



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y  
METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO DE FUNDACION  
DE LA CARRETERA CAPILLAPAMPA - PATAMBUCO - DEL  
CORREDOR VIAL EN LA REGIÓN DE PUNO**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**JOEL MAMANI GARCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**


**PUNO – PERÚ**

**2024**



**Joel Mamani Garcia**

## **EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO DE FUNDACION DE LA CARRETERA CAPILLAPAMPA - PATAMBUCO - DEL CORRE**

 Universidad Nacional del Altiplano

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::8254:410483740

Fecha de entrega

29 nov 2024, 10:34 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

29 nov 2024, 10:52 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

TESIS\_JOEL\_MAMANI\_GARCIA\_FINAL.pdf

Tamaño de archivo

51.9 MB

264 Páginas

56,171 Palabras

251,174 Caracteres





## 10% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

### Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

### Fuentes principales

- 9% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 4% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alerta de integridad para revisión

- Caracteres reemplazados**  
113 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de un alfabeto

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para detectar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si encontramos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Samuel Machacca Hanco  
INGENIERO GEOLOGO  
CIP. N° 50063





## DEDICATORIA

*Dedicado a mi madre y a mi padre por su ayuda incondicional, a lo largo de mi carrera profesional, y me han inculcado sus valores. Es decir: sinceridad, consideración y unidad. Me moldean en la persona que soy, también a cada, uno de mis hermanos.*

***Joel Mamani Garcia***



## AGRADECIMIENTOS

Quiero comenzar dando gracias a Dios por el regalo de cada día.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, por permitirme avanzar en mi formación profesional, seguir esta maravillosa carrera.

A la empresa, donde desempeñé mis funciones profesionales y por las capacitaciones, también quiero expresar mi agradecimiento por permitirme acceder a información para la investigación y por acercarme a excelentes profesionales y amigos que me ayudaron en el camino para convertirme en geólogo.

Dr, mi asesor. Ernesto Samuel Machacca Hanco por sus valiosos consejos y ayuda para completar este trabajo.

A mis amigos, quienes me inspiraron para realizar la investigación.

Por su apoyo moral y consejos, agradezco a cada miembro de mi familia.

*Joel Mamani Garcia*



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>16</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>18</b>
<b>1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>19</b>
1.2.1 Problema general.....	19
1.2.2 Problemas Específicos. ....	19
<b>1.3 HIPÓTESIS .....</b>	<b>20</b>
1.3.1 Hipótesis General .....	20
1.3.2 Hipótesis específicas .....	20
<b>1.4 OBJETIVOS.....</b>	<b>20</b>
1.4.1 Objetivo General .....	20
1.4.2 Objetivos específicos .....	20
<b>1.5 JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>21</b>

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA



<b>2.1</b>	<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2</b>	<b>BASES TEÓRICAS .....</b>	<b>27</b>
2.2.1	Carretera .....	27
2.2.2	Terreno de fundación .....	28
2.2.3	Características geotécnicas del suelo .....	29
2.2.4	Propiedades físicas del suelo .....	30
2.2.5	Ensayos de laboratorio .....	30
2.2.6	Clasificación de suelos. ....	35
2.2.7	Propiedades mecánicas del suelo .....	37
2.2.8	Compactación de suelos. ....	38
2.2.9	Capacidad de soporte CBR .....	39
2.2.10	Sub base Granular .....	39
2.2.11	Material para la subbase .....	40
<b>2.3</b>	<b>DISEÑO DE UN PAVIMENTO. ....</b>	<b>41</b>
2.3.1	Estudio de canteras .....	41
<b>2.4</b>	<b>CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS MATERIALES .....</b>	<b>43</b>
<b>2.5</b>	<b>MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>43</b>
2.5.1	Cantera. ....	43
2.5.2	Características geotécnicas del suelo. ....	43
2.5.3	Carretera. ....	44
2.5.4	Combinación de agregados. ....	44
2.5.5	El pavimento flexible .....	44
2.5.6	Geotecnia.....	44
2.5.7	Mejoramiento: .....	44
2.5.8	Mecánica de suelos: .....	45



2.5.9	Pavimento.....	45
2.5.10	Sub base .....	45

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>46</b>
3.1.1	Tipo de investigación .....	46
3.1.2	Diseño de investigación .....	46
<b>3.2</b>	<b>ETAPA Y REVISIÓN, RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>46</b>
<b>3.3</b>	<b>POBLACIÓN Y MUESTRA.....</b>	<b>47</b>
3.3.1	Población.....	47
3.3.2	Muestra.....	47
<b>3.4</b>	<b>OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....</b>	<b>47</b>
3.4.1	Variable independiente.....	47
3.4.2	Variable dependiente.....	47
<b>3.5</b>	<b>TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATO.....</b>	<b>47</b>
3.5.1	Etapa de campo .....	47
3.5.2	Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos.....	50
3.5.3	Estudio de canteras.....	52
3.5.4	Trabajos de gabinete .....	53
3.5.5	Descripción final .....	53
<b>3.6</b>	<b>MATERIALES Y EQUIPOS.....</b>	<b>53</b>

### CAPÍTULO IV

#### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

<b>4.1</b>	<b>UBICACION .....</b>	<b>56</b>
<b>4.2</b>	<b>ACCESIBILIDAD .....</b>	<b>56</b>





<b>4.3</b>	<b>CLIMA Y VEGETACION.....</b>	<b>57</b>
<b>4.4</b>	<b>GEOMORFOLOGÍA .....</b>	<b>57</b>
4.4.1	Relieve Montañoso.....	58
4.4.2	Valles y Quebradas .....	58
4.4.3	Glaciares y Lagunas .....	58
4.4.4	Suelos y Erosión.....	58
4.4.5	Riesgos Naturales .....	59
<b>4.5</b>	<b>GEOLOGIA LOCAL .....</b>	<b>59</b>
4.5.1	Grupo San Jose.....	59
4.5.2	Formación Sandia.....	60
4.5.3	Formación Ananea (Sd-a) .....	61
4.5.4	Depósitos Aluviales .....	61
4.5.5	Depósitos Coluviales.....	61
<b>4.6</b>	<b>RIESGO POTENCIAL DE SUELOS EXPANSIVOS .....</b>	<b>62</b>
<b>4.7</b>	<b>RIESGO DE PROCESOS DE LICUEFACCIÓN .....</b>	<b>62</b>

## **CAPÍTULO V**

### **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

<b>5.1</b>	<b>PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS MATERIALES DEL TERRENO DE FUNDACIÓN .....</b>	<b>64</b>
5.1.1	Conformación de suelos por tramos.....	64
5.1.2	Clasificación de suelos .....	73
5.1.3	Perfil estratigráfico del area de estudio .....	76
5.1.4	Caracterización de suelos .....	95
5.1.5	Evaluación Según su Ensayos de soporte .....	95
<b>5.2</b>	<b>PROPIEDADES FÍSICAS MECÁNICA DE LAS CANTERAS .....</b>	<b>100</b>



5.2.1	Características físicas mecánica de las canteras.....	101
5.2.2	Evaluación de las canteras para el diseño para sub base.....	102
<b>5.3</b>	<b>DISCUSIONES.....</b>	<b>104</b>
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>107</b>
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>108</b>
<b>VIII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>113</b>

**Área:**

**Tema:**

**Fecha de sustentación:**



## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1</b> Estructura típica del pavimento flexible.....	28
<b>Figura 2</b> Especificaciones de construcción y dimensiones del aparato de límite líquido .....	32
<b>Figura 3</b> Herramientas ranuradores.....	32
<b>Figura 4</b> Curva de compactación .....	38
<b>Figura 5</b> Curva de CBR.....	39
<b>Figura 6</b> Excavación de calicatas .....	49
<b>Figura 7</b> Vista de corte de la calicata .....	49
<b>Figura 8</b> Toma de muestras en la cantera.....	50
<b>Figura 9</b> Ensayo de laboratorio de suelos y de cantera.....	51
<b>Figura 10</b> Material de la Cantera nueva Km 15 + 700.....	52
<b>Figura 11</b> Afloramiento de Grupo San José.....	59
<b>Figura 12</b> Afloramiento de la Formación Sandia.....	60
<b>Figura 13</b> Perfil estratigráfico de la calicata C-31 .....	76
<b>Figura 14</b> Perfil estratigráfico de la calicata C-32 .....	77
<b>Figura 15</b> Perfil estratigráfico de la calicata C-33 .....	78
<b>Figura 16</b> Perfil estratigráfico de la calicata C-34 .....	79
<b>Figura 17</b> Perfil estratigráfico de la calicata C-35 .....	80
<b>Figura 18</b> Perfil estratigráfico de la calicata C-36 .....	81
<b>Figura 19</b> Perfil estratigráfico de la calicata C-37 .....	82
<b>Figura 20</b> Perfil estratigráfico de la calicata C-38 .....	83
<b>Figura 21</b> Perfil estratigráfico de la calicata C-39 .....	84
<b>Figura 22</b> Perfil estratigráfico de la calicata C-40 .....	85



<b>Figura 23</b>	Perfil estratigráfico de la calicata C-41 .....	<b>86</b>
<b>Figura 24</b>	Perfil estratigráfico de la calicata C-42 .....	<b>87</b>
<b>Figura 25</b>	Perfil estratigráfico de la calicata C-43 .....	<b>88</b>
<b>Figura 26</b>	Perfil estratigráfico de la calicata C-44 .....	<b>89</b>
<b>Figura 27</b>	Perfil estratigráfico de la calicata C-45 .....	<b>90</b>
<b>Figura 28</b>	Perfil estratigráfico de la calicata C-46 .....	<b>91</b>
<b>Figura 29</b>	Perfil estratigráfico de la calicata C-47 .....	<b>92</b>
<b>Figura 30</b>	Perfil estratigráfico de la calicata C-48 .....	<b>93</b>
<b>Figura 31</b>	Perfil estratigráfico de la calicata C-49 .....	<b>94</b>
<b>Figura 32</b>	El zarandeo de material granular de cantera nueva en la prog. 12+900...	<b>100</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1</b>	Ensayos técnicos para el material.....29
<b>Tabla 2</b>	Tamaño de las partículas .....31
<b>Tabla 3</b>	Clasificación de suelos según el índice de plasticidad .....34
<b>Tabla 4</b>	Sistema de clasificación de SUCS.....35
<b>Tabla 5</b>	Sistema de clasificación de AASHTO.....37
<b>Tabla 6</b>	Condiciones granulométricos para la sub base granular. ....40
<b>Tabla 7</b>	Condiciones para los ensayos especiales material de sub base granular ...41
<b>Tabla 8</b>	Ensayos estándar para material sub base .....42
<b>Tabla 9</b>	Ensayos especiales para material de sub base .....43
<b>Tabla 10</b>	Acceso al área de estudio vía terrestre.....57
<b>Tabla 11</b>	Ubicación de las calicatas.....64
<b>Tabla 12</b>	Resultados del análisis granulométrico en el tramo Capillapampa – Patambuco .....73
<b>Tabla 13</b>	Resultados de límite de consistencia en el tramo Capillapampa – Patambuco .....75
<b>Tabla 14</b>	Características geotécnicas importantes del suelo.....95
<b>Tabla 15</b>	Resultados de las calicatas del ensayo de soporte .....96
<b>Tabla 16</b>	Resumen de los resultados de laboratorio de las calicatas en el tramo ejecutado.....97
<b>Tabla 17</b>	Uso de la cantera nueva Km 12+900.....100
<b>Tabla 18</b>	Resultados de las características físico mecánicas de la cantera Km 12+900 .....101
<b>Tabla 19</b>	Materiales para sub base.....103



<b>Tabla 20</b>	Pruebas de Proctor modificado, C.B.R., abrasión Los Ángeles y equivalente de arena.....	<b>103</b>
-----------------	---	------------



## ACRÓNIMOS

**(A.S.T.M.).** American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para metales)

**CBR.** Capacidad de soporte de un suelo

**°C.** Grados Centígrados

**IP.** Índice de plasticidad

**Kg/cm<sup>2</sup>.** Kilogramos por centímetros cuadrados

**LL.** Límite líquido

**LP.** Límite Plástico

**LS.** Líneas Sísmicas

**m.** Metros

**MTC.** Ministerio de transporte y comunicaciones

**m/s.** Metros por segundos

**msnm** Metros sobre el nivel del mar

**NTP.** Norma Técnica Peruana

**NE-SO.** Noroeste

**SO.** Suroeste

**SUCS.** Sistema unificado de clasificación de suelos.



## RESUMEN

El proyecto de investigación está ubicado en el centro poblado de Capillapampa, en el distrito de Patambuco, provincia Sandía, departamento Puno. El tramo del proyecto comienza en el Km 15+000 y finaliza en el Km 25+730. Tiene como objetivo evaluar las características geotécnicas del terreno de fundación y canteras para la subbase en la carretera Capillapampa - Patambuco del tramo Km 15+000 al 25+730 del corredor vial en la región de Puno. Se empleó una metodología descriptiva con un enfoque cuantitativo y de carácter no experimental, en la que la geotecnia se basa significativamente en la investigación de campo para analizar los agregados presentes en las canteras. Asimismo, se llevó a cabo la evaluación geotécnica del terreno de fundación, para lo cual se realizaron muestreos del terreno de fundación y posteriormente se ejecutaron ensayos de laboratorio. Las características físicas y mecánicas del terreno de fundación comprendido del tramo Km 15+000 al 25+730, en su mayoría, corresponden a suelos tipo gravas y arenas con una mezcla de arcilla y limos. En la clasificación AASHTO, los suelos se distribuyen entre las clases A-1-a (0), A-1-b (0) y A-2-4 (1), estos suelos presentan una granulometría y valores de índices de plasticidad que resultan adecuados para cumplir con la función de terreno de fundación para la carretera Capillapampa - Patambuco. Además, el valor promedio del CBR (índice de capacidad de soporte) de estas muestras es del 11.45%, lo que clasifica a este tipo de suelo como apto para ser utilizado como subrasante. Las propiedades físicas y mecánicas de la cantera del Km 12+900 indican que está compuesta por una mezcla arena, limo y gravas, con un porcentaje del 25.8%. y AASHTO A-1-b (0). Este material presenta un índice plástico de 5.1%, un índice de desgaste por abrasión del 26.56% y un valor de CBR de 45%, las pruebas realizadas demuestran que el material cumple con las rigurosas especificaciones técnicas necesarias para la formación del terreno de fundación.

