	M-03	26+400	39.07	60	21	A-7-5(29)	MH	Alto
6	C-76	M-03	29+100	45.56	67	23	A-7-5(32)	MH	Alto
7	C-77	M-02	29+400	52.73	82	35	A-7-5(47)	MH	Muy Alto
8	C-78	M-04	30+040	42.52	60	14	A-7-5(22)	MH	Alto
9	C-80	M-03	30+810	52.95	63	13	A-7-5(21)	MH	Alto
10	C-81	M-02	31+350	41.60	53	3	A-5(12)	MH	Alto
11	C-90	M-02	35+170	51.71	91	53	A-7-5(55)	CH	Alto
12	C-91	M-03	35+650	73.65	55	33	A-7-6(37)	CH	Alto
13	C-91	M-04	35+650	68.55	47	31	A-7-6(33)	CL	Medio
14	C-92	M-03	35+670	73.65	61	43	A-7-6(47)	CH	Medio
15	C-92	M-04	35+670	63.39	52	30	A-7-6(33)	CH	Alto
16	C-93	M-04	36+100	69.57	43	28	A-7-6(29)	CL	Alto
17	C-94	M-02	36+650	62.76	66	26	A-7-5(34)	MH	Alto
18	C-106	M-03	41+820	52.35	85	32	A-7-5(45)	MH	Alto
19	C-107	M-02	42+210	47.52	69	7	A-5(19)	MH	Alto
20	C-115	M-02	45+200	18.66	51	33	A-7-6(23)	CH	Alto

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.8. Zona con nivel freático

Durante la exploración de la totalidad de calicatas, en 17 calicatas de las 115 ejecutadas se encontraron presencia de filtraciones de agua, en todos los casos estas se asocian a zonas de filtraciones desde el talud

lateral, además de presencia de bofedales. Además, superficialmente se evidencio presencia de material orgánico. Estos sectores también están asociados a las zonas con bofedales (**ver plano N°3 “Plano de nivel freatico”**).

Tabla N° 28 Resumen de zonas con filtraciones de agua.

N°	CALICATA	ESTE	NORTE	COTA m.s.n.m.	PROF. (m)	N.F. (m)	PROG km
1	C-01	390586	8765911	4109	2.00	1.80	00+020
2	C-03	389772	8765786	4100	2.60	2.20	00+850
3	C-09	387891	8765204	4098	2.40	2.30	02+925
4	C-21	383199	8767561	4099	2.40	2.20	08+610
5	C-24	382597	8767784	4092	1.90	1.50	09+290
6	C-26	382003	8768143	4093	2.00	1.30	09+910
7	C-27	381995	8768156	4093	2.30	2.00	09+930
8	C-31	380532	8769119	4089	3.00	2.80	11+690
9	C-49	375490	8773645	4098	2.00	1.90	18+890
10	C-50	375019	8773860	4102	1.90	0.90	19+420
11	C-51	374988	8773901	4102	3.00	2.90	19+460
12	C-52	374980	8773911	4102	2.80	2.70	19+480
13	C-72	370256	8778808	4113	3.00	2.90	28+0.50
14	C-91	366217	8784372	4093	3.40	3.20	35+650
15	C-97	365287	8786520	4096	2.10	0.90	38+000
16	C-101	364600	8788096	4089	2.50	1.80	39+730
17	C-102	364297	8788490	4091	3.10	2.30	40+250

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, representan un problema los canales laterales a la vía, identificados entre los sectores km 00+320 al km 01+760, del km 02+340 al km 02+760 y del km 27+520 al km 29+040 en el trazo principal. De igual modo, en la zona urbana a la salida del distrito de Junín km 00+000 al km 00+500, en parte las aguas hervidas son arrojadas a la vía y junto a los canales laterales generan concentraciones de humedad y

saturación en la plataforma proyectada, debilitando los suelos de fundación.

4.2.2.9. Zona de suelos rocosos

En el trazo principal, los materiales encontrados como superficie de rodadura del afirmado existente cuentan con una adecuada capacidad de soporte, sin embargo, de las 115 prospecciones ejecutadas, en 19 calicatas se encontraron estratos rocosos cuya profundidad fluctúa entre 0.30 m. a 2.00 m. En los casos que coincidan los estratos rocosos con la cota de la subrasante se requerirá de su eliminación complementaria para la conformación de la subrasante.

Tabla N° 29 Resumen de Zonas con Suelo Rcoso.

N°	PROGRESIVAS		LONGITUD (m)	N° CALICATA	TIPO DE ROCA
	INICIO km	FIN km			
1	05+900	06+300	400	C-015	Roca sana
2	11+860	13+060	1200	C-032, C-033, C-034	Roca sana
3	13+380	13+620	240	C-036	Roca sana
4	13+980	14+600	620	C-038	Roca sana
5	16+280	17+320	560	C-043, C044	Roca sana
6	20+220	20+720	500	C-054	Roca sana
7	21+900	22+340	440	C-057	Roca (conglomerados)
8	23+240	23+620	380	C-060	Roca sana
9	24+000	24+280	280	C-062	Roca sana
10	24+980	25+300	320	C-065	Roca sana
11	25+700	26+150	450	C-067	Roca sana
12	28+630	28+990	360	C-074, C-075	Roca Fracturada
13	30+645	31+085	440	C-080	Roca sana
14	33+470	33+970	500	C-087	Roca sana
15	44+800	45+200	400	C-114, C-115	Roca sana

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Prueba de Hipótesis

Luego de la investigación podemos evaluar nuestra hipótesis, antes de la investigación nuestra hipótesis general es la siguiente:

4.3.1. Estabilización de la subrasante

El “Manual de Carreteras” Suelos, Geología y Pavimentos, Sección Suelos y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones; nos dan diferentes criterios que se debe de tener en cuenta al momento de estabilizar un suelo, como se muestra a continuación:

- a. Para las características geotécnicas de un suelo, se tiene que aceptar suelos aptos para la subrasante con un $CBR \geq 6\%$. En caso de ser menor (subrasante pobre o subrasante inadecuada), será materia de un estudio especial para la estabilización, donde se tendrá que analizar diversas alternativas como: Estabilización Mecánica, Estabilización con geosintéticos, Pedraplenes, Capas de Arena, Elevación de la rasante, etc.
- b. Las características geológicas de los suelos si influyen en el diseño de la subrasante, ya que la geología es diferente durante las progresivas que son tramos de, Coluvial, lacustre, aluvial así como grupos y formaciones y el relieve mismo tiene que ver para un diseño de la subrasante como por ejemplo que el tramo sea arcillosa o limosa y, al humedecerse, partículas de estos materiales puedan penetrar en las capas granulares del pavimento contaminándolas, deberá proyectarse una capa de material según sea el caso.
- c. La superficie de la subrasante debe quedar encima del nivel freático.

Tabla N° 30 Altura sobre el nivel freático

ALTURA MÍNIMA (m)	TIPO DE SUBRASANTE
0.60	Muy buena
0.80	Buena - Regular
1.00	Pobre
1.20	Inadecuada

Fuente: Manual de carreteras – MTC.

- d. En zonas sobre los 4000 m.s.n.m., se evaluará la acción de las heladas en los suelos. En general, la acción de congelamiento está asociada con la profundidad del nivel freático y la susceptibilidad del suelo al congelamiento. Sí la profundidad del nivel freático es mayor a la indicada anteriormente (1.20 m), la acción de congelamiento no llegará a la capa superior de la subrasante. En el caso de presentarse en la capa superior de la subrasante (últimos 0.60 m) suelos susceptibles al congelamiento, se reemplazará este suelo en el espesor comprometido o se levantará la rasante con un relleno granular adecuado, hasta el nivel necesario. Son suelos susceptibles al congelamiento, los suelos limosos.

4.3.2. Métodos de estabilización de suelos

4.3.2.1. Estabilización mecánica de suelos

Con la Estabilización Mecánica de Suelos se pretende mejorar el material del suelo existente, sin cambiar la estructura y la composición básica del mismo. Como herramienta para lograr este tipo de estabilización se utiliza la compactación, con la cual se reduce el volumen de vacíos presentes en el suelo.

4.3.2.2. Estabilización por combinación de suelos

Este método comprende en disgregar o escarificar, en una profundidad de 15 cm y luego se colocará el material de préstamo o de aporte. Los materiales disgregados y los aportes se humedecerán o airearán hasta alcanzar la humedad apropiada de compactación y previa eliminación de partículas mayores de 75 mm, Luego se procederá a un mezclado de ambos suelos, se conformará y compactará cumpliendo las exigencias de densidad y espesores hasta el nivel de la subrasante fijado en el proyecto.

4.3.2.3. Estabilización por sustitución de los suelos

Cuando se prevea la construcción de la subrasante mejorada solamente con material adicionado, pueden presentarse situaciones, sea que la capa se construya directamente sobre el suelo natural existente o que éste deba ser excavado previamente y reemplazado por el material de adición. En el primer caso, el suelo existente se deberá escarificar, conformar y compactar a la densidad específica para cuerpos de terraplén, en una profundidad de quince centímetros (15 cm). Una vez se considere que el suelo de soporte esté debidamente preparado, autorizará la colocación de los materiales, en espesores que garanticen alcanzar la humedad de compactación apropiada.

4.3.2.4. Estabilización con cal

La estabilización del suelo cambia considerablemente las características del mismo, produciendo resistencia y estabilidad a largo plazo, en forma permanente, en particular en lo que concierne a la acción del agua. La cal puede estabilizar permanentemente el suelo fino empleado como una subrasante o subbase, para crear una capa con un valor estructural significativo en el sistema del pavimento. Los suelos tratados pueden ser del lugar (subrasante) o bien, de materiales de préstamo. La estabilización de la subrasante por lo general implica mezcla en el lugar y generalmente requiere la adición de cal de 3 a 6 por ciento en peso del suelo seco.

Aplicaciones:

- a.** Materiales compuestos por mezclas de grava y arcilla para su uso como capa granular superficial con una incorporación de 2% a 4% de Ca(OH)_2 en peso.

- b. Suelos altamente arcillosos para usarlos como capa granular superficial (5% a 10% de la cal en peso) o como capa inferior (1 a 3% de cal en peso).

Beneficios:

- a. Reducción del IP, debido a una reducción del límite líquido y a un incremento del límite plástico.
- b. La cal ayuda a secar los suelos húmedos lo que acelera su compactación.
- c. Reducción importante del potencial de contracción y del potencial de hinchamiento.
- d. Incremento de la capacidad portante del suelo (CBR).
- e. Incremento a la resistencia a la tracción del suelo.