**Palabras claves:** Carretera, Canteras, Evaluación geotécnicas. Terreno fundación, Mejoramiento.





## ABSTRACT

The research project is located in the town of Capillapampa, in the district of Patambuco, province Sandia, department Puno. The project section begins at Km 15+000 and ends at Km 25+730. Its objective is to evaluate the geotechnical characteristics of the foundation and quarry terrains for the subbase on the Capillapampa - Patambuco highway of the Km 15+000 to 25+730 section of the road corridor in the Puno region. A descriptive methodology was used with a quantitative and non-experimental approach, in which geotechnics are significantly based on field research to analyze the aggregates present in the quarries. Likewise, the geotechnical evaluation of the foundation soil was carried out, for which samples of the foundation soil were carried out and later laboratory tests were carried out. The physical and mechanical characteristics of the foundation land from Km 15+000 to 25+730, for the most part, correspond to gravel and sand-type soils with a mixture of clay and silt. In the AASHTO classification, the soils are distributed between classes A-1-a (0), A-1-b (0) and A-2-4 (1), these soils have a granulometry and plasticity index values that are adequate to fulfill the function of foundation ground for the Capillapampa - Patambuco highway. In addition, the average value of the CBR (bearing capacity index) of these samples is 11.45%, which classifies this type of soil as suitable for use as a subgrade. The physical and mechanical properties of the quarry at Km 12+900 indicate that it is composed of a mixture of sand, silt and gravel, with a percentage of 25.8%. and AASHTO A-1-b (0). This material has a plastic index of 5.1%, an abrasion wear index of 26.56% and a CBR value of 45%, the tests carried out show that the material meets the rigorous technical specifications necessary for the formation of the foundation soil.

**Keywords:** Road, Quarries, Geotechnical Evaluation. Land Foundation, Improvement,



# 1 CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La creciente demanda de vías de transporte en las zonas rurales de nuestra región está limitando un desarrollo fundamental debido al mal estado de las infraestructuras viales. Esta situación obstaculiza especialmente el intercambio comercial, económico, social.

Es vital considerar los estudios geotécnicos y geológicos previos para la ejecución de nuevas obras de ingeniería, utilizando tanto métodos directos como indirectos para desarrollar modelos geológicos y geotécnicos actualizados que sean aplicables en cada fase del proceso.

El presente estudio de investigación identifica deficiencias en los procedimientos actualmente empleados, ya que estos no están adecuadamente diferenciados desde el punto de vista geotécnico. Como resultado, los estudios de suelos de fundación y terraplenes pueden generar soluciones erróneas, lo que podría ocasionar gastos innecesarios y comprometer la seguridad.

Además, la información disponible sobre las canteras es limitada, y la zona de estudio presenta una escasez de material que cumple con los requisitos geotécnicos y físicos necesarios. Un análisis más detallado de las canteras, basándose en los parámetros de suelos y rocas, podría proporcionar soluciones más precisas a los problemas existentes, lo que ayudaría a prevenir inconvenientes.

El estudio de las características geotécnicas en el tramo de la carretera Capillapampa - Patambuco es crucial para mejorar la calidad de vida de las personas y



fomentar el desarrollo humano, especialmente en el tramo comprendido entre del tramo Km 15+000 al 25+730. Además, es esencial determinar las propiedades físicas de los suelos, ya que estos datos facilitarán la mejora de la vía y prevendrán posibles problemas durante la construcción y el uso posterior de la carretera. Los ensayos de suelo proporcionarán información precisa para la selección de materiales adecuados, teniendo en cuenta el comportamiento del terreno de fundación. Esto no solo garantizará el uso de materiales apropiados en la construcción, sino que también enriquecerá el análisis de los métodos de diseño vial.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Problema general**

Conociendo el planteamiento del problema, se genera las siguientes interrogantes:

¿Cuáles son las características geotécnicas del terreno de fundación y canteras para la subbase en la carretera Capillapampa - Patambuco del tramo Km 15+000 al 25+730 del corredor vial en la región de Puno?

### **1.2.2 Problemas Específicos.**

¿Cuáles son las características físicas-mecánicas del terreno de fundación de la carretera Capillapampa - Patambuco, entre los kilómetros 15+000 al 25+730, del corredor en la región de Puno?

¿Cuáles son las propiedades físico-mecánicas de las canteras ubicadas entre los kilómetros 15+000 al 25+730 de la carretera Capillapampa - Patambuco, en el corredor vial de Puno?



## **1.3 HIPÓTESIS**

### **1.3.1 Hipótesis General**

Las características geotécnicas del terreno de fundación y canteras son apropiadas, y se cuentan con materiales de préstamo adecuados que favorecen para la construcción del tramo de Km 15+000 al 25+730 de Capillapampa – Patambuco del corredor vial en la región de Puno.

### **1.3.2 Hipótesis específicas**

Las características físico-mecánicas del terreno de fundación son apropiadas para el mejoramiento de la carretera Capillapampa - Patambuco, entre los kilómetros 15+000 al 25+730 del corredor vial en la región de Puno,

Las propiedades físico-mecánicas de los materiales de cantera son ideales para contribuir al mejoramiento de la carretera Capillapampa - Patambuco, entre los kilómetros 15+000 al 25+730 del corredor vial en la región de Puno.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo General**

Evaluar las características geotécnicas del terreno de fundación y canteras para la subbase en la carretera Capillapampa - Patambuco del tramo Km 15+000 al 25+730 del corredor vial en la región de Puno.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Determinar las características físico-mecánicas del terreno de fundación de la carretera Capillapampa - Patambuco, comprendido entre los kilómetros 15+000 al 25+730, del corredor vial en la región de Puno.



- Analizar las propiedades físico-mecánicas de las canteras ubicadas entre los kilómetros 15+000 al 25+730 de la carretera Capillapampa - Patambuco, en el corredor vial de Puno.

## 1.5 JUSTIFICACIÓN

El interés de este trabajo de investigación es obtener información detallada sobre las características geotécnicas del terreno de fundación y de los materiales de cantera que se utilizarán en la carretera Capillapampa – Patambuco entre los kilómetros 15+000 al 25+730. Para ello, se evaluarán estos tramos mediante el uso de equipos de laboratorio, con el fin de analizar el comportamiento geotécnico de los diferentes tipos de suelos que se encuentren. También se estudiarán las características físico-mecánicas de los materiales, ya que en muchos casos no se realiza una evaluación geotécnica adecuada del área de estudio, lo que genera diversos problemas durante la construcción.

Actualmente, la superficie de la vía se encuentra deteriorada, con desniveles y acumulación de aguas pluviales debido al mal estado de las cunetas. Además, algunas alcantarillas y pontones han colapsado o están en riesgo de hacerlo. La mayoría de estos problemas son más evidentes durante la temporada de lluvias, lo que dificulta el tránsito de vehículos y obliga a la población a tomar rutas alteradas.

La población necesita urgentemente una solución a estos problemas. Por lo tanto, se propone realizar una evaluación y análisis geotécnico del terreno de fundación, así como estudiar las propiedades físico-mecánicas de los materiales de préstamo. Los resultados de los ensayos y pruebas de laboratorio serán clave para el diseño final del pavimento, asegurando la correcta estabilización de la carretera y evitando problemas futuros. Esto proporcionará la seguridad necesaria para la vía y permitirá un mejoramiento adecuado.



## 2 CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES

Ramírez & Hincapié (2018), esta investigación pretende demostrar el impacto de la adición de tereftalato de polietileno al material de la subbase de las carreteras terciarias. Al actuar conjuntamente con el plástico, ayuda a reducir las cargas de tráfico y fomenta el uso de materiales de PET reciclado. Son varias las razones por las que se opta por este material, entre ellas sus propiedades físicas y químicas, su resistencia a la contaminación y sus beneficios potenciales tanto para la industria de la construcción como para el medio ambiente. Es muy probable que tengamos muchas necesidades de este material en el futuro, de ahí que se busque su reutilización.

Toapanta (2017), en su estudio realizó el Diseño de explotación de la cantera “La Yunguilla”, examinaron los parámetros técnicos, operativos, económicos y geotécnicos de una cantera. En conclusión, existe material petreo de alta calidad que puede ser utilizado para crear hormigones de alta resistencia y para durar o declarar vías en las zonas aledañas al proyecto.

Bedoya & Ocampo (2016), en su estudio evaluó la capacidad del polietileno para promover la incrustación de partículas basándose en el análisis del tamaño de las partículas del sustrato granular. Por razones metodológicas, las actividades se desarrollan principalmente mediante la realización de ensayos específicos sobre una variedad de materiales para determinar su comportamiento, donde la prioridad es determinar la idea de proporción ideal de los materiales compuestos, obteniendo resultados positivos, esencialmente materiales granulares, muchas veces utilizando el recubrimiento es de uso frecuente en la carretera y el otro. Este material no es biodegradable y se evaluó su



comportamiento y granulometría en la subbase, arrojando resultados satisfactorios y esperados. Para la investigación, al igual que en el caso de la prueba Proctor, se encontró una menor densidad máxima en comparación con la subbase y la mezcla, indicando un menor costo de material por unidad de volumen. Evaluando el comportamiento del CBR a diferentes proporciones (20, 30 y 40%) con tratamientos en frío y en caliente.

Molina y Amariles (2015), en su estudio Determinó los Parámetros Mecánicos en Declaredos Estabilizados con Cemento para Uso en Cimentaciones, Extraídos de la Combia Cantera en la Ciudad de Pereira, Risaralda», examinaron el material de la Combia cantera y llegaron a la conclusión de que no cumple con los requisitos del Artículo 300 del INVIAS, pero además es el más utilizado en la zona urbana y rural de la ciudad de Pereira, lo que resalta la importancia de mejorar sus capacidades cementantes.

Mata (2010), en su estudio de investigación describa los métodos de construcción más adecuados para la estructura de la cimentación y la subbase de la carretera. La bibliografía presentada en esta guía básica puede servir de referencia y orientación para futuros estudios sobre el uso de suelos granulares y estables para la construcción, a reserva de los avances tecnológicos. Para reducir el coste de construcción de la estructura vial, es posible utilizar materiales próximos a la estructura, aunque inicialmente no cumplan los requisitos de las especificaciones de construcción. Existen mejores alternativas para combinarlos con estabilizantes (cemento, calcio o emulsiones acuosas) y quizás modificar sus propiedades. Esta guía básica hace hincapié en la importancia de comprender los procedimientos de construcción para formar subrasantes, subbases y tapas de base, ya que son procesos valiosos para el diseño de viales.

Cruz & Carranza (2019), en su estudio ha utilizado las técnicas para mejorar la cimentación y la subbase de pavimentos flexibles, rígidos y mixtos. Con la búsqueda de



información se realizó a través de Redalyc, Scielo y Google Scholar, estas técnicas de recuperación de pavimentos y subbases se utilizan para mejorar el tipo de suelo sobre el que se aplicará la capa asfáltica o abrasiva. Además, para esta mejora, se utiliza una combinación de diferentes materiales que permite obtener el CBR exigido en el pliego de condiciones en ese momento, tanto para la subbase como para la base y subbase del firme.

Puente (2019), en su estudio pretende preservar el sitio arqueológico por su valor cultural. La carretera que conecta Calca con Convención ha sufrido daños y degradación a lo largo del tiempo, especialmente por vehículos medianos y grandes. Por lo tanto, se recomienda el estudio "Diseño geotécnico y geotécnico", los resultados y la interpretación de los datos relevantes, incluida la estratificación del suelo, la densidad natural, el CBR (California Bearing Ratio), las actualizaciones y el diseño de subcapas. Este proyecto sigue la normativa vial peruana, los puntos de referencia y la topografía para crear una ruta sostenible y apta para el tránsito en el sitio arqueológico de Calispouquio.

Blas (2013), en su estudio de investigación se centra en el efecto de la temperatura sobre las capas de base y subbase, por lo que los resultados de un proyecto de investigación que tuvo como objetivo principal determinar el efecto de la temperatura ambiente sobre la resistencia de las capas de grano en proyectos de construcción de pavimentos en el distrito de Tambo, tomando datos de temperatura y humedad cada hora durante la compactación, compresión y prueba. A partir de datos recogidas de cada horario se pudo determinar el cambio en el contenido de humedad en la capa granular. Conociendo la variación promedio del contenido de humedad, se realizaron pruebas CBR al contenido mínimo de humedad, y con los cambios en el contenido de humedad por la temperatura, con la base y el material base proveniente de una de las canteras principales abasteciendo las obras viales





Atencio (2019), en su investigación de la tesis, se realizó un estudio de evaluación geotécnica. La mayoría de los sedimentos son sedimentarios, con una mezcla de partículas finas y gruesas que oscilan entre 6.000 y 8.500. Se clasifican como OH, ML, CL, SP, SM, SC, SW y GC en la clasificación SUCS y AASHTO como: A-7, A-3 y A-2-4, en esta zona la profundidad de marea es de 1,10 m a 1,30 m y el sustrato (CBR) tiene un porcentaje de tamaño de partícula pobre o insuficiente hasta un máximo de densidad seca del 95%. Se realizaron investigaciones en canteras utilizadas para la construcción de carreteras. De esta forma se mejoraron las propiedades mecánicas del terraplén; Hay 3 canteras. Canteras de Huankuni y Argulluni como materiales de relleno y mezcla, para cumplir con los requisitos de calidad de las especificaciones de Argulluni y cantera (material pétreo), y diseñar el suelo de acuerdo con la composición de la capa del subsuelo liso. Las canteras utilizan aglutinante Argulluni (60 %) y agregado callata del río Paconcani (40 %). S. realizó la inspección mediante pruebas no destructivas utilizando un dispositivo Benkelman Beam.

Maron, (2015), en su estudio investigación de tesis era conocer la importancia de los estudios geotécnicos en las carreteras y su mantenimiento para determinar la conservación de la carretera tras la intervención del Instituto Provincial de Vialidad de San Antonio de Putina, Los Suelos, en una progresión de 00+000 a 01+000, correspondiente a cascajos, según la clasificación del SUCS como GP, y en la clasificación AASHTO como A- 1-a (0), y presenta bajo contenido de humedad y no es plástico. Estas subrasantes Progresiva de 01.000 a 2500 corresponden a los niveles definidos como: Arenas y arcillas con índice de fluidez cercano a 0, resistencia de 1 a 3,2 kg/cm<sup>2</sup> para partículas de grava rectangulares, tiene un límite de rendimiento del 35,7% en la red. tamaño del número 40 e IP = 12,37. Este material, dependiendo de sus



propiedades geotécnicas, se puede utilizar sobre superficies mezcladas con materiales a granular.

(Pomacosi, 2017), en su estudio de investigación Determino las características geotécnicas de los suelos fundamentales y el estudio de las canteras y las posibles soluciones requeridas por el proceso de construcción. Según las pruebas del laboratorio de mecánica del suelo lograron determinar que las segundas capas en el 75% son suelos arcillas inorgánicas (CL) y limosnas inorgánicas (ML), que requieren mejoras con un material que tiene una mayor capacidad de soporte; El 25% restante consiste en mezclas de grava y arenas de mula (GM, GC, SM y SC), que se consideran regulando el bien como un área fundamental. En cuanto a la capacidad de apoyar a CBR, los suelos menores tienen un valor CBR promedio 4.6%, lo que hace que sea malo; En el caso del suelo granular, el promedio es del 16.5% porque es bueno como suelo fundamental. Los suelos de grano fino inadecuados tienen un índice de plasticidad inferior a 1,00, un índice de compresibilidad inferior a 0,19 y la capacidad de expandirse con un límite líquido superior al 35%, por lo que estos suelos necesitan ser mejorados. Cabe señalar también que este trabajo investigó las canteras utilizadas en diferentes capas del camino durante la construcción y así mejorar las propiedades físicas y mecánicas del terraplén, existen 12 canteras con clasificación AASHTO difiere de A -1-a (0), A - 1-b (0) a A-2-4(0). Capacidad de soporte, resistencia a la compresión, cimentación, geomecánica, terraplén.

Castillo (2023), en ese estudio evaluó las propiedades geotécnicas para el mejoramiento del firme de la carretera Macusani-Abra Susuya. Según las clasificaciones del Sistema Unificado SUCS y AASHTO para la cantera de 23.500 km: GP - GM y A-1-a (0), y para la cantera del río Macusani, las clasificaciones de cantera AASHTO y SUCS son GW y A-1-. a (0). El mejoramiento de sus propiedades físicas y mecánicas se realizó mediante una mezcla granular entre las dos canteras, proponiéndose formar una



subcapa de la cantera en el km 23.500 (50%) más la cantera del río Macusani (50%). Grado “A” requerido para producir un sustrato, muestra de IP libre de resina (NP), prueba Proctor mejorada de  $\gamma_d = 2,20 \text{ g/cm}^3$  y contenido de humedad óptimo de 8,10 %. El valor relativo de CBR es del 80,70% al 100% y del 55% al 95%, el equivalente de arena es del 46,7%, lo que significa que el material es adecuado para su uso en forma granular. Las partículas planas y alargadas representan el 3,52%. El control de la calidad de compactación del cono de arena promedia el 99,45% de su compactación, se realiza subbase granular cada 250 m<sup>2</sup> en el recorrido. Se encontró que las pruebas realizadas cumplieron con los requisitos mínimos del Ministerio de Transporte, Normas de Tránsito Vial.

## 2.2 BASES TEÓRICAS

### 2.2.1 Carretera

Se trata de una infraestructura de transporte que permite a los vehículos circular de forma continua en el espacio y el tiempo manteniendo altos niveles de seguridad y comodidad. Muy dudoso. La carretera funcionará en función de su tipo, geometría y volumen de tráfico para proporcionar un transporte adecuado a una velocidad suficiente. Otazu, (2021).

El pavimento está formado por capas superpuestas horizontalmente, diseñadas y fabricadas con materiales adecuados y compactadas correctamente. Estas estructuras estratificadas dependen del subsuelo de la carretera debido a la excavación y relleno durante la exploración, y deben soportar las fuerzas transmitidas por las repetidas cargas de tráfico durante el tiempo en que se forma la estructura del pavimento. Monsalve et al. (2012) clasifican los pavimentos en flexibles, semirrígidos y rígidos.

Según Monsalve et al. (2012), este tipo de pavimento consiste en una carpeta bituminosa soportada por dos capas no rígidas, la base y la sub-base. Sin embargo, es posible prescindir de cualquiera de estas dependencias en favor de las necesidades específicas de cada proyecto." (p. 22). Este estudio se realizó sobre un pavimento flexible, por lo que la estructura receptora se diseñaría en función de las clasificaciones. Citación de investigadores sobre pavimento flexible.

### **Figura 1**

*Estructura típica del pavimento flexible*



Nota. Se muestran las estructuras de la carretera Fuente: (Ortiz, 2017)

#### **2.2.2 Terreno de fundación**

Para completar cualquier proyecto u obra de ingeniería civil, debe realizarse un estudio del emplazamiento como parte de un plan de investigación geotécnica que incorpore muchos aspectos de la geología y la mecánica del suelo. El tamaño y el tipo de proyecto determinarán las consideraciones de planificación de la exploración.

### 2.2.3 Características geotécnicas del suelo

La geotecnia utiliza métodos científicos y principios de ingeniería para generar, comprender y utilizar el conocimiento de los materiales y procesos de la corteza terrestre para resolver problemas de ingeniería (Hoyos, 2012). Las propiedades geotécnicas del suelo de una cantera incluyen el tamaño de grano, el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad, así como propiedades mecánicas como la resistencia a la abrasión, la compactibilidad modificada del suelo y la capacidad CBR.

Los ensayos de laboratorio para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales de las carreteras seguirán el Manual de Ensayos de Materiales del MTC (2016) y se enumerarán en el Manual de Suelos, Geología y Geotecnia del MTC (2014).

**Tabla 1**

*Ensayos técnicos para el material*

Material o producto	Propiedades	Método de ensayo	Norma MTC	Norma NTP	Norma ASTM	Norma AASHTO
Afirmada	Propiedades físicas	Granulometría	E 107	339.128	D 422	T27
		Límite de consistencia				
	Propiedades mecánicas	Límite líquido	E 110	339.129	D 4318	T89
		Límite plástico	E 110	339.129	D 4318	T90
		Proctor modificado				
		Densidad-humedad	E 115	339.131	D 1557	T180
	Abrasión de ángeles	E 207	400.019	C 131	T96	
	CBR (California bearing ratio)	E 132	339.145	D 1883	T193	

Nota. (Hoyos, 2012)



#### 2.2.4 Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas son necesarias para determinar el estado físico del suelo. (Calla, 2012).

#### 2.2.5 Ensayos de laboratorio

Esta parte también implica procedimientos de laboratorio comunes para que los estudiantes los utilicen e instrucciones sobre cómo preparar informes de laboratorio, que les serán de utilidad. Los alumnos deben leer detenidamente esta sección y volver a consultarla con frecuencia para asegurarse de que la información es precisa. También deben examinar los métodos gráficos para mostrar la información según sea necesario para desarrollar curvas en determinadas prácticas. (Bowles, 1981).

##### a) Contenido de humedad

Es la relación entre la masa de agua en una determinada masa de suelo y la masa de partículas sólidas, expresada en porcentaje, calculada según la fórmula: Universidad Continental, (2017).

También se conoce como contenido de agua y se define como la relación entre el peso del agua y el peso de los sólidos en un volumen determinado de suelo. El valor se indica en porcentaje (BRAJA, 2001).

$$W\% = \frac{W_w}{s} * 100$$

Donde:

W: Contenido de humedad

Ww: Peso del agua.



S: Peso seco del material.

### b) Análisis granulométrico por tamizado

Utilizando una malla o tamiz con aberturas cuadradas, se separan las partículas del suelo en función de su rango de tamaño. La agitación hace que las partículas se separen y se vuelvan más pesadas. Las partículas retenidas se expresan en porcentaje del peso total de la muestra. Aunque se cree que es físicamente imposible determinar el tamaño exacto de cada partícula, las pruebas de granulometría han ayudado a determinar el rango de tamaños. Malla 200 (0,075 mm) se utiliza habitualmente como dimensión de separación para la clasificación de suelos. Finos y gruesos (Botía, 2015).

**Tabla 2**

*Tamaño de las partículas*

Material	Características	Tamaño (mm)
Piedra	----	>70
Grava	Gruesa	30 a 70
	Media	5 a 30
	Fina	2 a 5
Arena	Gruesa	1 a 2
	Media	0.2 a 1
	Fina	0.1 a 0.2
Polvo	Grueso	0.05 a 0.2
	Fino	0.02 a 0.05
Limo	Grueso	0.006 a 0.02
	Fino	0.002 a 0.006
Arcilla	Grueso	0.006 a 0.002
	Fino	0.0002 a 0.0006
Ultra arcilla		Menor a 0.0002

Nota. (Juárez & Rico, 2005)

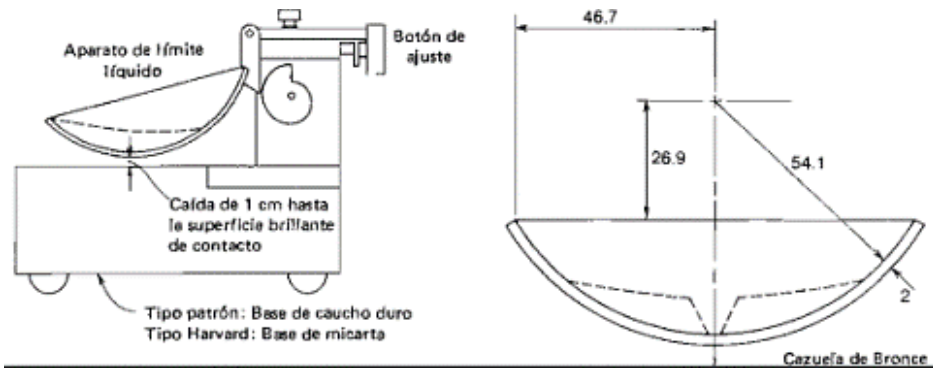
### c) Límites de consistencia

- **Limite líquido**

Según Botia, (2015), lo define como el porcentaje de humedad del suelo en el que se produce la plasticidad. Cuando la humedad del suelo excede el límite líquido, se comporta como un líquido viscoso.

#### Figura 2

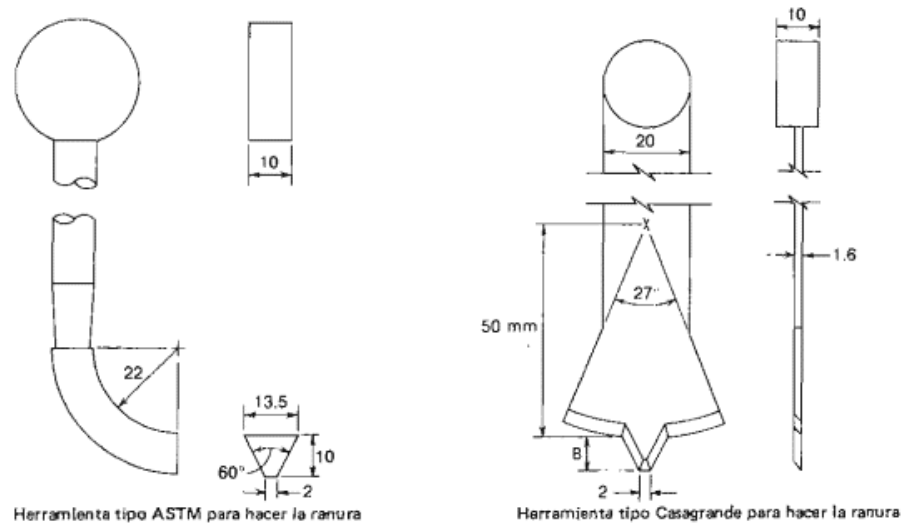
*Especificaciones de construcción y dimensiones del aparato de límite líquido*



Fuente: tomado de (Bowles, 1981).

#### Figura 3

Herramientas ranuradores



Fuente: tomado de (Bowles, 1981).





El orden de los valores límite de líquido resultó ser  $\tan \beta = 0,121$ , lo que indica un buen ajuste. La primera ecuación puede expresarse como:

$$LL = Wn \left( \frac{n}{25} \right) 0.121$$

Donde:

$Wn$  = contenido de humedad al número de golpes  $N$  obtenido en el ensayo.