Desventajas:

- a. Tener en cuenta, el problema del posible fisuramiento de estas estabilizaciones o de bases tratadas con cal, debido a una falta o descuido en el curado que hace perder humedad a la capa estabilizada, en el periodo previo a la colocación de la siguiente capa. Este proceso se agrava cuando la carretera se ubica en zonas calurosas; razón por la cual es fundamental considerar el curado de estas capas estabilizadas o tratadas con cal.

4.3.2.5. Estabilización con cemento

También llamado suelo cemento, se obtiene por la mezcla íntima de un suelo suficientemente disgregado con cemento, agua y otras eventuales adiciones, seguida de una compactación y un curado adecuado. De esta forma, se termina convirtiendo en un material más endurecido y mucho más resistente.

Beneficios:

- a. Elevada capacidad de soporte a la explanada.

- b. Su aplicación mejora la calidad de suelos deficientes.
- c. Resistencia a la erosión y a todo tipo de clima.
- d. Moderado calor de hidratación que disminuye el riesgo de fisuras.
- e. Excelente trabajabilidad.
- f. Amigable con el medio ambiente ya que disminuye la huella de CO2.

Aplicaciones:

- a. Suelos finos de plasticidad baja o media (LL < 40, IP < 18)
- b. Suelos granulares tipos A-1, A-2, A-3-

Dosificación:

- a. La dosificación de cemento para Suelo Cemento puede fijarse aproximadamente en función del tipo de suelo, según lo siguiente:

Tabla N° 31 Rango de Cemento Requerido en Estabilización Suelo Cemento.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO	RANGO USUAL DE CEMENTO REQUERIDO PORCENTAJE DEL PESO DE LOS SUELOS
A-1-A	3-5
A-1-B	5-8
A-2	5-9
A-3	7-11
A-4	7-12
A-5	8-13
A-6	9-15
A-7	10-16

Fuente: Federal Highway Administration (FHWA).

Es conveniente que la compactación se inicie cuando la humedad in situ sea la prescrita y en todo caso, en menos de una hora a partir del mezclado, y se debe terminar entre 2 a 4 horas, según las condiciones atmosféricas. A nivel de subrasante, se exige un grado de compactación mínimo 95% según AASHTO T180 en la capa de afirmado el mínimo es de 100%.

Desventajas:

- a. El posible fisuramiento de estas estabilizaciones o de bases tratadas con cemento, debido a una falta o descuido en el curado que hace perder humedad a la capa estabilizada, en el periodo previo a la colocación de la siguiente capa. Este proceso se agrava cuando la carretera se ubica en zonas calurosas; razón por la cual es fundamental considerar el curado de estas capas estabilizadas o tratadas con cemento.

4.3.2.6. Estabilización con cloruro de calcio

El cloruro cálcico es una sal delicuescente. Puede disolverse completamente absorbiendo humedad de la atmósfera cuando la humedad relativa del aire está por encima de ciertos valores. Además, el cloruro de calcio ayuda al proceso de compactación y contribuye con la resistencia del suelo, previene el desmoronamiento de la superficie y es un paliativo del polvo. Se puede utilizar de dos formas:

- a. En granos regulares o Tipo I
- b. En hojuelas o pelotillas o Tipo II

El suelo a estabilizar deberá presentar las siguientes características:

- a. Agregado grueso (1" – N°4) de 10% – 60%
- b. Agregado fino menor que la malla N°200 de 10%-30%
- c. Índice plástico 4% -15%
- d. Sulfatos 001% máx.

Beneficios del Cloruro de Calcio

- a. Mantienen estable la humedad durante el proceso de compactación.
- b. Aumenta la densidad máxima para un mismo esfuerzo de compactación.

- c. Mantiene la superficie del pavimento humedad, reduciendo la formación de polvo con el tránsito y reteniendo los agregados en la carretera.
- d. Rebaja la temperatura de congelación del agua, por lo que los suelos sufren menos los efectos de la helada.
- e. Aumenta la densidad durante el “curado”.

Limitaciones del Cloruro de Calcio

- a. Se recomienda emplear con suelos bien graduados.
- b. Se disuelve y es arrastrado por las aguas de lluvia.
- c. Para usarse como paliativo del polvo la humedad relativa debe ser mayor que la crítica durante parte del día.
- d. Cuando se usa en tratamientos superficiales, partículas de cloruro se pueden depositar en los vehículos acentuando la corrosión de las partes metálicas.

Dosificación

- a. La dosificación es de 1% a 2% de cloruro de calcio en peso respecto del suelo seco. Generalmente se aplica disuelto en agua mediante riego al comienzo de la temporada seca.

4.3.2.7. Estabilización con productos asfálticos

La mezcla de un suelo con un producto asfáltico puede tener como finalidad:

- a. Un aumento de su estabilidad por las características aglomerantes del ligante que envuelve las partículas del suelo.
- b. Una impermeabilización del suelo, haciéndolo menos sensible a los cambios de humedad y por tanto más estable en condiciones adversas.

Métodos de Empleo

- a. El material asfáltico que se emplea para mejorar un suelo puede ser el cemento asfáltico o bien las emulsiones asfálticas, el primero es el residuo último de la destilación del petróleo.
- b. En las estabilizaciones, las emulsiones asfálticas son las más usadas ya que este tipo de productos si pueden emplearse con pétreos húmedos y no se necesitan altas temperaturas para hacerlo maniobrable, en este tipo de productos se encuentra en suspensión con el agua.

Dosificación

- a. La dosificación necesaria de ligante es función principalmente de la granulometría (superficie específica) del suelo. Los suelos más adecuados son los granulares con pocos finos, de reducida plasticidad, que presentan menos del 20% que pasa la malla N°200, $LL < 30$ e $IP < 10$.
- b. Los suelos finos requieren mayor cantidad de asfalto, así suelos plásticos muy finos no pueden estabilizarse a un costo razonable debido a la dificultad para pulverizarlos y la cantidad de bitumen exigido. En general, la cantidad de asfalto utilizado varía entre un 4% y un 7% y en todo caso la suma de agua para compactación más el asfalto no debe exceder a la cantidad necesaria para llenar los vacíos de la mezcla compactada.

Proceso Constructivo

El procedimiento se desarrolla de la siguiente manera:

- a. La capa a mejorar ya tiene que estar completamente terminada.
- b. Al momento de estabilizar, se debe de tener en cuenta que no haya mucho viento, menos de 5°C o lluvia.

- c. La temperatura mínima al momento de ejecutarse debe de ser superior a 15°C, pero si la temperatura tiene una tendencia a aumentar podrá fijarse en 10°C, sin embargo, podrá ser 5°C si el ligante se efectúa directamente en la máquina de una sola pasada o en la mezcladora de la planta fija.
- d. El proceso de curado en la estabilización con asfalto tiene una gran importancia, depende de muchas variables, como cantidad de asfalto aplicado, humedad y viento, cantidad de lluvias y la temperatura ambiente; razón por la cuales fundamental considerar el curado de estas capas estabilizadas o tratadas con asalto.

4.3.2.8. Estabilización con geosintéticos

- **Geomalla como Mejoramiento de Subrasante:** A Diferencia de los suelos, los geosintéticos proporcionan resistencia a la tracción y una mejora significativa en el rendimiento y construcción de pavimentos. Las funciones de separación y filtro de los geotextiles y la función de refuerzo de las geomallas, se pueden combinar para proporcionar una estabilización mecánica de los suelos de subrasante inadecuada. Las geomallas también se pueden utilizar para reforzar o separar la capa de base de un pavimento flexible ya que nos permite mejorar el valor de soporte y así mejorar el comportamiento de la estructura del pavimento. Tomando en consideración las condiciones óptimas para el uso de geosintéticos, en la construcción de carreteras visto en el “Manual de Carreteras” Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos, son:

A. Suelos clasificados según:

- Clasificación SUCS: SC, CL, CH, ML, MH, OL, OH, PT
- Clasificación AASHTO: A-5, A-6, A.7.5, A-7-6

B. Baja resistencia al corte y sin drenaje:

- CBR < 3
- MR~<4500psi (30MPa) (Determinado según AASHTO T274)

C. Nivel freático alto

Al instalar una geomalla entre el relleno de mejoramiento y la subrasante, las partículas del relleno penetran en las aberturas de la geomalla trabándose en sus aperturas triangulares reduciendo la oscilación, movimientos laterales y el efecto de “bombeo”. Este entrelazado mecánico también dispersa fuerzas verticales sobre la geomalla permitiendo que se forme un arco bajo la carga aumentando su capacidad portante, la vida útil de la fundación y reduciendo el espesor de material de mejoramiento requerido. En resumen, la geomalla trabaja como pieza estructural transmitiendo cargas a bajas deformaciones sobre un área mucho mayor e inhibiendo los movimientos laterales de agregado.

Los Doctores Giroud y Han desarrollaron y verificaron un método de diseño mejorado, el “Método Giroud - Han” el cual incorpora la resistencia y el módulo del material básico, variaciones de los ángulos de distribución de esfuerzos a través de la capa de apoyo y la propiedad del módulo de estabilidad de la abertura (rigidez) del esfuerzo geosintéticos, además de todos los parámetros adicionales considerados por el Método G&N (carga por rueda, presión del neumático, esfuerzo de corte de la subrasante, número de aplicaciones de carga y profundidades de ahuellamiento). En consecuencia, este método mejorado permite a los diseñadores inducir parámetros más precisos para predecir mejor su comportamiento. A su vez esto lleva a un uso más eficiente de los

recursos de agregado, equipos de construcción, mano de obra y tiempo.