$\beta$  = pendiente de la recta característica en el gráfico semilogarítmico  $W$  vs.  $\log N$

- **Límite plástico**

Según Botia (2015) Atterberg definió el límite plástico como la frontera entre los estados plástico y semisólido en el suelo. En la terminología de laboratorio, este límite se define como el punto en el que un rodillo de 3 mm de diámetro comienza a desmoronarse y agitarse. Cabe señalar que Terzaghi sugirió el diámetro del rodillo, aunque Atterberg nunca lo especificó.

$$LP = \frac{Ww}{Ws \text{ seco al horno}} * 100$$

Donde:

$Ww$ : peso del agua

$Ws$ : Peso del suelo seco al horno

- **Índice de plasticidad**

El índice de plasticidad de una superficie puede definirse como la diferencia entre sus límites líquido y plástico.

$$IP = LL - LP$$



Donde:

LL. = Límite Líquido

LP. = Límite Plástico

**Tabla 3**

*Clasificación de suelos según el índice de plasticidad*

Índice de plasticidad	plasticidad	Características
$IP > 20$	Alta	Suelo muy arcilloso
$IP \leq 20$	Media	Suelos arcillosos
$IP < 7$	Media	Suelos arcillosos
$IP < 7$	Baja	Suelo poco arcilloso
$IP = 0$	No plástica (NP)	Suelos extensos de arcilla

Nota: (Juárez & Rico, 2005)

#### **d) Proctor modificado**

Según Maron, (2015) El término "presión" se utiliza para describir el proceso de condensación del material por medios mecánicos. Se consigue una mayor densidad reduciendo la cantidad de aire en el material y manteniendo una humedad relativamente constante. Estos son algunos de los aspectos:

- Aumenta la resistencia a las grietas, mejorando la estabilidad de la presa y la capacidad portante del cemento y el pavimento.
- Reduce la compresión, lo que disminuye la estabilidad.
- Baja el vacío y, por tanto, la permeabilidad.
- La congelación reduce la capacidad de crecimiento, contracción o expansión.

Los resultados de las pruebas muestran una curva en la que el punto más alto indica el contenido óptimo de humus en el que el suelo alcanza su densidad

seca máxima. Las pruebas demuestran que la compactación de materiales con pequeñas cantidades es más eficaz que la clasificación uniforme de materiales sin cantidades finitas.

### 2.2.6 Clasificación de suelos.

Existen varios métodos para clasificar los suelos, pero los dos más destacados son:

#### a) Clasificación Unificada de Suelos– SUCS

Este método de clasificación considera factores como el tamaño de las partículas del suelo y el nivel de plasticidad. (Bañón & Beviá, 2000).

#### b) Classification AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officers).

Es el método más utilizado para clasificar los firmes de las carreteras. Considera siete grupos básicos de firmes, numerados del A-1 al A-7. (Bañón & Beviá, 2000).

### Tabla 4

*Sistema de clasificación de SUCS*

Finos $\geq 50\%$ pasa malla #200 (0.08 mm)			
Tipo de suelo	Simbología	Limite liquido	Índice de plasticidad
Limos orgánicos	ML	<50	<0-73 (WI-20) o <4
	MH	>50	<0-73 (WI-20)
Arcillas inorgánicas	CL	<50	<0-73 (WI-20) y <7
	CH	>50	>0-73 (WI-20)



**Finos  $\geq 50\%$  pasa malla #200 (0.08 mm)**

Limos y arcillas inorgánicos	OL	<50	WI al seco al horno $\leq$ 75% del wi seco al aire
	OH	>50	

Altamente orgánicos P1 Material orgánico fibroso

Si  $IP \geq 0.73(WI - 20)$  o si IP entre 4 y 7 e  $IP > 0.73(WI - 20)$  usar símbolo doble: CL-ML, CH-OH

\*\*Si tiene olor orgánico debe determinar adicionalmente WI seco al horno

En caso dudoso favorecer clasificación más plástica; ej. CH- MH en vez de CL-ML

Si  $WI=50$ ; CL-CH o ML-MH

**Gruesos <50% pasa malla # 200 (0.08 mm)**

Tipo de suelo	Simbología	% ret. Malla N° 4	% ret. Malla N° 200	CU	CC	**IP
Gravas	GW	>50 de lo ret. En 0.08 mm	<5	>4	1 a 3	
	GP			$\leq 4$	<1 o >3	
Gravas	GM		>12			<0.73 (WI-20) o <4
	GC					<0.73 (WI-20) y <7
Arenas	SW	<50 de lo ret. En 0.08 mm	<5	>6	1 a 3	
	SP			$\leq 6$	<1 o >3	
Arenas	SM		>12			<0.73 (WI-20) o <4
	SC					<0.73 (WI-20) y <7

\*entre 5 y 12% usar símbolo doble como GW-GC, GP-GM, SW-SM, SP-SC

\*\*Si  $IP = 0.73 (wi - 20)$  o si IP entre 4 y 7 e  $IP > 0.73(wi - 20)$  usar simbología doble GM-GC, SM-SC

En caso de dudosos favorecer clasificación menos plástica; Ej. GW-GM en vez de GW-GC

Nota: AASHTO M 145

**Tabla 5**

*Sistema de clasificación de AASHTO*

Clasificación general	Suelos granulares (<35 pasa 0.08 mm)						Suelos finos (>35% bajo 0.08 mm)			
	A1		A3	A2			A4	A5	A6	A7
Grupo	A-			A-						A-
Subgrupo	1a	1b		2-4	2-5	2-6	2-7			A-7-5 A-7-6
2 mm	≤50									
0.5 mm	≤30	≤50	≥51							
0.008mm	≤15	≤25	≤10		≤35				≥36	
W1				≤40	≥41	≤40	≥41	≤40	≥41	≤4 0
IP		≤6	NP	≤10	≤10	≥11	≥11	≤10	≤10	≥1 1
Descripción	Grava y arena		Are na fina	Grava arena limosa o arcillosas			Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calidad como material para carreteras	Excelente a bueno						Pobre a malo			

Nota. AASHTO M 145

### 2.2.7 Propiedades mecánicas del suelo

Permite entender el comportamiento del suelo para asegurar su resistencia a las solicitaciones de carga vehicular en el caso de infraestructura vial. (Ramos & Torres, 2012).

#### a) Resistencia a la deshidratación.

Es una medida de la degradación de agregados minerales normalizados causada por una combinación de acciones, tales como abrasión, impacto y trituración, en un tambor giratorio de acero con un cierto número de láminas de acero. (MTC, 2016)

$$D(\%) = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} * 100$$

Donde:

- Peso inicial: peso de la muestra lavada y secada antes de la prueba
- Peso final: peso de la muestra retenida en la Malla N° 12 después de la prueba.

### 2.2.8 Compactación de suelos.

El término "compactación" se refiere a cualquier proceso que aumente el peso volumétrico del suelo. En general, la compactación de un suelo aumenta su resistencia al corte, reduce su compresibilidad y lo hace más impermeable. (Pastor, 2013).

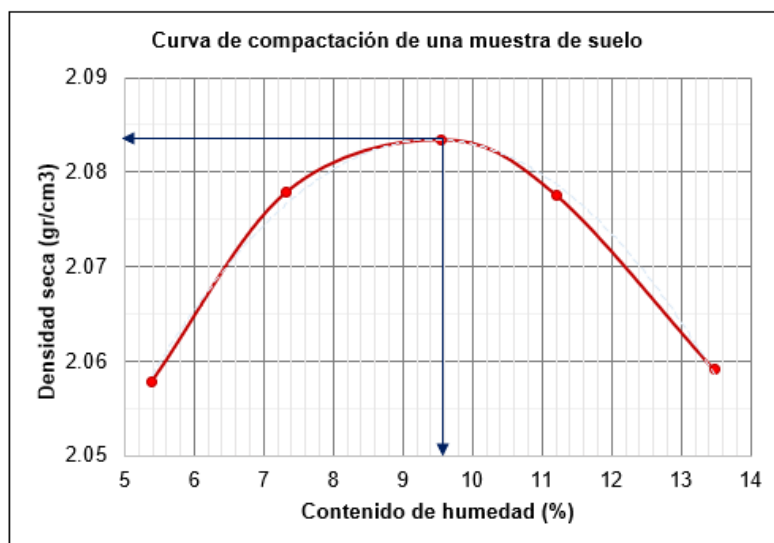
$$D_s = \frac{D_h}{100 + W\%} * 100$$

Dónde:

- Dh: Densidad húmeda; W%: Contenido de humedad.

#### Figura 4

*Curva de compactación*



Nota. AASHTO M 145

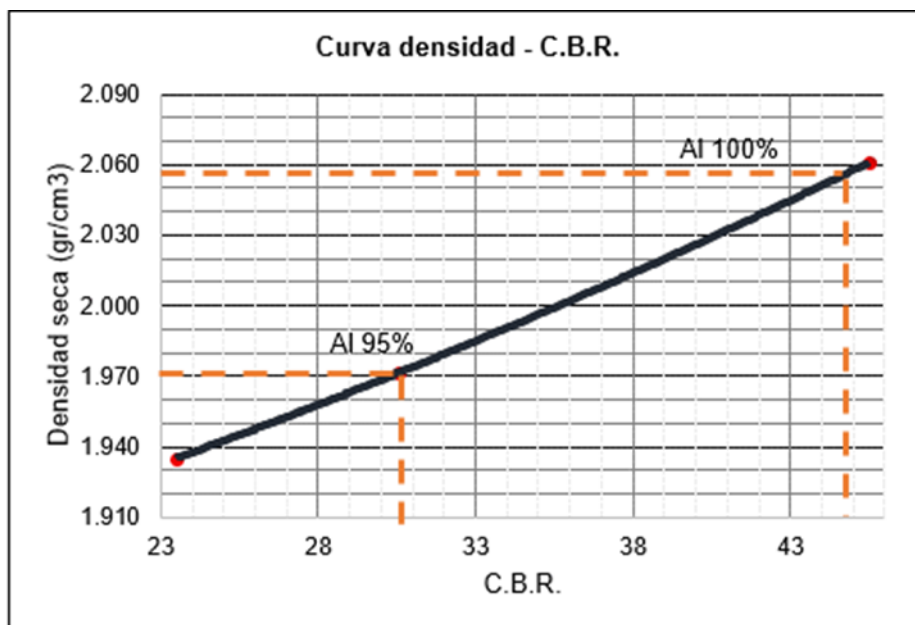
### 2.2.9 Capacidad de soporte CBR

El índice de resistencia del suelo evalúa la capacidad de soporte del subsuelo y de las capas de subbase, base y superficie de un pavimento. (Llique, 2003, página 51).

$$CBR = \frac{\text{Carga unitaria de ensayo}}{\text{Carga unitaria patron}} * 100$$

#### Figura 5

Curva de CBR



Nota. AASHTO M 145

### 2.2.10 Sub base Granular

Es una capa granular construida con materiales más económicos que las capas anteriores. Esta capa facilita el drenaje del agua que puede filtrarse por la superficie o ascender debido a la capilaridad. (Ortiz, 2017)

Los áridos utilizados para construir la base granular deben ajustarse a una de las franjas granulométricas. De forma similar a la base granular en el lugar de

trabajo, debe utilizarse una "Fórmula de trabajo" para ajustar la curvatura granular durante la construcción de la capa. Además, no debe superarse la relación entre el porcentaje de tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (n.º 200) y 425  $\mu\text{m}$  (n.º 40). (Ortiz, 2017)

Suele tratarse de una capa de materiales granulares debidamente clasificados y compactados que se construye sobre el subsuelo para servir de capa de apoyo a la base del pavimento asfáltico. Su función principal es soportar las fuerzas transmitidas por la carga del vehículo a través de las capas principales y transferirlas completamente a las capas más pequeñas. (Kari & Olortegui, 2019).

### 2.2.11 Material para la subbase

Los materiales para la reconstrucción de la subbase granular cumplirán los condicionamientos correctos enumerados en la Tabla 1. Además, deberá cumplir una de las obligaciones granulométricas adecuadas enumeradas en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Condiciones granulométricas para la sub base granular.*

<b>Tamiz</b>	<b>Gradación A</b>	<b>Gradación B</b>	<b>Gradación C</b>	<b>Gradación D</b>
50 mm (2")	100	100		
25 mm (1")		75-95	100	100
9.5 mm (3/8")	30-65	40-75	50-85	60-100
4.75 mm (Nº4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2.0 mm (Nº10)	15-40	20-45	25-50	40-70
42.5 mm (Nº40)	08-20	15-30	15-30	25-45
75 mm (Nº200)	02-08	05-15	05-15	08-15

Nota: (MTC, Manual de Carreteras, 2013)

Según las condiciones de la curva de graduación "A" debe utilizarse en zonas donde la elevación sea igual o superior a 3000 msnm.



**Tabla 7***Condiciones para los ensayos especiales material de sub base granular*

ENSAYO	Norma	<3000msnm	≥3000msnm
Abrasión	MTC E 207	50% max.	50% max.
CBR	MTC E 132	40% min.	40% min.
Limite liquido	MTC E 110	25% max.	25% max.
Índice de plasticidad	MTC E 111	6% max.	6% max.
Equivalente de arena	MTC E 114	25% min.	25% min.
Sales solubles	MTC E 209	1% max.	1% max.
Partículas chatas y alargadas	MTC E 211	20% max.	20% max.

Nota. (MTC, 2016)

### 2.3 DISEÑO DE UN PAVIMENTO.

El diseño de un pavimento se basa en el análisis de sus diversos componentes, incluyendo la base, subbase, subrasante y carpetas de rodadura; de igual forma, se toman en consideración las condiciones ambientales, de tráfico y de mantenimiento y servicio. (Acurio, 2017).

Las fases del diseño de un pavimento son las siguientes, según (Acurio, 2017). Para determinar el tipo de rodadura y los componentes del pavimento, se debe realizar un estudio de la capa subrasante. hacer un estudio de tráfico, elegir los materiales para cada capa, calcular la vida útil del pavimento, diseñar los separadores para cada capa y decidir el tipo de pavimento a diseñar.

#### 2.3.1 Estudio de canteras

Es un depósito natural de material apto para ser utilizado en la construcción, rehabilitación, mejoramiento y/o mantenimiento de carreteras (MTC, 2018, p.6). Una cantera se define como un lugar geográfico donde se

extraen o explotan agregados para la industria de la construcción. (Arangurí, 2015).

De acuerdo MTC (2014), el objetivo de estudiar las fuentes de materiales de donde se obtienen los agregados es determinar si son aptos para diversos usos como mejoramiento de suelos, terraplenes, agregados para riles, sub-bases y bases granulares, tratamientos asfálticos, mezclas asfálticas y mezclas de concreto.

**a) Ensayos de laboratorio**

Es para determinar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los materiales de hormigón se validan según el Manual de Ensayos de Materiales de Vial del MTC, Manual Vial: Suelos, Geología, Ingeniería Geotécnica y Pavimentos. Sección: Estructuras e Ingeniería General en cumplimiento de las normas de construcción. (MTC, 2014).

**Tabla 8**

*Ensayos estándar para material sub base*

<b>Materiales sub base</b>	
Análisis granulométrico por tamizado	ASTM D-422, MTC E 107
Material que pasa la malla N° 200	ASTM C-117, MTC E 202
Limite liquido Malla N° 40	ASTM D-4318, MTC E 110
Limite plástico Malla N° 40	ASTM D-4318, MTC E 111
Clasificación de SUCS	ASTM D-2487
Clasificación de suelos	AASTHO M-145, ASTM D-3282
Contenido de sales solubles totales	MTZ E 219
Material orgánico en arena	ASTM C-140, MTC E 213
Partículas chatas y alargadas	ASTM D-4791
Porcentaje de caras de fracturas	ASTM D-5821, MTC E 210

Nota. (MTC, 2014)



**Tabla 9**

*Ensayos especiales para material de sub base*

<b>Materiales</b>	
California Bearing Ratio (CBR)	ASTM D-1883, MTC E 132; o modulo resiliente de materiales de subbase granular sin tratar, ensayo AASHTO T 292; o modulo resiliente de materiales de suelos y agregados, ensayos AASHTO T 307
Ensayo de abrasión los ángeles	ASTM C-131, MTC E 207
Equivalente de arena	ASTM D-2519, MTC E 114
Proctor modificado	ASTM D-1557, MTC E 115

Nota. Tomado de (MTC, 2014)

## **2.4 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS MATERIALES**

Las propiedades geotécnicas del suelo juegan un papel importante en cualquier proyecto de construcción que involucre edificios, carreteras y presas. En estos proyectos, el suelo se utiliza como material de ingeniería debido a su capacidad para soportar estructuras de soporte y formar grumos en presas de tierra.

## **2.5 MARCO CONCEPTUAL**

### **2.5.1 Cantera.**

Es un depósito natural de material apto para ser utilizado en la construcción, rehabilitación, mejoramiento y/o mantenimiento de carreteras. (MTC, 2018)

### **2.5.2 Características geotécnicas del suelo.**

Las propiedades geotécnicas del suelo de cantera están representadas por sus propiedades físicas y mecánicas.



### **2.5.3 Carretera.**

La fijación de una faja a una superficie plana con ángulos, alineación e inclinación adecuados permite una tracción adecuada del vehículo. (Castelán, 2008).

### **2.5.4 Combinación de agregados.**

Es una combinación consistente de dos o más suelos de diferentes propiedades para conseguir una única capa de suelo con propiedades geotécnicas mejoradas. (Urcia, 2014).

### **2.5.5 El pavimento flexible**

De acuerdo a MTC (2014) “escribe como estructura compuesta por capas granulares (sub base, base) y como capa de rodadura una carpeta constituida con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos.

### **2.5.6 Geotecnia.**

La geotecnia es el uso de métodos científicos y principios de ingeniería para generar, analizar y utilizar el conocimiento de los materiales y procesos de la corteza terrestre para resolver problemas de ingeniería (Hoyos, 2012)

### **2.5.7 Mejoramiento:**

Según Otazu, (2021) “Realizar las obras necesarias para mejorar la calidad de las carreteras a través de actividades que impliquen cambios significativos en la geometría y conversión de caminos de tierra a pavimentados” (p. 15).



### **2.5.8 Mecánica de suelos:**

De acuerdo a Juárez y Rico (2005)(2005). “La mecánica de suelos es una rama de las matemáticas aplicadas, pero ciertamente tiene alcance; Aún quedan muchos problemas analíticos por resolver.

### **2.5.9 Pavimento**

Es una estructura de múltiples capacidades construida sobre el firme de la carretera para soportar el impacto de los vehículos y mejorar la seguridad y el confort del tráfico. En general, se compone de tres capas: la base, la subbase y la rodadura. (MTC, 2014).

### **2.5.10 Sub base**

Se trata de un tapón de material específico con un elemento de diseño que sirve de soporte a la base y a la moqueta. Aparte de eso, se utiliza como tapa de drenaje y controlador del nivel de agua. Esta tapa puede no ser visible dependiendo del tipo, diseño y dimensiones del pavimento. Esta tapa puede ser de material granular (CBR > 40%). (MTC, 2014).



## 3 CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 METODOLOGÍA

La investigación se llevó a cabo mediante un enfoque cuantitativo, en el que se aplicaron valores numéricos a los datos de campo. A continuación, las muestras se transportaron a un laboratorio para su análisis físico y mecánico, seguido de su verificación.

##### 3.1.1 Tipo de investigación

El nivel de investigación es descriptivo, lo que permitió representar las características de las canteras, así como las propiedades físicas y mecánicas del material granular utilizado para construir la capa de subbase.

##### 3.1.2 Diseño de investigación

El diseño de la investigación es no experimental, con observación natural en estudios de campo para identificar las propiedades, características, física y mecánica de las canteras como material.

#### 3.2 ETAPA Y REVISIÓN, RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

La investigación se planificó de acuerdo con la metodología, incluyendo una revisión y recopilación de información bibliográfica relevante sobre el tema. Para comprender mejor el estado de los conocimientos relativos a los estudios geotécnicos para la mejora de la carretera Capillapampa – Patambuco, la metodología utilizada se basó en las características geotécnicas de los suelos del terreno de fundación.



### **3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.3.1 Población**

La población está constituida por el total del terreno de fundación a lo largo de la carretera Capillapampa – Patambuco, dentro del corredor vial en la región de Puno. Esto incluye: Longitud total del tramo de carretera, características del subsuelo y la subbase y condiciones geotécnicas.

#### **3.3.2 Muestra**

La muestra está integrada por 19 calicatas realizados cada 500 metros de distancia a lo largo de la carretera de Capillapampa – Patambuco. Debido a la uniformidad del terreno.

### **3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

#### **3.4.1 Variable independiente**

Características Geotécnicas del suelo y cantera en el tramo Km 15+000 al 25+730.

#### **3.4.2 Variable dependiente**

Evaluación geotécnica del terreno de fundación de la carretera Capillapampa – Patambuco del corredor vial en la región de Puno.

### **3.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATO**

#### **3.5.1 Etapa de campo**

La recogida de datos sobre el terreno es el componente más significativo del estudio geotécnico de la carretera Capillapampa – Patambuco. La técnica



utilizada en este trabajo de investigación es la observación y toma de muestras del terreno de fundación, que consiste en realizar mediciones cada 500 metros a lo largo de la carretera y observar detenidamente el perfil estratigráfico existente para su posterior análisis en laboratorio y clasificación de suelos.

Durante esta etapa se realizó el reconocimiento de la plataforma existente en el tramo Km 15+000 al 25+730. de la carretera Capillapampa – Patambuco; adicionalmente, se llevó a cabo colocación de puntos topográfico a lo largo de la ruta, cada veinte (20) metros en las tangentes y cada diez (10) metros en las curvas.

Igualmente, se determinó la ubicación de los lugares donde se realizaría las calicatas a cielo abierto de acuerdo a los diferentes tipos de suelos para su posterior muestreo en cantidades suficientes. En cada calicata abierta, se realizó una descripción visual detallada del perfil estratigráfica que existe en cada una, así como la presencia de materia orgánica, nivel freático, humedad natural, etc.

Estas muestras obtenidas serán distribuidas o alteradas en cantidades suficientes para ser enviadas al laboratorio de mecánica de suelos para ensayos apropiados a la determinación de sus propiedades físicas y mecánicas. Además, se realizará el reconocimiento de los sectores donde se tomarán materiales en garantía, así como su respectiva apertura de calicatas y muestreo de materiales, antes de ser enviados al laboratorio de suelos para su ensayo.

- Cartografiado geológico local.
- Excavación de calicatas
- Toma de muestras
- Ensayo de laboratorio



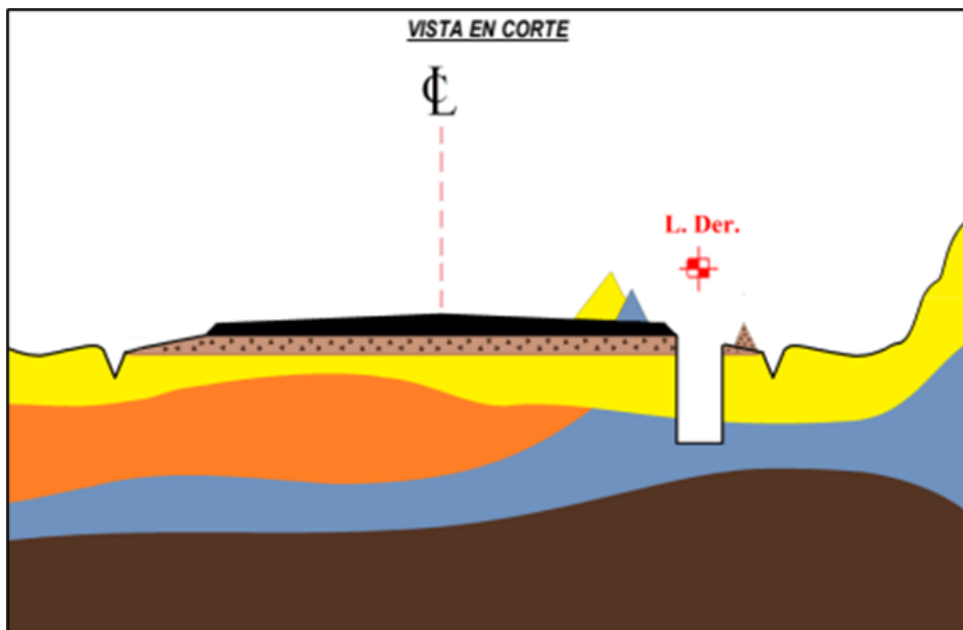
**Figura 6**

*Excavación de calicatas*



**Figura 7**

*Vista de corte de la calicata*



## Figura 8

### *Toma de muestras en la cantera*



### 3.5.2 Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos

Esta etapa de trabajo incluyó la realización y procesamiento de muestras distribuidas o alteradas; estas pruebas se llevaron a cabo en el laboratorio de mecánica de suelos CONSORCIO VIAL 67. Las pruebas de laboratorio se realizaron de acuerdo con normas nacionales e internacionales como las establecidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM) y la Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte (AASHTO), que son las siguientes:

- a) **Ensayos en terreno de fundación en el tramo Km 15+000 al 25+730**

Según las Especificaciones Técnicas Generales para el mejoramiento de Carretera Capillapampa – Patambuco según el MTC, los ensayos fundamentales y su frecuencia para los materiales de capa base y sub-base deben cumplir los siguientes requisitos de calidad:

- Contenido de humedad natural
- Análisis granulométrico por tamizado
- Determinación del límite líquido del suelo
- Determinación del límite plástico e índice de plasticidad
- Proctor modificado
- CBR de suelos

### Figura 9

*Ensayo de laboratorio de suelos y de cantera*



#### **b) Ensayos de laboratorio en la cantera nueva 15+700 y especificaciones**

Estos estudios especializados son necesarios para comprender las propiedades físicas y mecánicas de los suelos que intervienen en la construcción de carreteras.

- Contenido de humedad
- Análisis granulométrico por tamizado

- Determinación del límite líquido del suelo.
- Determinación del límite plástico e índice de plasticidad.
- Proctor modificado.
- CBR de suelos
- Equivalente de arena

### 3.5.3 Estudio de canteras

En este trabajo de investigación, se estudió tres canteras para formar la base, específicamente para la capa asfáltica, y determinar las propiedades físicas y mecánicas en el laboratorio.

Para determinar qué canteras medir, se siguieron las especificaciones técnicas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), y se eligió una cantera. Además, la presencia de agregados granulares en estas canteras indica una mayor disponibilidad para la extracción. La Cantera nueva Km 15 + 700.

#### Figura 10

*Material de la Cantera nueva Km 15 + 700.*





### **3.5.4 Trabajos de gabinete**

Según los resultados de campo y laboratorio, se evaluaron y clasificaron todos los estratos encontrados en cada una de las calicatas, posterior a eso se dividieron en subtramos. Durante la fase de gabinete, se clasificará y dividirá el terreno en subtramos para comprender y planificar mejor el movimiento del terreno y las necesidades de mejora. Así se determinarán las profundidades necesarias para mejorar la capacidad de soporte de los suelos.

Además de los resultados de campo y laboratorio, se realizó las descripciones de los perfiles estratos de las calicatas. También fue posible identificar canteras y zonas en las que se requieren barreras de contención, que cumplieran las especificaciones técnicas generales de las carreteras EG-2000.