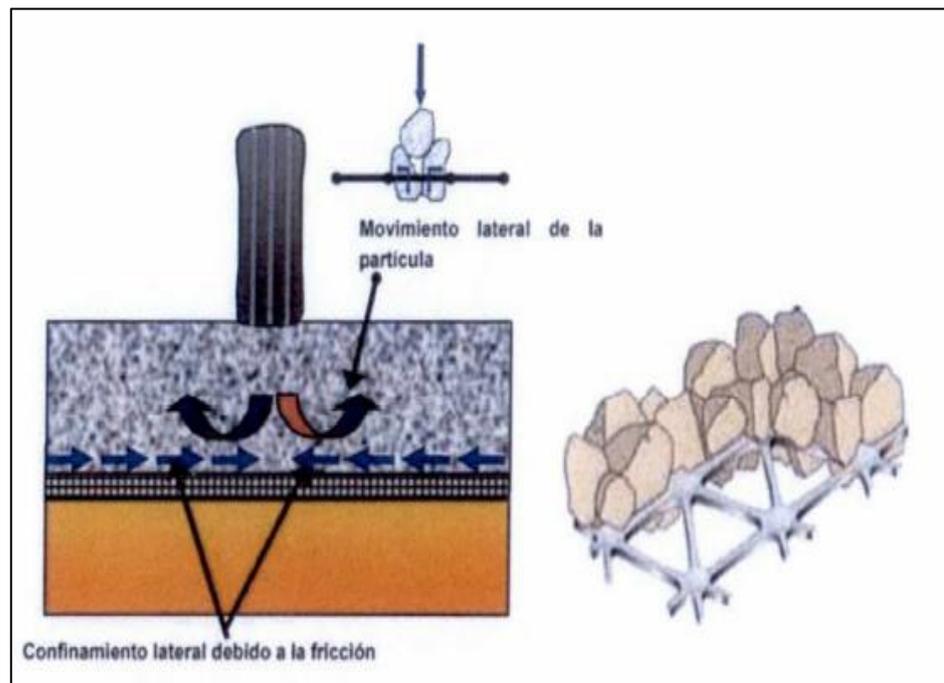
La experiencia en nuestro país en la aplicación de esta tecnología ha resultado beneficios y alentadora como alternativa de solución. A continuación, se mencionan los proyectos importantes en donde se emplearon:

- Mejoramiento Carretera Cusco Occopata – Plan Copesco.
- Mejoramiento Av. Costanera Callao – Gobierno Regional Callao.
- Ampliación Av. Néstor Gambeta (Interferencias) – Callao.
- Malecón Playa Venecia y Barlovento – Lima.
- Rehabilitación Ovalo Delfines.

A. Mecanismos de Refuerzo: Se han identificado tres mecanismos de refuerzos de la geomalla en el refuerzo: confinamiento lateral de las partículas, mejoramiento de la capacidad portante del terreno natural y el efecto membrana tensionada (ETL 1110-1-189).

B. Confinamiento Lateral: Este mecanismo se logra a través de la trabazón de las partículas granulares con el refuerzo. Las geomallas aumentan el módulo de la capa reforzada al confinar las partículas e impedir su movimiento natural ante la aplicación de las cargas vehiculares. La trabazón aumenta la rigidez de la base reduciendo las deformaciones verticales en la interfase y los ahuellamientos en la superficie de rodadura.

Imagen N° 25 Confinamiento Lateral e incremento del módulo.

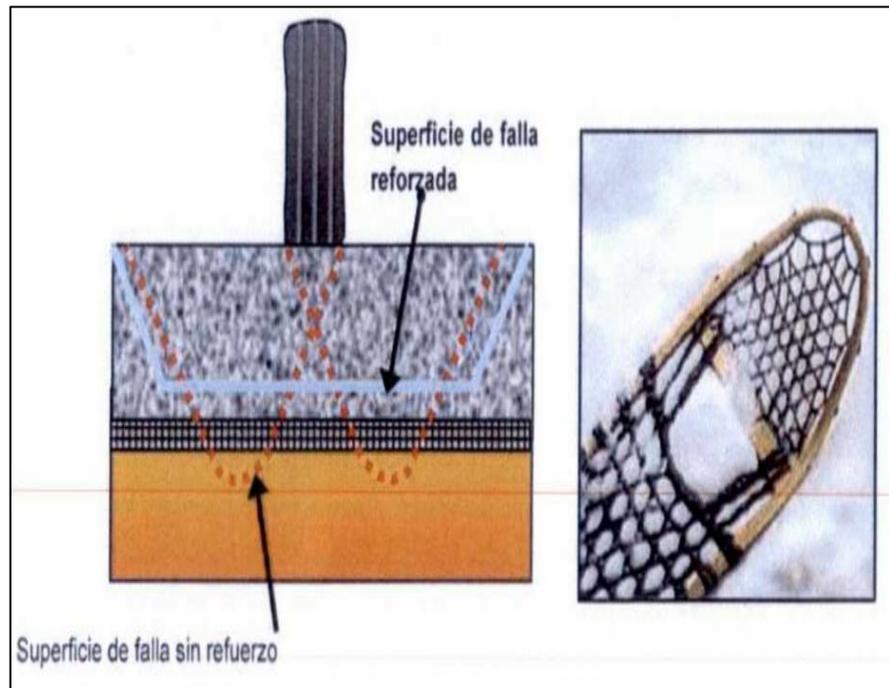


Fuente: USE of Geogrids in Pavement Construction, USACOE ETL

1110-1-189.

- C. Mejoramiento de la Capacidad Portante del Terreno Natural :**La rigidez de la geomalla permite distribuir las cargas aplicadas en una mayor área disminuyendo los esfuerzos cortantes y verticales en el terreno natural blando. Básicamente se traslada el plano de falla de la estructura del pavimento de un material no competente (blando) a materiales de mejor comportamiento estructural como la base/subbase. Este mecanismo de refuerzo se conoce como efecto del zapato de nieve.

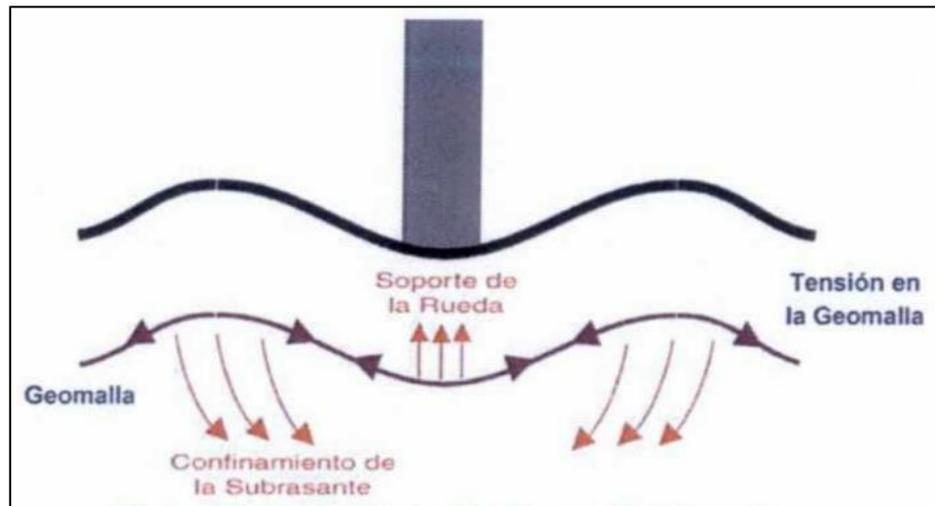
Imagen N° 26 Mejoramiento Capacidad Portante.



Fuente: USE of Geogrids in Pavement Construction.

- D. Efecto Membrana Tensionada:** Este mecanismo se presenta cuando ocurre un ahuellamiento o deformación considerable en el terreno natural debido a una carga vehicular, desarrollándose unos esfuerzos que son soportados por la resistencia a la tensión del refuerzo. Este efecto de membrana tensionada desarrolla en el refuerzo una resistencia vertical y un confinamiento hacia abajo, aumentando la resistencia al corte del terreno natural. Este mecanismo de refuerzo para desarrollarse necesita una deformación significativa de la superficie de la carretera, que no siempre es admisible en caminos pavimentados, y adicionalmente, el tráfico debe ser canalizado.

Imagen N° 27 Efecto de Membrana tensionada.



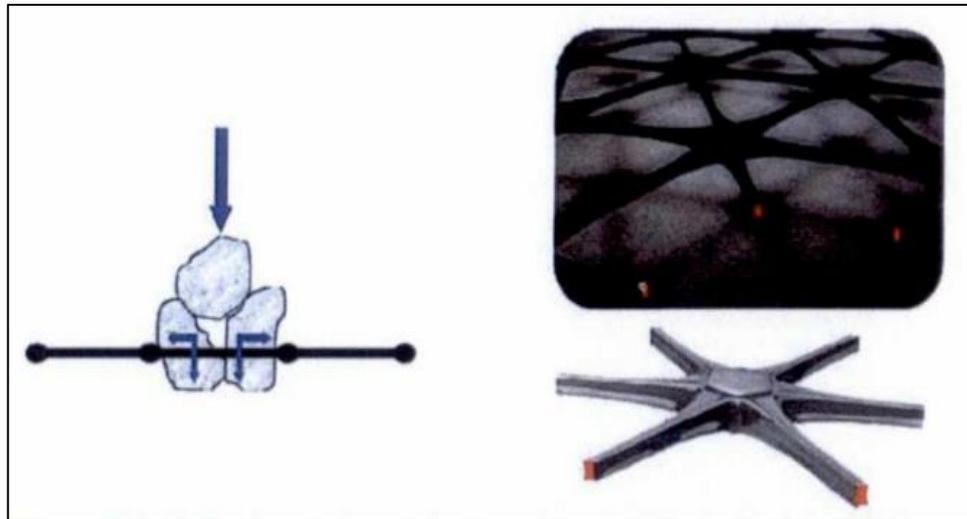
Fuente: USE of Geogrids in Pavement Construction, USACOE ETL

1110-1-189.

- E. Geotextil como Separador:** De acuerdo a lo indicado por el MTC, el geotextil es un material que se utiliza “con la finalidad de evitar posibles erosiones, cumplir funciones de drenaje y separar tierras de diferente granulometría estabilizando el terreno”. Para la aplicación que estamos desarrollando, el geotextil busca prevenir la mezcla entre materiales disímiles (en este caso, el material de la subrasante y el que se colocará como mejoramiento). Esto se puede apreciar estudiando la composición de ambos materiales, para el caso de la subrasante se tiene un alto contenido de finos mientras que el relleno de mejoramiento es predominante granular tal y como lo podemos ver en la siguiente tabla. También se debe considerar que al instalar una geomalla por debajo de una capa de material granular, las partículas del material penetran en las aberturas triangulares de la geomalla, reduciendo la oscilación y los movimientos laterales. Este entrelazado mecánico dispersa además fuerzas verticales sobre la geomalla permitiendo que se forme un arco bajo la carga aumentando de esta

forma su capacidad portante y se controlen los asentamientos diferenciales.

Imagen N° 28 Trabazón de las partículas en las aberturas de la geomalla.



*Fuente: USE of Geogrids in Pavement Construction, USACOE ETL
1110-1-189.*

En resumen, la geomalla trabaja como pieza estructural transmitiendo cargas a bajas deformaciones sobre un área mucho mayor e inhibiendo los movimientos laterales del agregado.