### **3.5.5 Descripción final**

En este trabajo de investigación, que consta de 5 capítulos y sus respectivas conclusiones y recomendaciones, se presentará toda la información de campo y de laboratorio, así como los resultados de las pruebas de laboratorio y otros anexos. Para observar los resultados obtenidos se utilizaron los siguientes softwares: Microsoft Excel, AutoCAD, ARCGIS 10.8, entre otros.

## **3.6 MATERIALES Y EQUIPOS**

En este trabajo de investigación se utilizó los siguientes materiales.

- Mapa topográfico.
- Mapa geológico local.
- Imágenes satelitales.
- Tablas de apoyo y campo



- Tableros acrílicos.
- Registro de formatos
- Data de ensayo de laboratorio.
- Bolsas para recojo de muestras
- Útiles de escritorio

Para recolección de muestras de suelos y de la cantera se utilizaron los siguientes

herramientas e instrumentos

- Equipo GPS marca Garmín
- Flexómetro 5 m.
- Wincha 50 m.
- Brújula marca Brunton.
- Protactor
- Lupas de 60x
- Martillo de Geólogo.
- Máquina retroexcavadora
- Pala.
- Pico.
- Cámara fotográfica
- Estación total

Para ensayo de laboratorio de muestras de suelos y de la cantera se utilizaron los siguientes herramientas e instrumentos:

- Conjunto de tamices
- Equipo de Casagrande



- Los moldes de compactación
- El martillo de compactación
- El molde metal cilíndrica
- El disco espaciador
- El pistón de penetración.
- La probeta graduada
- Las espátulas.
- El calibrador
- Cronometro
- Brochas.
- Laptop.
- Impresora.
- Cámara fotográfica.



## 4 CAPÍTULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 4.1 UBICACION

Este trabajo de investigación se encuentra ubicada en el centro poblado de Capillapampa y distrito de Patambuco provincia de Sandia y departamento de Puno, en el tramo Km 15+000 a Km 25+730 una distancia de 10 km aproximadamente.

##### Ubicación política

Región : Puno  
Provincia : Sandia  
Distrito : Patambuco

##### Ubicación geográfica

Respecto a su ubicación geográfica basada en el Datum WGS84 zona 19 las coordenadas extremas del punto de captación hacia la divisoria de cuenca se emplazan entre:

Norte (m) : 785643.42 - 795259.11  
Este (m) : 8408050.35 - 8414749.55  
Altitud (msnm) : 3820 – 4830

#### 4.2 ACCESIBILIDAD

Para acceder a la zona de estudio desde Puno – Juliaca – Crucero – Capillapampa - Patambuco, se encuentra a una distancia de 301 km aproximadamente.



**Tabla 10**

*Acceso al área de estudio vía terrestre*

<b>Tramo</b>	<b>Distancia (Km)</b>	<b>Tiempo (Hrs)</b>	<b>Tipo de via</b>
Puno - Juliaca	43	53 min	Asfaltado
Juliaca - Crucero	193	3 hor	Asfaltado
Crucero - Capillapampa	40	30 min	Asfaltado
Capillapampa - Patambuco	25	30 min	Afirmado-trocha
<b>Total</b>	<b>301</b>	<b>4 hor 53 min</b>	

*Fuente:* Elaboración Propia

### **4.3 CLIMA Y VEGETACION**

Tiene un clima templado, con temperaturas promedio que oscilan entre los 10°C y los 25°C. La estación seca va de mayo a octubre, mientras que la estación húmeda va de noviembre a abril. Las precipitaciones anuales son de aproximadamente 800 mm.

La vegetación de la zona está compuesta principalmente por bosques de montaña, con árboles como el pino, el eucalipto y el cedro. También hay pastizales, arbustos y matorrales.

### **4.4 GEOMORFOLOGÍA**

La geomorfología de la zona de estudio se caracteriza por su relieve montañoso, presencia de valles y quebradas, glaciares y lagunas, así como por suelos variados y procesos erosivos activos. Estas características no solo definen el paisaje físico de la región, sino que también tienen un impacto significativo en la vida y actividades de las comunidades locales. Aquí se destacan varios aspectos importantes:



#### **4.4.1 Relieve Montañoso**

Está situado en una región de relieve montañoso debido a su ubicación en los Andes. Esto se traduce en la presencia de altas montañas, picos escarpados y valles profundos, lo que define en gran medida el paisaje local, se presenta en todo el tramo del proyecto.

#### **4.4.2 Valles y Quebradas**

Entre las formaciones geomorfológicas destacadas se encuentran los valles glaciares y las quebradas, esculpidos por la acción del agua a lo largo del tiempo. Estas características no solo son estéticamente impresionantes, sino que también juegan un papel crucial en la hidrología local.

#### **4.4.3 Glaciares y Lagunas**

Debido a la alta altitud, es probable que en los alrededores de Patambuco existan glaciares remanentes y lagunas de origen glaciar. Estos cuerpos de agua son importantes tanto desde el punto de vista geomorfológico como para el equilibrio hidrológico de la región.

#### **4.4.4 Suelos y Erosión**

Los suelos son variados y están influenciados por la composición geológica local y los procesos erosivos. La erosión es un proceso activo en la zona, con características como deslizamientos de tierra y la formación de terrazas aluviales en los valles.

#### 4.4.5 Riesgos Naturales

La geomorfología también influye en los riesgos naturales a los que está expuesta la población local, como deslizamientos de tierra, avalanchas y la posible ocurrencia de sismos debido a la actividad tectónica en los Andes.

### 4.5 GEOLOGIA LOCAL

El área de estudio se encuentra en una región caracterizada por la presencia de rocas metamórficas, que son típicas de la Cordillera de los Andes. Estas rocas forman parte de estructuras geológicas complejas debido a la actividad tectónica intensa que ha ocurrido en la zona.

#### 4.5.1 Grupo San Jose

En la zona de estudio está formada por secuencias de pizarras y lutitas negras o grises, que tienen capas de arenisca negras o grises. Además, se componen de secuencias de filitas negras foliadas o débilmente foliadas, así como de pizarras negras; con estratos, tienen una pirita diseminada. En general, las pequeñas fallas presentes en las pizarras, se ubica al margen derecho de la calicata 31 km 15+000.

#### Figura 11

*Afloramiento de Grupo San José*



#### 4.5.2 Formación Sandia

El área está conformada litológicamente por una secuencia de areniscas grises verdosas compactas, pizarras y filitas oscuras, con intercalaciones monótonas. Los estratos de filitas oscilan entre 1,0 y 1,5 m, mientras que los de areniscas varían entre 0,05 y 0,5 m. Las rocas presentan intensa fracturación, sulfuros diseminados y pátinas de oxidación. Los afloramientos incluyen cuarcitas con filitas grises, y en algunos sectores se observan areniscas grises con lutitas de aspecto esquistoso, se ubica desde la calicata 31 hasta calicata 36, km 15+000 al km 18+000 tanto en el margen derecho e izquierdo respectivamente.

Esta formación se compone de cuarcitas grises que varían en tamaño de 1,5 a 2,0 metros; en algunas zonas, hay sulfuros dispersos y lentes de cuarzo que han sido impactados por fracturas moderadamente alteradas. Puede presentar una ligera capa ondulosa.

#### Figura 12

*Afloramiento de la Formación Sandia*





#### **4.5.3 Formación Ananea (Sd-a)**

En esta formación se encuentran el tramo Km 19+500 a Km 24+000 que pertenece a las calicatas C-40 al C-49 y se compone de pizarras y esquistos de color gris a negro intercalados con pequeñas cuarcitas de 5 a 20 cm en el periodo Silúrico-Devónico. Estas formaciones rocosas indican un entorno marino lejano. Su altura estimada es de 1500 metros, con secuencias repetidas causadas por los diversos episodios tectónicos que se han producido. Las rocas están severamente deformadas, con una esquistosidad muy penetrante, indicando al menos dos etapas de deformación, produciéndose en la primera la foliación S1 con dirección NO-SE y en la segunda la foliación S2, con dirección NE-SO.

#### **4.5.4 Depósitos Aluviales**

En estos depósitos se encuentran los tramos del Km 15+000 hasta Km 19+000 que pertenece a las calicatas del C-31 al C-39. Se componen por limos y arcillas retrabajadas de poca potencia, así como de bancos acústicos y canales de grabación. Los bofedales tienen lugar durante las depresiones.

#### **4.5.5 Depósitos Coluviales.**

Son depósitos típicos de montaña. Son el resultado de la alteración y desestabilización de masas de roca y suelo provocadas por la gravedad y el agua. La naturaleza de estos depósitos viene determinada por el tipo de relieve, y siempre se encuentran cerca de los bosques.



#### **4.6 RIESGO POTENCIAL DE SUELOS EXPANSIVOS**

El trazo en la zona de estudio ha sido analizado desde el punto de vista de la posibilidad de contemplar suelos potencialmente expansivos y se ha verificado la inexistencia de los mismos a lo largo de toda la traza.

#### **4.7 RIESGO DE PROCESOS DE LICUEFACCIÓN**

La licuefacción de suelo describe el comportamiento de suelos que, estando sujetos a la acción de una fuerza externa (sismo), en ciertas circunstancias pasan de un estado sólido a un estado líquido.

Los suelos susceptibles de perder gran parte de su resistencia ante solicitaciones dinámicas producidas por un sismo son las arenas finas y flojas, y las arenas y limos mal graduados. Otra de las condiciones necesarias para que tenga lugar la licuefacción es que el nivel freático esté alto, cerca de la superficie, y que el grado de compactación sea bajo, equivalente a valores N30 de SPT inferiores a 15-20.

De manera general, y de acuerdo con las observaciones realizadas en distintas zonas donde se han producido fenómenos de licuefacción, se puede establecer las siguientes circunstancias desencadenantes:

- Terremotos de magnitud igual o superior a 5.5, con aceleraciones superiores o iguales a 0,2g.
- Por debajo de los 15 m de profundidad no se conocen fenómenos de licuefacción.
- En la mayoría de los casos donde se han observado procesos de licuefacción, el nivel freático se encontraba a poca profundidad, inferior a 3 m; por debajo de los 5 m de profundidad, la susceptibilidad a la licuefacción es muy baja.



De modo general, las propiedades que caracterizan a los suelos licuables son las siguientes:

- Grado de saturación del 100%.
- Diámetro medio D50 entre 0.05 y 1.0 mm.
- Coeficiente de uniformidad  $C_u = D_{60}/D_{10} < 15$ .
- Contenido en finos inferior al 10%.
- Bajo grado de compactación, es decir  $N < 10$  para profundidades  $< 10\text{m}$  y  $N < 20$  para profundidades  $> 10\text{m}$ . Este fenómeno es propio en suelos arenosos de compacidad suelta, saturados o moderadamente saturados con un drenaje pobre, tales como arenas sedimentadas o arenas y gravas que contienen vetas de sedimentos impermeables.

Los suelos más susceptibles a la licuefacción son arenas y sedimentos de tamaños de partículas similares, en capas de por lo menos más de un metro de espesor, y con un alto contenido de agua (saturadas).

Los suelos granulares descritos en este tramo que se encuentran saturados y/o por debajo del nivel freático, son gravas, suelos no susceptibles de licuefacción, o bien arenas con porcentajes de finos muy superiores al 10%, por lo que el fenómeno de licuefacción no es probable en caso de movimiento sísmico en la zona.

Se encuentran tramos saturados en terrenos arcillosos o limosos, en todo caso sin riesgo de licuefacción en base a su naturaleza arcillosa o limosa.



## 5 CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 5.1 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS MATERIALES DEL TERRENO DE FUNDACIÓN

##### 5.1.1 Conformación de suelos por tramos

La conformación de suelos por tramos según el trabajo de campo y las pruebas de laboratorio, el subsuelo de la zona de investigación este compuesto por las siguientes características geotécnicas en los tramos. Las muestras se tomaron en el lado derecho e izquierdo de la carretera, posterior a eso estas muestras extraídas se llevó a cabo sus ensayos respectivos en donde se analizó sus propiedades mecánicas y físicos del subsuelo, según a normal ASSHTO y SUCS.

**Tabla 11**

*Ubicación de las calicatas*

CALICATA	PROGRESIVA	COORDENADAS	
		NORTE	ESTE
C-31	15+000	8410201	426306
C-32	15+500	8410365	427034
C-33	16+000	8410469	427497
C-34	16+500	8410571	427866
C-35	17+000	8410431	428286
C-36	17+500	8410367	428626
C-37	18+000	8410651	428897
C-38	18+500	8410923	429155
C-39	19+000	8411346	429401
C-40	19+500	8411662	429653
C-41	20+000	8411844	430125
C-42	20+500	8412096	430535
C-43	21+000	8412238	430989
C-44	21+500	8412374	431446
C-45	22+000	8412291	431941
C-46	22+500	8412086	432186
C-47	23+000	8412091	432186
C-48	23+500	8412211	433104
C-49	24+000	8412208	433137

a) Tramo Km 15+000





Este tramo corresponde a la calicata C-31 y se encuentra localizado al lado derecho de del tramo, comprende un estrato.

**Muestra 01 (0,20 – 1,00 m)** Este estrato está compuesto por "Bolonerías", en un volumen de 5%, tamaño máximo de 5" y de angulosidad "Subangulosa". El material está compuesto por gravas, arena. Posterior a eso presenta de grandes bloques de roca mayores a 14".

**b) Tramo Km 15+500**

Este tramo corresponde a la calicata C-32 y se encuentra localizado al lado izquierdo del tramo, comprende un estrato.

**Muestra 01 (0.20 - 0.60 m):** El estrato está compuesto por "Bolonerías", en un volumen de 15%, tamaño máximo de 10" y de angulosidad "Subangulosa". El resto del estrato presenta grandes bloques de roca mayores a 13".