4.3.2.9. Estabilización por sustitución de los suelos

Este procedimiento de cálculo para determinar en sectores localizados, el espesor de material a reemplazar se aplicará solo en casos de subrasantes pobres, con suelos de plasticidad media, no expansivos y con valores soporte entre $CBR \geq 3\%$ y $CBR < 6\%$, calculándose según lo siguiente:

- a. Se calculará el número estructural SN del pavimento para 20 años, el material a emplear tendrá un $CBR \geq 10\%$ e IP menor a 10, o en todo caso será similar. Cuando en los sectores adyacentes al sector de sustitución de suelos presentan un $CBR > 10\%$, para el cálculo del SN

se utilizará el mayor valor de CBR de diseño, que representa el material de reemplazo, este número estructural SN calculado se denominará SN_m (mejorado), luego se calculará el SN del pavimento para el CBR del material de subrasante existente (menor a 6%), que se denominará SNe (existente).

- b. Se realizará la diferencia algebraica de números estructurales

$$\Delta SN = SN_e - SN_m$$

- c. Habiéndose escogido el material de reemplazo (CBR \geq 10%) a colocar (según SN_m calculado), se obtendrán los valores correspondientes de coeficiente estructural (a_i) y coeficiente de drenaje (m_i), luego de obtener dichos valores se procederá a obtener el espesor E, aplicando la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\Delta SN}{a_i \cdot m_i}$$

Donde:

E: Espesor de mejoramiento en cm.

a_i: Coeficiente estructural de material a colocar / cm.

m_i: Coeficiente de drenaje del material a colocar.

4.3.3. Propuestas para estabilización de subrasante

Teniendo en cuenta el registro de excavación de las exploraciones realizadas en la plataforma existente y la sectorización de la subrasante que se muestra en el ítem anterior, se ha evaluado los resultados de ensayos de laboratorio de mecánica de suelos y se ha elaborado la relación de sectores de mejoramiento clasificándolos como se muestran a continuación.

4.3.3.1. Estabilización por sustitución de los suelos

Se presenta a continuación el cuadro resumen de tramos que se consideró para la estabilización por sustitución de los suelos. Tomando en cuenta que el material de Préstamo que se consideró será lo que indica

en el Manual de Carreteras – Sección Suelos y Pavimentos, con un CBR mínimo de 10% al 95% de su MDS.

Tabla N° 32 Altura requerida según la Estabilización por Sustitución de zonas con bajos CBR.

TRAMO	KM DE INICIO	KM DE FIN	CBR SUB RASANTE	CBR MATERIAL DE PRÉSTAMO	ALTURA DE RELLENO
Tramo N°01	00+000	04+500	2.57%	10.0% mín.	75 cm
	04+500	06+000	2.57%	10.0% mín.	75 cm
Tramo N°03	08+000	10+000	2.57%	10.0% mín.	75 cm
Tramo N°07	14+000	16+500	2.34%	10.0% mín.	80 cm
Tramo N°10	19+000	20+400	2.54%	10.0% mín.	75 cm
Tramo N°12	21+600	23+500	2.34%	10.0% mín.	80 cm
Tramo N°14	24+500	25+500	4.44%	10.0% mín.	45 cm
Tramo N°17	40+000	45+307	2.00%	10.0% mín.	90 cm

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.2. Estabilización con cal

Se muestra los tramos a continuación los tramos a considerar para la estabilización de subrasante con Cal, además de considerar las progresivas de inicio y fin. Para la determinación de la altura de relleno, se tomó en consideración de 1) “Manual de Carreteras” Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos, como también se tomó en consideración el 2) Manual de Estabilización de Suelos con Cemento o Cal.

Considerando las recomendaciones:

- a) **Altura de Relleno: 15cm – “Manual de Carreteras” – Sección Suelos y Pavimentos:** Se determinó la altura en base a 9.3 Estabilización por Combinación de Suelos.
- b) **Altura de Relleno: 25cm (mínimo) – “Manual de Estabilización de Suelos con Cemento o Cal”:** La altura está determinada según las Especificaciones Art. 512 “Suelos Estabilizados in situ” del PG-3/04.

Tomando la altura de relleno más crítico, se optó por lo recomendado por el “Manual de Estabilización de Suelos con Cemento o Cal”, lo cual se recomendó aumentar el espesor por factores de riesgo y otras características en 5cm.

Tabla N° 33 Cuadro de tramos que requieren Estabilización con Cal.

TRAMO	KM DE INICIO	KM DE FIN	CBR SUB RASANTE	CBR MATERIAL DE PRÉSTAMO	ALTURA DE RELLENO
Tramo N°05	11+000	12+000	2.57%	10.0%	30 cm

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.3. Estabilización con geosintéticos en zona de bofedales y suelos blandos

El problema principal que presenta este Proyecto es que en varios sectores el trazo de la vía cruza zonas de bofedales caracterizados como suelos de baja capacidad portante y en algunos casos con presencia de material orgánico y filtraciones por lo que no constituyen un terreno estable para la estructura del pavimento a construirse.

La propuesta planteada para zonas en befedades es el uso de geosintéticos, entre ellos las geomallas, la colocación de una geomalla polimérica entre las capas estructurales de un camino, produce grandes beneficios ya que incrementa el módulo del material granular, mejora la capacidad portante y reduce las transmisiones a la subrasante.

Los cálculos para determinar el espesor del material de mejoramiento sobre la geomalla fueron realizados con la metodología del Dr. J.P. Giroud y el Dr. Jie Han, sobre suelos de baja capacidad de soporte CBR y saturados. La siguiente ecuación es utilizada para calcular el espesor mínimo de relleno requerido en el mejoramiento de la subrasante.

$$h = \frac{0.868 + (0.661 - 1.006j^2) \left(\frac{r}{h}\right)^{1.5} \log N}{(1 + 0.204(R_E - 1))} \left(\sqrt{\frac{\frac{P}{\pi r^2}}{\frac{s}{f_s} \left(1 - e^{-\left(\frac{r}{h}\right)^2}\right) N_c \cdot f_c \cdot CBR_{sg}} - 1} \right) r$$

Donde;

h: Espesor de capa base requerido (in o m)

J: Módulo de estabilidad de apertura en unidades métricas (N-m / grado)

P: Carga de la rueda (lbs o kN)

r: Radio de huella del neumático (pulg. o m)

N: Numero de pasadas por eje.

RE: Relación de módulo = Ebc/Esg = 3.28 CBRbc^{0.3} / CBRsg ≤ 5

Ebc: Módulo resiliente del curso base (psi o MPa)

Esg: Módulo resiliente del suelo de la subrasante (psi o MPa)

CBRbc: CBR del agregado de reemplazo

CBRsg: CBR subrasante

fs: Factor de profundidad de la rodera

s: Profundidad máxima de surco (pulg. o m)

Nc: Factor de capacidad de carga

3,14 para carreteras no reforzadas

5,14 para carreteras reforzadas con geotextil

5,71 para carreteras reforzadas con geomalla

fc: Factor que relaciona el CBR de la subrasante con la cohesión no drenada, cu = 4,3 psi (30 kPa)

Datos para el diseño:

Carga de la rueda (KN)	40
Presión de llanta (kPa)	550

J: Módulo de estabilidad de apertura en unidades métricas (N-m / grado) "(*) Geomalla biaxial extruida con módulo de estabilidad de apertura"	0.32
P: Carga de la rueda (lbs o kN)	80
N: Numero de pasadas por eje.	5000

Después de la identificación de las zonas de bofedales, se procedió a la obtención de la altura de mejoramiento de la subrasante, en la siguiente tabla se muestra el resumen de los resultados.

Tabla N° 34 Cuadro de tramos que requieren Estabilización Especial (Geosintéticos)

TRAMO	PROGRESIVAS DEL TRAMO		CBR DE S.R AL 100%	CBR DE S.R AL 95% DE MDS	CBR DE MATERIAL DE PRESTAMO AL 95% DE MDS	ALTURA DE MEJORA MIENTO
	KM DE INICIO	KM DE FIN				
T - 01	00+200	06+000	2.76%	2.57%	10.00% mín.	25 cm
T - 02	08+000	10+000	2.76%	2.57%	10.00% mín.	25 cm
T - 03	11+100	12+000	2.76%	2.57%	10.00% mín.	25 cm
T - 04	17+800	19+000	2.99%	2.54%	10.00% mín.	25 cm
T-04A	21+600	23+500	3.86%	2.34%	10.00% mín.	30 cm
T - 09	40+000	42+000	2.07%	2.00%	10.00% mín.	35 cm
T - 10	42+800	44+000	2.07%	2.00%	10.00% mín.	35 cm

Fuente: Elaboración propia.

4.4. Discusión de Resultados

En base a los cálculos efectuados, el diseño de la subrasante tiene las características siguientes:

- a. Para establecer el OVER, se debe utilizar material con granulometría de 2" a 4" con una compactación al 95%, de un espesor de 30 cm.
- b. La subrasante debe tener el espesor de 40 cm. Con un CBR de 10%, que se alcanza con una compactación al 95%.

4.4.1. Selección de altura de mejoramiento de la subrasante

De acuerdo a los cálculos realizados en el presente informe, las alturas de mejoramiento varían de acuerdo al método propuesto, sin

embargo, para obtener mejores resultados en el mejoramiento se eligió la altura más crítica en este caso la altura de relleno mayor, si bien es cierto con el uso de geosintéticos se reduce la altura de mejoramiento no se tiene alturas relevantes.

Tabla N° 35 Cuadro de tramos que requieren Estabilización.

TRAMO	PROGRESIVAS			PROFUNDIDAD DE MEJORAMIENTO (m)			PROFUNDIDAD DE MEJORAMIENTO CRÍTICA (m)
	INICIO (km)	FIN (km)	LONGITUD (Km)	POR SUSTITUCIÓN DE SUELOS	ESTABILIZACIÓN CON CAL	ESTABILIZACIÓN CON GEOSINTÉTICOS	
Tramo N°01	00+000	04+500	4.50	0.75	-	0.25	0.75
	04+500	06+000	1.50	0.75	-	0.25	0.75
Tramo N°03	08+000	10+000	2.00	0.75	-	0.25	0.75
Tramo N°05	11+000	12+000	1.00	0.80	0.30	0.25	0.80
Tramo N°07	14+000	16+500	2.50	0.75	-	-	0.75
Tramo N°10	19+000	20+400	1.40	0.80	-	-	0.80
Tramo N°12	21+600	23+500	1.90	0.45	-	0.30	0.45
Tramo N°14	24+500	25+500	1.00	0.90	-	-	0.90
Tramo N°17	40+000	45+307	5.31	0.75	-	0.35	0.75

Fuente: Elaboración propia.

De los sectores identificados como bofedales, la Especialidad de Hidráulica, Hidrología y drenaje, del MTC propone diversas estructuras como solución para estos sectores, entre ellas podemos mencionar; cunetas, zanjas de drenaje, sub drenes, alcantarillas, pedraplenes, entre otras. De acuerdo a las recomendaciones del MTC se sugiere que el material de drenaje granular OVER de 2" a 4" tenga una altura mínima de 30cm, compactada al 95%.

Finalmente cabe indicar que los espesores seleccionados se refieren a la altura mínima de mejoramiento, este espesor podrá variar en función de las secciones transversales de los sectores analizados y según las secciones de relleno en el diseño geométrico. El espesor de 30cm como mínimo del material granular tipo OVER se mantendrá para todos los casos.

4.4.2. Evaluación del nivel freático

En la evaluación se verifico con el perfil longitudinal de la subrasante proyectada de la carretera en estudio, que la altura desde el nivel freático hasta

la subrasante proyectada sea mayor a lo estipulado en el Manual de Suelos Geología y Geotecnia del MTC, donde indica que la altura debe ser mayor a 1.20m.

Tabla N° 36 Resumen de la evaluación del nivel freático.

N°	CALICATA	ESTE	NORTE	COTA m.s.n.m.	PROF. (m)	N.F. (m)	PROG km	RELLENO MAYOR A 1.20m
1	C-01	390586	8765911	4109	2.00	1.80	00+020	No afecta a la sub rasante
2	C-03	389772	8765786	4100	2.60	2.20	00+850	No afecta a la sub rasante
3	C-09	387891	8765204	4098	2.40	2.30	02+925	No afecta a la sub rasante
4	C-21	383199	8767561	4099	2.40	2.20	08+610	No afecta a la sub rasante
5	C-24	382597	8767784	4092	1.90	1.50	09+290	No afecta a la sub rasante
6	C-26	382003	8768143	4093	2.00	1.30	09+910	No afecta a la sub rasante
7	C-27	381995	8768156	4093	2.30	2.00	09+930	No afecta a la sub rasante
8	C-31	380532	8769119	4089	3.00	2.80	11+690	No afecta a la sub rasante
9	C-49	375490	8773645	4098	2.00	1.90	18+890	No afecta a la sub rasante
10	C-50	375019	8773860	4102	1.90	0.90	19+420	No afecta a la sub rasante
11	C-51	374988	8773901	4102	3.00	2.90	19+460	No afecta a la sub rasante
12	C-52	374980	8773911	4102	2.80	2.70	19+480	No afecta a la sub rasante
13	C-72	370256	8778808	4113	3.00	2.90	28+0.50	No afecta a la sub rasante
14	C-91	366217	8784372	4093	3.40	3.20	35+650	No afecta a la sub rasante

Fuente: Elaboración propia.

4.4.3. Selección de altura de mejoramiento de la subrasante

A continuación, se presenta el tabla N°22, donde se muestra el número total de CBR's que se considerarán para el diseño de la estructura del pavimento flexible (base granular, sub base granular y carpeta asfáltica) (**ver plano N°4 “Plano de sección de mejoramiento”**).

Tabla N° 37 Resumen de la selección de la altura de mejoramiento de la subrasante en suelos de baja capacidad de soporte.

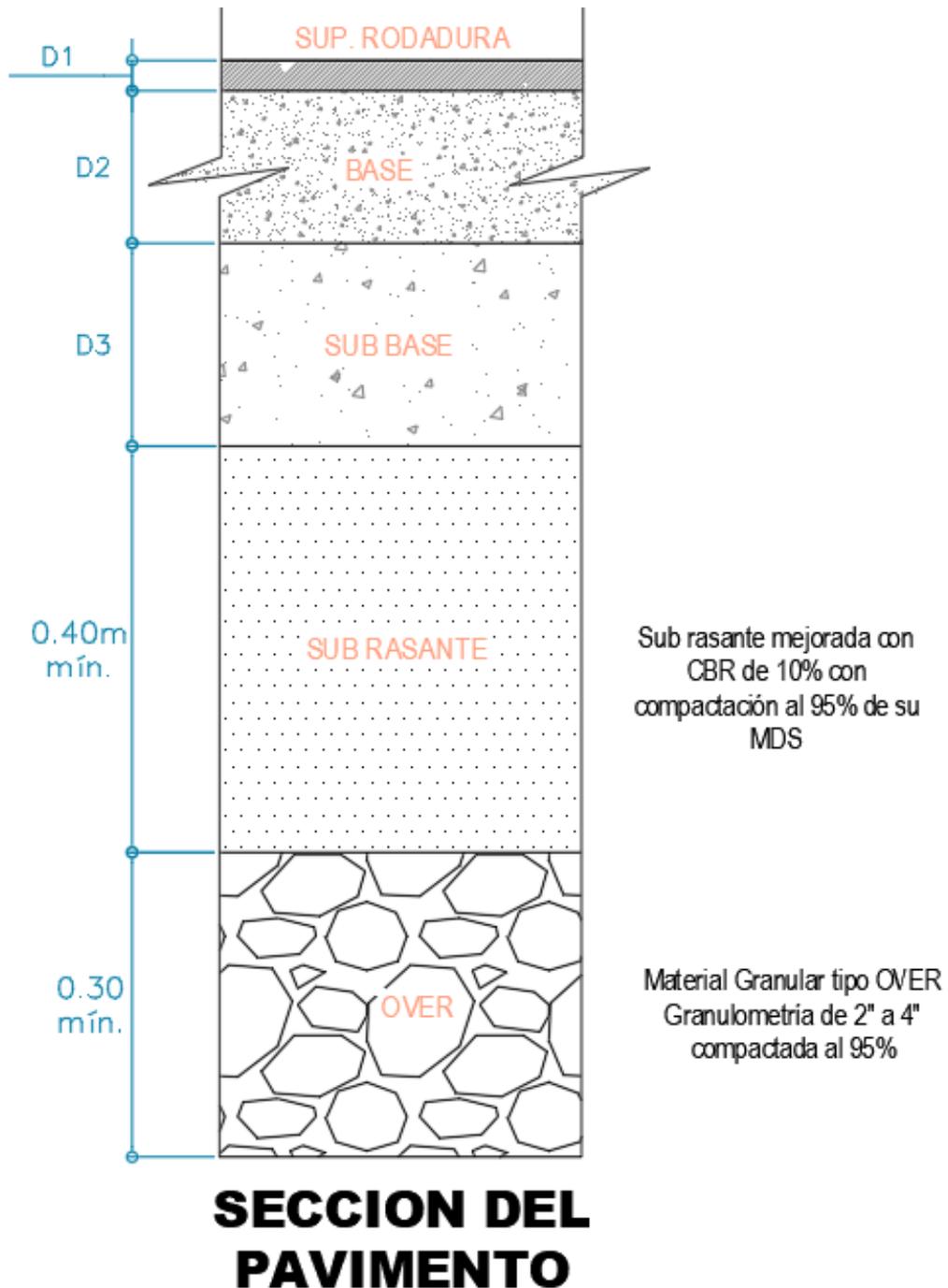
TIPO	TRAMO	PROGRESIVAS		LONGITUD (Km)	ALTURA DE MEJORAMIENTO	CBR DE DISEÑO	
		INICIO (km)	FIN (km)			CBR (95%)	CBR (100%)
T°01	TRAMO N°01	00+000	04+500	4.50	75 cm	10.00	10.00
		04+500	06+000	1.50	75 cm		
	TRAMO N°03	08+000	10+000	2.00	75 cm		
	TRAMO N°07	14+000	16+500	2.50	80 cm		
	TRAMO N°10	19+000	20+400	1.40	75 cm		
	TRAMO N°12	21+600	23+500	1.90	80 cm		
	TRAMO N°17	40+000	45+307	5.31	45 cm		
T°02	TRAMO N°02	06+000	08+000	2.00	--	18.83	18.97
	TRAMO N°06	12+000	14+000	2.00	--		
	TRAMO N°13	23+500	24+500	1.00	--		
T°03	TRAMO N°04	10+000	11+000	1.00	--	49.84	56.96
T°04	TRAMO N°08	16+500	17+800	1.30	--	45.86	49.87
	TRAMO N°13	23+500	24+500	1.00	--		
T°05	TRAMO N°09	17+800	19+000	1.20	--	15.59	15.69
T°06	TRAMO N°16	37+000	40+000	3.00	--	33.73	38.16
T-07	TRAMO N°15	25+500	37+000	11.5	--	8.19	---

Fuente: Elaboración propia.

Sección planteada de mejoramiento

La sección propuesta contempla la mejora del suelo de fundación de la carpeta de rodadura, a continuación, se muestra la sección que deberá tener la carretera en los sectores de mejoramiento.

Imagen N° 29 Sección típica del mejoramiento de la subrasante (cabe señalar que las alturas varían de acuerdo a su diseño de mejoramiento por sectores y al diseño geométrico de acuerdo al corte y relleno).



Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos y del proceso emprendido, se tienen las siguientes conclusiones:

1. Se identificaron 17 tramos con características similares en el tipo de material según la exploración realizada en la subrasante existente, **Ver Tabla N°21: Sectorización de CBR en la subrasante existente**, de los cuales 7 tramos (Tramos N°01, 03, 07, 10, 12, 14 y 17) no requieren ningún mejoramiento de suelos, ya que cuentan con $CBR < 6\%$, **Ver Tabla N° 22 Zonas de bajo CBR en la subrasante existente**.
2. Se identificaron 10 tramos de zonas de inundaciones y bofedales con suelos saturados **Ver Tabla N° 23 Resumen de zonas de inundación y bofedales**.
3. También se identificaron 17 tramos con nivel freático en la exploración de la subrasante, **Ver Tabla N° 28 Resumen de Zonas con filtración de agua**, sin embargo, no afecta a la estructura proyectada en la carretera de estudio, debido a que, la altura del material desde el nivel freático hasta la subrasante pasan los 120cm mínimos que recomienda el Manual de Geología y Geotecnia.
4. La estabilización de la subrasante se realizará con material OVER de 30cm como mínimo y 40 cm de material de préstamos con un CBR de 10% a un 95% de su máxima densidad seca, cabe señalar que las alturas varían de acuerdo a su diseño de mejoramiento por sectores y al diseño geométrico de acuerdo al corte y relleno.
5. Se ha sectorizado 07 tramos en la subrasante de acuerdo a las características físicas y mecánicas del material existente en la subrasante, es por ello que se tendrá 06 tipos de diseño de capas para la estructura del pavimento flexible.