**Muestra 01 (0.60 – 1.20 m):** está conformado por arena con limo y grava un color natural marrón, compactación moderada. Posterior a eso se presenta bloques de rocas de 15"

**c) Tramo Km 16+000**

Este tramo corresponde a la calicata C-33 y se encuentra localizado al lado derecho del tramo, comprende de dos estratos definidas.

**Muestra 01 (0,20 – 0.60 m):** El estrato está compuesto por "Bolonerías", en un volumen de 10%, tamaño máximo de 10" y de angulosidad "Subangulosa". El material restante representa un volumen de 90% y está conformado por una



"Arena limosa con grava" un color natural "Negro", una compacidad "Medianamente suelta" y una cementación "Débil".

**Muestra 02 (0,60 – 1.50 m):** El estrato está conformado íntegramente por arena con limo y grava de un color natural "Marron", una compacidad "Medianamente suelta" y una cementación "Débil". El material está compuesto por material fino de 8.6%, arena 48.8% y grava gruesa 42.5% de tamaño máximo 2½".

**d) Tramo Km 16+500**

Este tramo corresponde a la calicata C-34 y se encuentra localizado al lado izquierdo del tramo, comprende de un solo estrato.

**Muestra 01 (0,20 – 1.00 m):** El estrato está compuesto por "Bloques", en un volumen de 5%, tamaño máximo de 15" y de angulosidad "Subangulosa". "Bolonerías", en un volumen de 10%, tamaño máximo de 10" y de angulosidad "Subangulosa". El material restante representa un volumen de 85% y está conformado por una "Grava limosa con arena de un color natural "Marron", una compacidad "Densa" y una cementación "Moderada".

**e) Tramo Km 17+000**

Este tramo corresponde a la calicata C-35 y se encuentra localizado al lado derecho del tramo, comprende de un solo estrato.

**Muestra 01 (0,20 – 1.00 m):** El estrato está compuesto por "Bolonerías", en un volumen de 5%, tamaño máximo de 5" y de angulosidad "Subangulosa". El material restante representa un volumen de 95% y está conformado por una



"Grava limosa con arena de un color natural "Marron", una compacidad "Densa" y una cementación "Moderada", tamaño máximo 2".

**f) Tramo Km 17+500**

Este tramo corresponde a la calicata C-36 y se encuentra localizado al lado izquierdo del tramo, comprende de un solo estrato.

**Muestra 01 (0,20 – 1.00 m):** El estrato está compuesto por "Bolonerías", en un volumen de 20%, tamaño máximo de 10" y de angulosidad "Subangulosa". El material restante representa un volumen de 80% y está conformado por una "Grava limosa arcillosa con arena de un color natural "Negro", una compacidad "Medianamente suelta" y una cementación "Débil", tamaño máximo 2½".

**g) Tramo Km 18+000**

Este tramo corresponde a la calicata C-37 y se encuentra localizado al lado derecho del tramo, comprende de un solo estrato.

**Muestra 01 (0,20 – 1.00 m):** El estrato está compuesto por "Bolonerías", en un volumen de 30%, tamaño máximo de 10" y de angulosidad "Subangulosa". El material restante representa un volumen de 70% y está conformado por una "Grava con limo y arena de un color natural "Marron", una compacidad "Medianamente suelta" y una cementación "Moderada", tamaño máximo 3".

**h) Tramo Km 18+500**

Este tramo corresponde a la calicata C-38 y se encuentra localizado al lado izquierdo del tramo, comprende de dos estratos.



**Muestra 01 (0,20 – 0.60 m):** El estrato está conformado íntegramente por Limo arenoso de un color natural "Marron", una compacidad "Medianamente suelta" y una cementación "Débil", de tamaño máximo 2½"

**Muestra 02 (0,60 – 1.50 m):** está conformado por una grava con limo y arena de un color natural "Negro", una compacidad "Medianamente suelta" y una cementación "Moderada", de tamaño máximo 3".

**i) Tramo Km 19+000**

Este tramo corresponde a la calicata C-39 y se encuentra localizado al lado derecho del tramo, comprende de un solo estrato.

**Muestra 01 (0,30 – 1.40 m):** El estrato está compuesto por "Bloques", en un volumen de 30%, tamaño máximo de 15" y de angulosidad "Subangulosa". Bolonerías en un volumen de 30%, tamaño máximo de 10" y de angulosidad "Subangulosa". El material restante representa un volumen de 40% y está conformado por una "Grava limosa con arena de un color natural "Negro", una compacidad "Medianamente suelta" y una cementación "Débil", de tamaño máximo 2".

**j) Tramo Km 19+500**

Este tramo corresponde a la calicata C-40 y se encuentra localizado al lado izquierdo del tramo, comprende de dos estratos.

**Muestra 01 (0,20 – 0.60 m):** El estrato está conformado íntegramente por arcilla limo gravoso de un color natural "Gris", una compacidad "Medianamente suelta" y una cementación "Débil", de tamaño máximo 3".



**Muestra 02 (0,60 – 1.50 m):** El estrato está compuesto por "Bloques", en un volumen de 40%, tamaño máximo de 15" y de angulosidad "Subangulosa". Bolonerías en un volumen de 20%, tamaño máximo de 10" y de angulosidad "Subangulosa". El material restante representa un volumen de 40% y está conformado por una "Grava limosa con arena de un color natural "Marron", una compacidad "Medianamente suelta" y una cementación "Débil", de tamaño máximo 2½".

**k) Tramo Km 20+000**

Este tramo corresponde a la calicata C-41 y se encuentra localizado al lado derecho del tramo, comprende de dos estratos.

**Muestra 01 (0,20 – 0.70 m):** El estrato está compuesto por "Bolonerías", en un volumen de 10%, tamaño máximo de 5" y de angulosidad "Subangulosa". El material restante representa un volumen de 90% y está conformado por una "Grava limosa arcillosa con arena de un color natural "Marron", una compacidad "Densa" y una cementación "Moderada", de tamaño máximo 2".

**Muestra 02 (0,70 – 1.50 m):** El estrato está compuesto por "Bolonerías", en un volumen de 15%, tamaño máximo de 10" y de angulosidad "Subangulosa". El material restante representa un volumen de 85% y está conformado por una grava limosa arcillosa con arena de un color natural "Marron", una compacidad "Densa", de tamaño máximo 2½".

**l) Tramo Km 20+500**

Este tramo corresponde a la calicata C-42 y se encuentra localizado al lado izquierdo del tramo, comprende de dos estratos.



**Muestra 01 (0,20 – 0.70 m):** El estrato está compuesto por "Bolonerías", en un volumen de 10%, tamaño máximo de 5" y de angulosidad "Subangulosa". El material restante representa un volumen de 90% y está conformado por una "Grava limosa con arena de un color natural "Marron", de tamaño máximo 2½".

**Muestra 02 (0,70 – 1.50 m):** El estrato está compuesto por "Bloques", en un volumen de 20%, tamaño máximo de 15" y de angulosidad "Subangulosa". "Bolonerías", en un volumen de 20%, tamaño máximo de 5" y de angulosidad "Subangulosa". El material restante representa un volumen de 60% y está conformado por una "Arena limosa con grava de color natural "Marron", una compacidad "Medianamente suelta" y una cementación "Débil" de tamaño máximo 3".

**m) Tramo Km 21+000**

Este tramo corresponde a la calicata C-43 y se encuentra localizado al lado derecho del tramo, comprende de un solo estrato.

**Muestra 01 (0,20 – 0.90 m):** De 0.00 a 0.20 está conformado por afirmado el estrato está compuesto por "Bolonerías", en un volumen de 20%, tamaño máximo de 10" y de angulosidad "Subangulosa".

El material restante representa un volumen de 80% y está conformado por una grava con arcilla y arena de color natural "Marron", una compacidad "Medianamente suelta" y una cementación "Débil de tamaño máximo 2½".

**n) Tramo Km 21+500**

Este tramo corresponde a la calicata C-44 y se encuentra localizado al lado izquierdo del tramo, comprende de dos estratos.



**Muestra 01 (0,20 – 1.50 m):** El estrato está conformado íntegramente por grava limosa con arena de color natural "Negro", una compacidad "Medianamente suelta" y una cementación "Débil" de tamaño máximo 2½".

**o) Tramo Km 22+000**

Este tramo corresponde a la calicata C-45 y se encuentra localizado al lado derecho del tramo, comprende de dos estratos.

**Muestra 01 (0,20 – 0.80 m):** El estrato está conformado íntegramente por arena limosa con grava de color natural "Marron", una compacidad "Medianamente suelta" y una cementación "Moderada" de tamaño máximo 1½".

**Muestra 02 (0,80 – 1.50 m):** El material restante representa un volumen de 95% y está conformado por grava limosa con arena de color natural "Marron", una compacidad "Medianamente suelta" y una cementación "Moderada" de tamaño máximo 2½".

**p) Tramo Km 22+500**

Este tramo corresponde a la calicata C-46 y se encuentra localizado al lado izquierdo del tramo, comprende de dos estratos.

**Muestra 01 (0,20 – 0.70 m):** El estrato está conformado íntegramente por limo arenoso con grava de color natural "Marron", una compacidad "Medianamente suelta" y una cementación "Débil" de tamaño máximo 2".

**Muestra 02 (0,70 – 1.50 m):** El material restante representa un volumen de 70% y está conformado por arena limosa con grava de color natural "Marron",



una compacidad "Medianamente suelta" y una cementación "Débil" de tamaño máximo 3".

**q) Tramo Km 23+000**

Este tramo corresponde a la calicata C-47 y se encuentra localizado al lado derecho del tramo, comprende de un solo estrato.

**Muestra 01 (0,20 – 1.10 m):** De 0.00 a 0.20 m está conformado por afirmado, el estrato está compuesto por "Bolonerías", en un volumen de 15%, tamaño máximo de 10" y de angulosidad "Subangulosos". El material restante representa un volumen de 85% y está conformado por grava limosa con arena de color natural "Marron", una compacidad "Densa" y una cementación "Moderada" de tamaño máximo 2½".

**r) Tramo Km 23+500**

Este tramo corresponde a la calicata C-48 y se encuentra localizado al lado izquierdo del tramo, comprende de dos estratos.

**Muestra 01 (0,20 – 1.30 m):** El estrato está conformado íntegramente por arena limosa con grava de color natural "Marrón", una compacidad "Medianamente suelta" y una cementación "Débil" de tamaño máximo 2".

**s) Tramo Km 24+000**

Este tramo corresponde a la calicata C-49 y se encuentra localizado al lado derecho del tramo, comprende de dos estratos.



**Muestra 01 (0,20 – 0.70 m):** El estrato está conformado íntegramente por arena limosa con grava de color natural "Marron", una compacidad "Medianamente suelta" y una cementación "Débil" de tamaño máximo 2".

**Muestra 02 (0,70 – 1.50 m):** El estrato está conformado íntegramente por grava arcillosa con arena de color natural "Beige", una compacidad "Medianamente suelta" y una cementación "Débil" de tamaño máximo 2½".

### 5.1.2 Clasificación de suelos

Según las pruebas de laboratorio, las muestras obtenidas en diversos puntos de estudio corresponden a SUCS y AASHTO, como se indica en la tabla 11 y en los Anexos Certificados de Laboratorio de Suelos del Terreno de Fundación.

**Tabla 12**

*Resultados del análisis granulométrico en el tramo Capillapampa – Patambuco*

Calicata	Prog. de campana (Km)	Muestra	Gravas	Arenas	Finos	SUCS	AASHTO
<b>C-31</b>	15+000	M-1	45.40	37.10	17.60	SM	A-1-b (0)
<b>C-32</b>	15+500	M-1	3.90	46.00	50.20	CL-ML	A-4(2)
		M-2	43.90	53.10	6.00	SP-SM	A-2-4(1)
<b>C-33</b>	16+000	M-1	2.20	47.40	50.50	CL	A-4(1)
		M-2	42.50	48.80	8.60	SP-SM	A-2-4(1)
<b>C-34</b>	16+500	M-1	50.30	38.40	11.20	GP-GC	A-1-a (0)
<b>C-35</b>	17+000	M-1	50.60	30.20	19.10	GC-GM	A-1-b (0)



<b>Calicata</b>	<b>Prog. de campaña (Km)</b>	<b>Muestra</b>	<b>Gravas</b>	<b>Arenas</b>	<b>Finos</b>	<b>SUCS</b>	<b>AASHTO</b>
<b>C-36</b>	17+500	M-1	50.00	35.50	14.50	GC-GM	A-1-a (0)
<b>C-37</b>	18+000	M-1	35.10	52.70	12.20	SM	A-1-b (0)
<b>C-38</b>	18+500	M-1	7.20	42.00	50.80	ML	A-4(3)
		M-2	53.60	38.20	8.20	GP-GM	A-1-a (0)
<b>C-39</b>	19+000	M-1	44.30	46.40	9.40	SP-SM	A-2-4 (1)
<b>C-40</b>	19+500	M-1	26.60	23.00	53.30	CL-ML	A-4 (2)
		M-2	40.40	46.00	13.60	SM	A-1-b (0)
<b>C-41</b>	20+000	M-1	41.80	42.30	15.90	SC-SM	A-1-b (0)
		M-2	61.90	25.40	12.70	GC- GM	A-1-a (0)
<b>C-42</b>	20+500	M-1	2.80	68.50	28.70	SM	A-2-4 (0)
		M-2	55.30	32.20	12.50	GM	A-1-b (0)
<b>C-43</b>	21+000	M-1	50.30	38.50	11.20	GP-GC	A-1-b (0)
<b>C-44</b>	21+500	M-1	55.50	31.20	13.30	GM	A-1-b (0)
<b>C-45</b>	22+000	M-1	38.10	48.10	13.80	SM	A-1-b (0)
		M-2	57.50	30.50	12	GM	A-1-a (0)
<b>C-46</b>	22+500	M-1	15.90	33.00	51.10	ML	A-4 (3)
		M-2	38.10	44.10	17.80	SM	A-1-b (0)
<b>C-47</b>	23+000	M-1	60.30	25.20	14.50	GM	A-1-a (0)
<b>C-48</b>	23+500	M-1	31.50	49.60	19.00	SM	A-1-b (0)
<b>C-49</b>	24+000	M-1	38.50	47.80	13.70	SM	A-2-6 (0)
		M-2	55.70	29.30	15.00	GC	A-2-4 (0)