RECOMENDACIONES

El análisis de la información generada permite establecer las siguientes recomendaciones:

1. Se recomienda el control estricto en el mejoramiento de la subrasante, en cuanto a alturas mínimas de mejoramiento, grado de compactación, gradación del material de OVER, y otros parámetros estipulados en el Manual de Suelos, Geología y Geotecnia así mismo del Manual de Hidráulica, Hidrología y Drenaje.
2. En cuanto al nivel freático de las zonas encontradas en la subrasante, se recomienda que la altura desde el nivel freático hasta la subrasante sea como mínimo 150cm debido a que la carretera en estudio se encuentra a más de 4000msnm y las temperaturas disminuyen hasta -10°C a -15°C .
3. Se recomienda que el material de préstamo tenga un CBR mínimo de 10% compactado al 95% de su máxima densidad seca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Amaya, C. A. (2013). *Caracterización de materiales de las Canteras California, David Carvajal del Municipio de Girardot y material aluvial del río Coello de este mismo municipio para producción de subbase y base granular*. Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia. <http://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/465>
2. Cobbing, J, Quispesivan A L. y Paz M. (1996) - *Geología de los cuadrángulos de Ambo, Cerro de Pasco y Óndores*. INGEMMET, Boletín N°77, Serie A: Carta Geología Nacional.
3. De Matteis Álvaro F. *Estabilidad de taludes (2003)*, Facultad de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario.
4. Diaz Ch. G.M (2018) *Mejoramiento del CBR de un suelo arcilloso con cloruro de sodio*.
5. García C. X.A. (2015). *Comparación de los efectos de diferentes métodos de estabilización de subrasantes en arcillas bogotanas*. (<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/17766/u714258.pdf?sequence=1>)
6. Geomec. (2014). *Ensayo de CBR de la subrasante y su correlación con el DPC, de una calicata ubicada en la Universidad Nacional de Huancavelica*. Obtenido de Geomec Ingenieros Consultores y Ejecutores: <https://www.facebook.com/GEOMECCONSTRUCTORES/photos/pb.6082587991887>
7. Instituto Nacional de Vías. (2007). *Relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio)*. Obtenido de ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV07/Normas/Norma%20INV%20E-148-07.pdf
8. Jiménez Salas, José Antonio (2018) – *Geotecnia y Cimientos II*.

9. Jiménez S, De Justo A. ,y Serrano G, (1981) *Geotecnia y Cimientos. Tomo II. Mecánica del suelo y de las rocas. Editorial Rueda.*
10. Lambe, T. W. y Withman, R. V. (1972), *Mecánica de Suelos. Editorial Limusa – Wiley S.A.*
11. LLanos S. A. y Reyes P. S. (2017), *Estudio comparativo de los ensayos California Bearing Ratio (CBR) de laboratorio y penetración dinámica de cono (PDC) en la localidad de Picsi.*
12. *Ministerio de transportes y comunicaciones (2013) – Manual de Carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos.*
13. *Ministerio de transportes y comunicaciones (2015) – Diseño de pavimentos.*
http://gis.proviasnac.gob.pe/expedientes/2015/CP_34/Perfil%20Aprobado/6.%20DISE%C3%91O%20DE%20PAVIMENTOS%20PDF/DISE%C3%91O%20DE%20PAVIMENTOSh.pdf
14. Núñez, J. (2014). *Fallas presentadas en la construcción de carreteras asfaltadas. Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Lima, Perú: Universidad de Piura. Obtenido de https://pirhua.udel.edu.pe/bitstream/handle/11042/2143/MAS_ICIVL_028.pdf%3bsequence=1*
15. Osorio, J. F., & Casas, A. N. (2011). *Correlación P.D.C. con C.B.R. para suelos en la localidad de Suba. Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia: Universidad Militar Nueva Granada. Obtenido de Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID): <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/3653/2/OsorioMartinezJoseFernando2011.pdf>*
16. Paucar, L. E. (2012). *Determinación de la ecuación de correlación entre los ensayos CBR de laboratorio y PDC in situ para los tipos de suelos de la*

subrasante de la via Riobamba – Alaus. Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería. Riobamba, Ecuador: Universidad Nacional de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/495/1/UNACH-EC-IC-2011-0006.pdf>

17. *Quispe Ch. W.J(2020), Estabilización de subrasante de vías en suelos expansivos con cloruro de sodio - Avenida Jacinto Ibarra, distrito de Chilca - Huancayo 2020*
18. *Rodriguez R., Cueva E. y Carlotto V. (2011) - Geología del cuadrángulo de Cerro de Pasco. INGEMMET, Boletín N°144, Serie A: Carta Geología Nacional.*
19. *Ruiz V., Gonzáles H (2002) – Geología aplicada a la Ingeniería Civil.*
20. *Sánchez, F. J. (2012). Blog de conceptos y aplicaciones de la tecnología Ramcodes en suelos y mezclas asfálticas. Obtenido de Ramcodes: <http://blogramcodes.blogspot.pe/2012/08/que-es-elcbr.html>*

ANEXO

Instrumentos de recolección de datos

Técnicas	Instrumentos
Se realizarán la toma de datos realizando calicatas, los datos se tomarán insitu, posteriormente se realizará cálculos matemáticos	<ul style="list-style-type: none"> •Bolsa de muestreo •GPS. •Planos geomorfológicos •Spray •Pico, •pala. •Picota, etc.
Recoleccion de datos	Hoja de caracterizacion geologica y geotecnica, Hoja para descripción de formación/deposito, Planos Geomorfológico y Geologico del INGEMMET a escala 1/50000, Estratigrafia Local, fotos satelitales de GOOGLE EARTH, apuntes de estudio teorico de los conceptos geotecnicos a utlizar en la investigacion, autores que hablan sobre el tema de investigacion, internet, etc.
Trabajo de campo	<ul style="list-style-type: none"> •Ejecucion de calicatas •Muestreo de calicatas •Mapeo geotécnico •Hoja de registro
Trabajo de gabinete	<ul style="list-style-type: none"> •Elaboracion e interpretacion de los planos geotecnicos. •Análisis geotecnico del area de estudio •Elaboracion de planos. •Discusión e interpretacion •Formulas y operación de datos

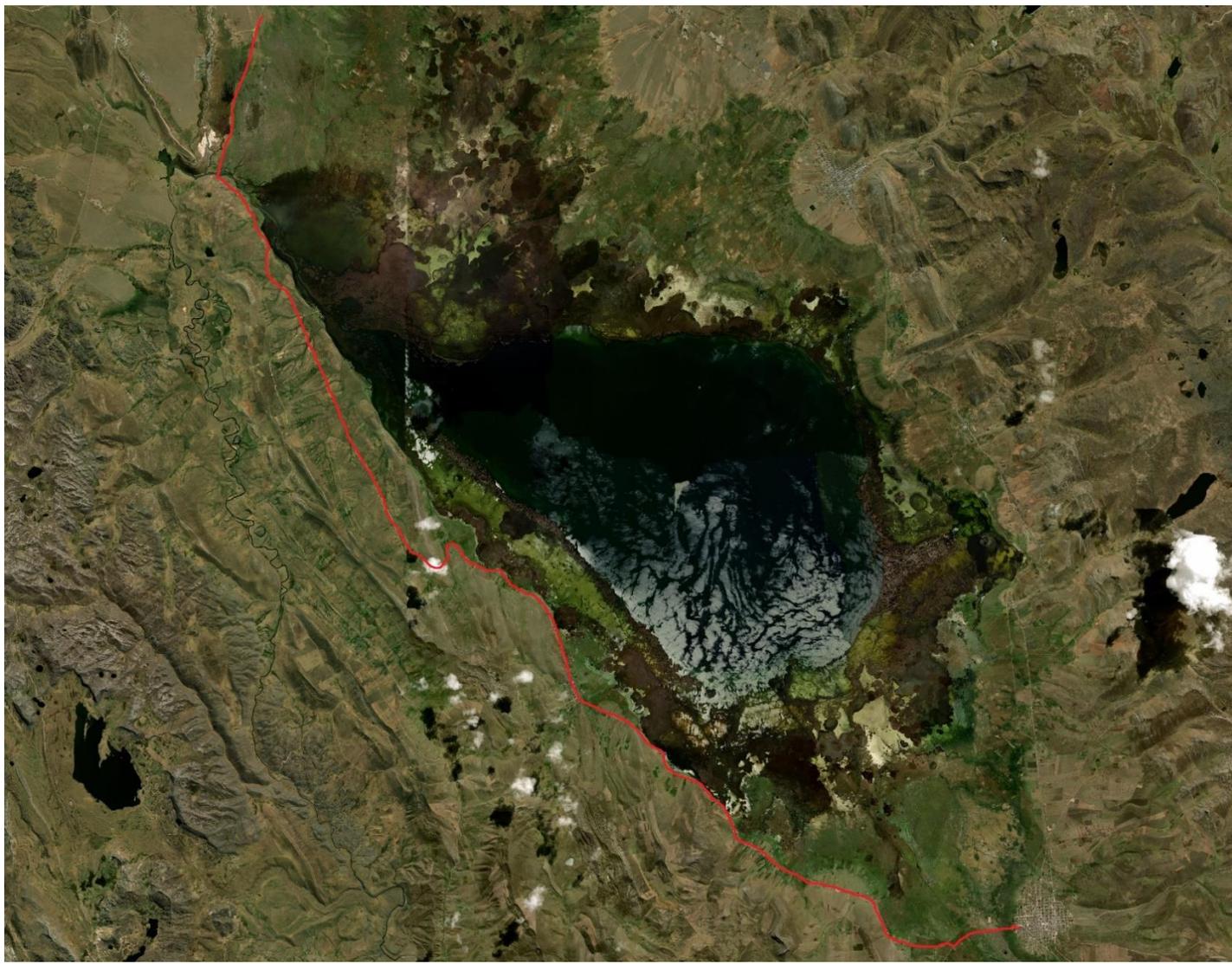
INTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS

(Estratigrafía Local)

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES	SIMBOLOGIA	descripcion litologica		
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENA	Deposito aluvial		Qh-al	clastos subredondeados de diferente composicion y matriz areno-limosa	
			Deposito biogenico		Q-bi	Depósitos de limos y arcillas saturadas en agua cubierta por pastos altoandinos.	
			Deposito glacial		Q-gl	Acumulaciones de gravas y bloques subangulosos a angulosos no consolidados en	
	PALEOCENA	PALEOCENA	Deposito fluviglacial		Q-gfl	Depósitos constituidos por facies terrigenas pobremente clasificadas arrastradas por el	
			Grupo huayabamba		NP-huay	Conglomera con clastos de caliza del pucaa, intercalado con arenisca de color rojo	
			Formacion Casapalca		KsP-c	consiste en areniscas rojas friables, suaves, margas, lodolitas y conglomerados que tienen	
MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR	Formacion Chonta		Ki-ch	rocas carbonatadas intercaladas con areniscas, arcillitas y localmente niveles de limolitas	
			Formacion Chulec		Ki-chu	está compuesta por calizas, margas y areniscas calcáreas que fueron depositadas	
		INFERIOR	Grupo goyllarisquizga		Ki-g	consiste principalmente de estratos comunes de areniscas blancas y macizas en capas de 1 a	
			Formacion Chonta		Ki-ch	rocas carbonatadas intercaladas con areniscas, arcillitas y localmente niveles de limolitas	
	JURASICO	INFERIOR	Grupo pucara	F.condorsinga		Ji-c	Compuestas por calizas fosilíferas con algunas dolomias, además de intercalaciones con
				F. armachay		Ji-a	Calizas mudstone con estratificación definida, lutitas beige en estartos pequeños, grano
TRIASICO	SUPERIOR	F. chambara		Ts-ch	conformado por mudstones gris oscuros, de grano fino, en estratos delgados (10 a 30 cm)		
PALEOZOICO	PERMICO	SUPERIOR	Grupo mitu		PET-m	fósiles marinos y las facies descritas son de areniscas, lutitas y calizas marinas	
	CARBONIFERO	SUPERIOR	Grupo ambo		Cm-a	constituido de areniscas cuarzosas micáceas con lutitas pizarrosa	
		MEDIO	Grupo tarma		Cp-t	limolitas, areniscas con lutitas y limoarcillitas	

INTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS

(fotografia satelital de GOOGLE EARTH)

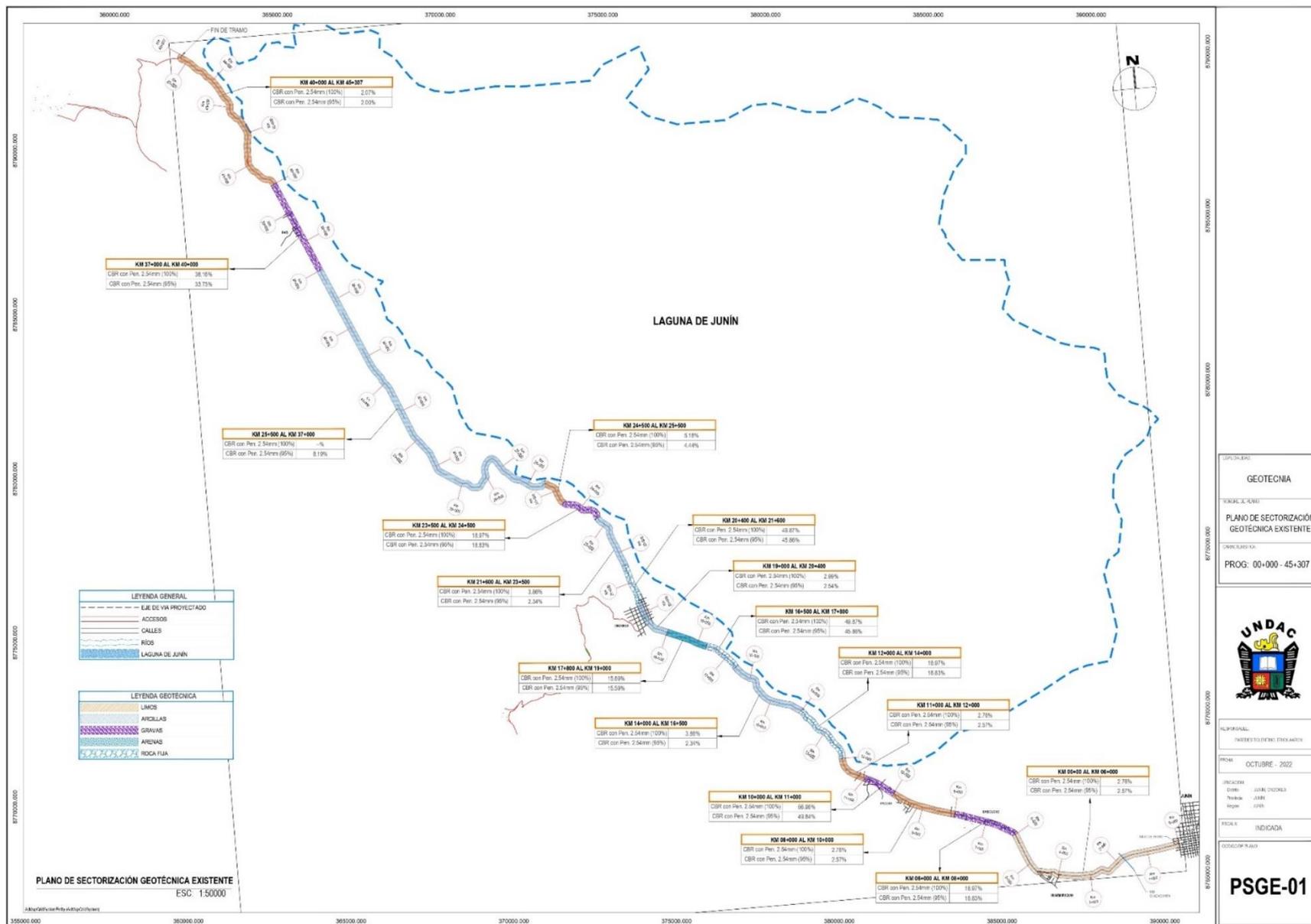


MATRIZ DE CONSISTENCIA

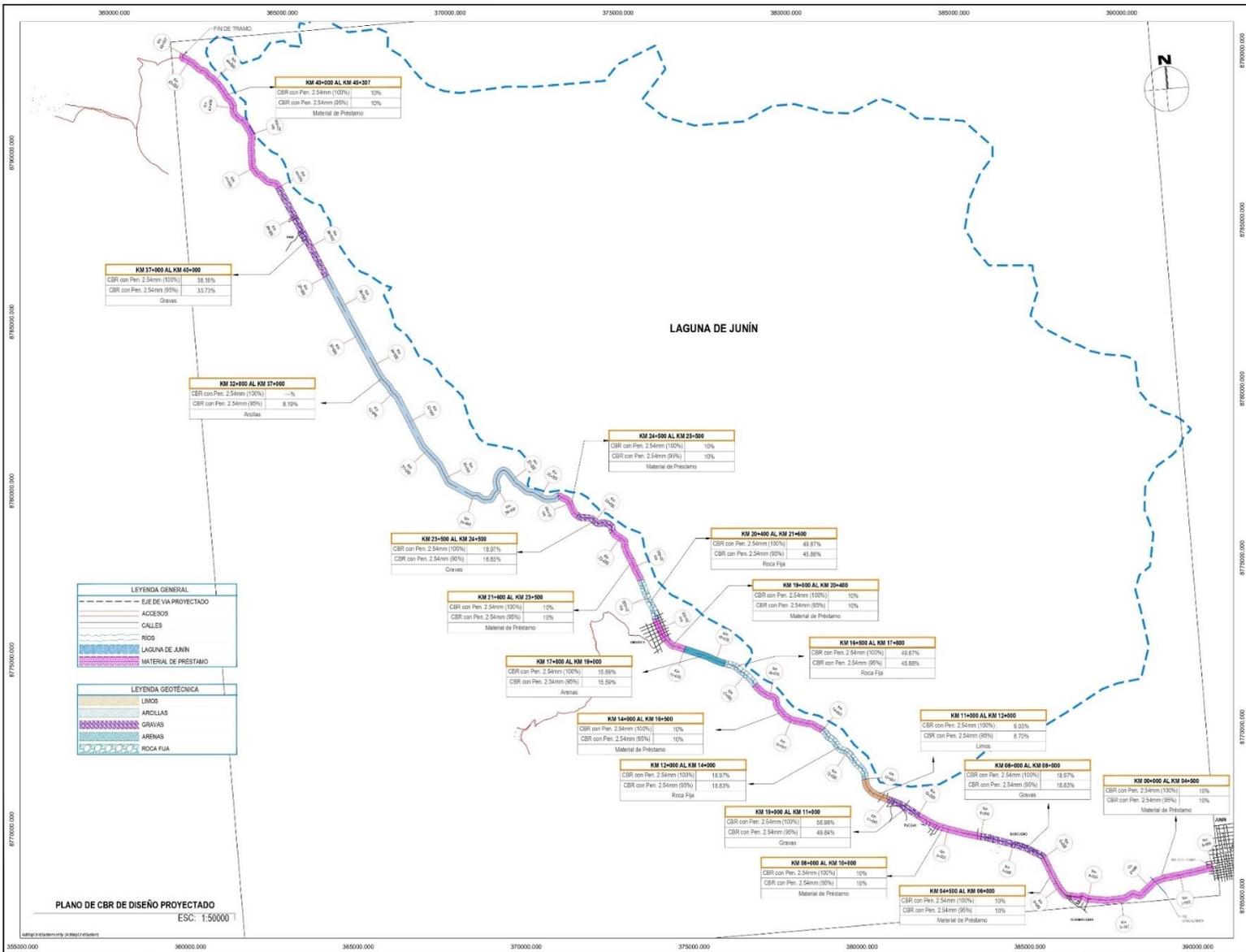
“Estabilización de suelos en el diseño de subrasante de la carretera Junín–San Pedro De Pará – Puente Upamayo”

PROBLEMA GENERAL Y ESPECIFICOS	OBJETIVO GENERAL Y ESPECIFICOS	HIPOTESIS GENERAL Y ESPECIFICOS	VARIABLES	METODOLOGIA	TECNICA E INSTRUMENTACION
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	INDEPENDIENTE	TIPO DE INVESTIGACION	TECNICAS
¿El análisis de estabilización de los suelos influye en el diseño de la sub-rasante de la carretera Junín-San Pedro de Pará – Puente de Upamayo?	Analizar la estabilización de los suelos en el diseño de la sub-rasante de la Carretera Junín – Puente de Upamayo.	El análisis de la estabilización de los suelos si influye en el diseño de la sub-rasante de la carretera Junín- Puente de Upamayo.	<p>"Estabilización de los suelos"</p> <p>CONCEPTO: Procesos mecánicos o químicos que generan la estabilidad del suelo.</p> <p>INDICADOR:Tipos de suelos -% de aditivos químicos</p>	El trabajo de investigación tiene las características de tipo descriptivo y aplicativo.	Se realizarán la toma de datos realizando calicatas, los datos se tomarán insitu, posteriormente se realizará cálculos matemáticos
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICO	DEPENDIENTE	DISEÑO DE INVESTIGACION	INSTRUMENTOS
<p>1. ¿Las características geológicas de los suelos influyen en el diseño de la sub-rasante de la carretera?</p> <p>2. ¿Las características geotécnicas de los suelos influyen en el diseño de la sub-rasante de la carretera?</p>	<p>1.Describir las características geológicas de los suelos de la zona en estudio.</p> <p>2Analizar las características geotécnicas de la zona en la determinación de la estabilización de la sub-rasante de la carretera</p>	<p>1. Las características geológicas de los suelos si influyen en el diseño de la sub-rasante de la carretera.</p> <p>2. Las características geotécnicas de los suelos si influyen en el diseño de la sub-rasante de la carretera.</p>	<p>"Diseño de la sub-rasante de la carretera"</p> <p>CONCEPTO: Cálculo del espeso de la sub-rasante</p> <p>INDICADOR: Número de CBR.</p>	El diseño del trabajo de investigación, consiste primero en determinar las características de los suelos, luego se determina el CBR de los mismos, para luego diseñar la sub-rasante. como una sola variable, donde se ejerce un grado de control mínimo, permitiéndonos dar el primer paso para solucionar el problema de estabilidad de los suelos. Por lo tanto, es una investigación de diseño pre-experimental.	<ul style="list-style-type: none"> •Muestreo de calicatas •Eormulas y operación de datos •Mapeo geotécnico. •Bolsa de muestreo •GPS •Picota, etc.

PLANO N°1 "Plano de sectorización geotécnica existente" (ítem 4.2.2. Pág.68)



PLANO N°2 “Plano de CBR de diseño proyectado” (ítem 4.2.2.3. Pag.73)



ORGANISMO: GEOTECNIA

MEMORIA DE DISEÑO: PLANO DE CBR DE DISEÑO PROYECTADO

IDENTIFICACION: PROG: 00-000 - 45-307

RESPONSABLE: FRANCISCO HERRERA SANCHEZ

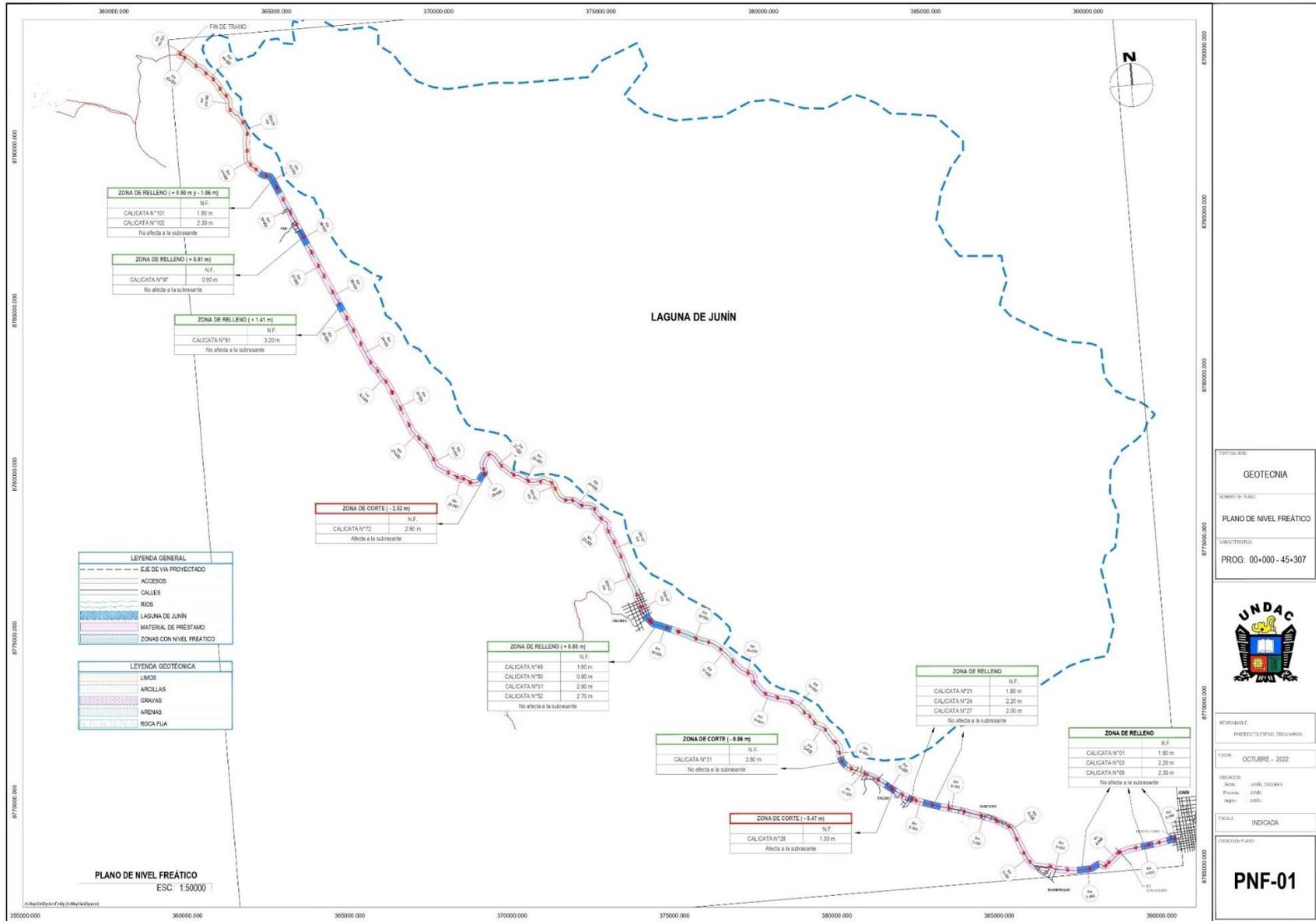
FECHA: OCTUBRE - 2022

UBICACION: DISEÑO: JAVIER CADOPRES
PROYECTO: JUNIN
REGION: JUNIN

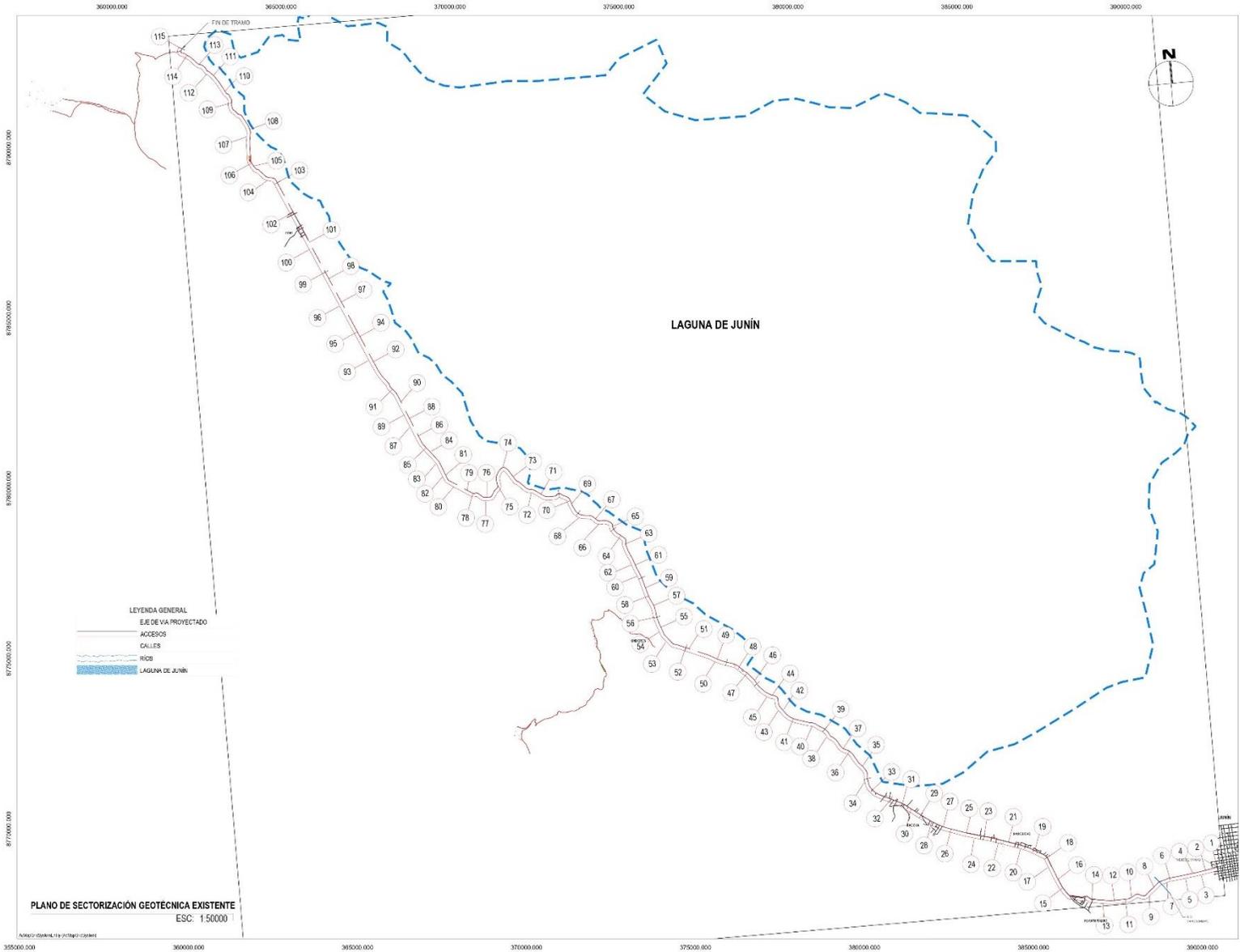
ESCALA: INDICADA

TITULO DEL PLANO: PDP-01

PLANO N°3 “Plano de nivel freático” (ítem 4.2.2.8 Pag.78)



PLANO N°4 “Plano de ubicación de calicatas” (ítem 4.2.1. Pag.59)



ESPECIALIDAD	GEOTECNIA
NOMBRE DE PLANO:	PLANO UBICACION DE CALICATAS
CARACTERISTICA:	PROG: 00-000 - 45-307



RESPONSABLE:	PAREDES TOLENTINO, ERICK AARON
--------------	-----------------------------------

FECHA:	OCTUBRE - 2022
--------	----------------

UBICACION:	JUNIN ONDORES PROVINCIA JUNIN DEPARTAMENTO JUNIN
------------	--

ESCALA:	INDICADA
---------	----------

CODIGO DE PLANO:	PCAL-01
------------------	----------------