**Tabla 13**

*Resultados de límite de consistencia en el tramo Capillapampa – Patambuco*

<b>Calicata</b>	<b>Prog. de campaña (Km)</b>	<b>Muestra</b>	<b>LL</b>	<b>LP</b>	<b>IP</b>	<b>H (%)</b>
<b>C-31</b>	15+000	M-1	20.20	16.70	3.6	7.1
<b>C-32</b>	15+500	M-1	24.10	19.30	4.7	16.80
		M-2	NP	NP	NP	5.5
<b>C-33</b>	16+000	M-1	16.30	9.30	7.0	18.2
		M-2	NP	NP	NP	4.2
<b>C-34</b>	16+500	M-1	32.20	27.60	4.6	8.9
<b>C-35</b>	17+000	M-1	28.20	22.30	5.9	7.5
<b>C-36</b>	17+500	M-1	21.00	16.00	5.0	4.9
<b>C-37</b>	18+000	M-1	NP	NP	NP	6.9
<b>C-38</b>	18+500	M-1	37.10	28.40	8.8	17.3
		M-2	17.30	15.40	2.0	3.7
<b>C-39</b>	19+000	M-1	NP	NP	NP	9.0
<b>C-40</b>	19+500	M-1	23.70	18.10	5.6	12.6
		M-2	NP	NP	NP	9.7
<b>C-41</b>	20+000	M-1	26.20	21.90	4.4	6.5
		M-2	26.00	21.90	4.1	7.1
<b>C-42</b>	20+500	M-1	33.00	29.20	3.8	5.8
		M-2	21.40	19.10	2.3	10.6
<b>C-43</b>	21+000	M-1	25.20	20.20	5.0	8.2
<b>C-44</b>	21+500	M-1	20.60	18.20	2.4	8.8
<b>C-45</b>	22+000	M-1	26.80	23.80	3.0	5.3
		M-2	28.00	24.70	3.3	8.8
<b>C-46</b>	22+500	M-1	33.30	27.6	5.7	12.1
		M-2	19.20	15.50	3.6	4.3

Calicata	Prog. de campana (Km)	Muestra	LL	LP	IP	H (%)
C-47	23+000	M-1	19.90	NP	NP	7.4
C-48	23+500	M-1	28.10	24.20	3.9	5.4
C-49	24+000	M-1	20.30	NP	NP	4.8
		M-2	32.3	21.90	10.4	7.2

### 5.1.3 Perfil estratigráfico del area de estudio

El perfil estratigráfico en la carretera Capillapampa - Patambuco, entre los kilómetros 15+000 al 25+730 se presentan 19 calicatas, una representación gráfica y descriptiva de las diferentes capas de suelo encontradas en un punto específico.

### Figura 13

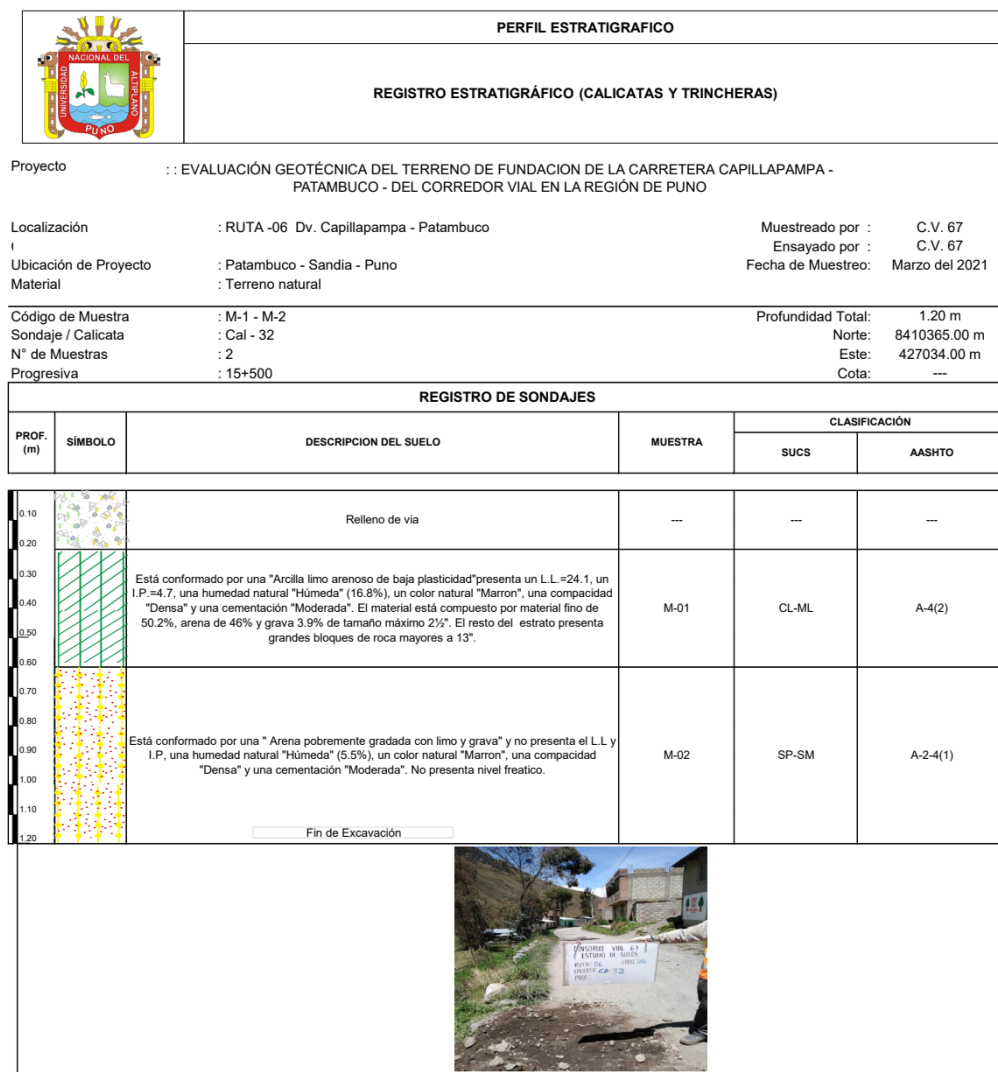
#### Perfil estratigráfico de la calicata C-31



Nota. En la figura 13, está conformado por "arena limosa" Humedo, presenta un L.L.=20.2, un I.P.=3.6, una humedad natural "Húmeda" (7.1%), un color natural "Marrón", una compacidad "Densa" y una cementación "Moderada". El material está compuesto por gravas, arena y finos y bloques de roca mayores a 14" no presenta nivel freático.

## Figura 14

### Perfil estratigráfico de la calicata C-32



Nota. En la figura 14, en la muestra M1 está conformado por una "Arcilla limo arenoso de baja plasticidad" presenta un L.L.=24.1, un I.P.=4.7, una

humedad natural "Húmeda" (16.8%), El material está compuesto por material fino de 50.2%, arena de 46% y grava 3.9%. En M2 está conformado por una " Arena pobremente gradada con limo y grava" y no presenta el L.L y I.P, una humedad natural "Húmeda" (5.5%).

### Figura 15

#### Perfil estratigráfico de la calicata C-33



Nota. En la figura 15, la muestra M1 está conformado por "Arcilla arenosa de baja plasticidad"; presenta un L.L.=16.3, un I.P.=7.0, una humedad natural "Húmeda"

18.2%, y las M2 el estrato está conformado " Arena pobremente gradada con limo y grava" presenta un L.L.=NP, un I.P.=NP, una humedad natural "Húmeda" 4.2%.

### Figura 16

#### Perfil estratigráfico de la calicata C-34



Nota. En la figura 16, está conformado por una Grava pobremente gradada con arcilla y arena presenta un L.L.=32.2, un 1017 I.P.=4.6, una humedad natural "Húmeda" 8.9%.

**Figura 17**

*Perfil estratigráfico de la calicata C-35*



Nota. En la figura 17, está conformado por una Grava limo arcillosa con arena; presenta un L.L.=28.2, un I.P.=5.9, una humedad natural "Húmeda" 7.5%, un color natural "Marrón", una compacidad Densa estructura homogénea.



**Figura 18**

*Perfil estratigráfico de la calicata C-36*



Nota. En la figura 18, conformado por una Grava limo arcillosa con arena; presenta un L.L.=21, un I.P.=5, una humedad natural "Húmeda" 4.9%, un color natural "Negro", una compactación "Medianamente suelta" estructura homogénea, angulosos y subredondeados

## Figura 19

### Perfil estratigráfico de la calicata C-37



Nota. En la figura 19, Conformado por Arena limosa con grava; presenta un L.L.=NP, un I.P.=NP, una humedad natural "Húmeda" 6.9%, un color natural "Marrón oscuro", una compacidad "Medianamente suelta" estructura homogénea y no presenta nivel freático.

## Figura 20

### Perfil estratigráfico de la calicata C-38



Nota. En la figura 20, el estrato M1 está conformado íntegramente por Limo arenoso de baja plasticidad; presenta un L.L.=37.1, un I.P.=8.8, una 1053 humedad natural "Húmeda" 17.3%, el estrato M2 está conformado por una Grava pobremente gradada con limo y arena; presenta un L.L.=17, un I.P.=2, una humedad natural "Húmeda" 3.7%, un color natural "gris oscuro", una compacidad Medianamente suelta, gravas subredondeadas, subangulosos estructura homogénea y no presenta nivel freático.

## Figura 21

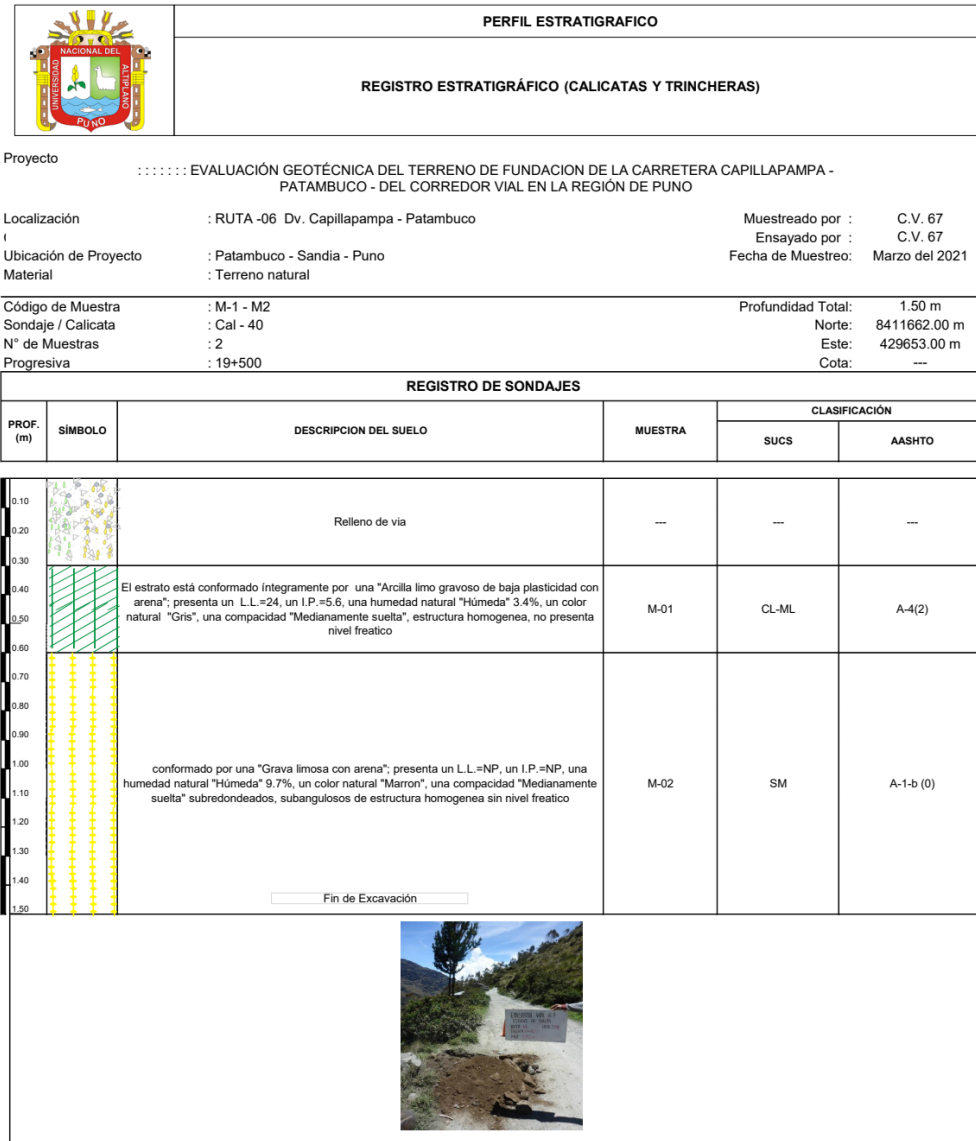
### Perfil estratigráfico de la calicata C-39



Nota en la figura 21, está conformado por una Arena pobremente gradada con limo y grava; presenta un L.L.=NP, un I.P.=NP, una humedad natural "Húmeda" 9.0%, un color natural "gris oscuro", una compacidad "Medianamente suelta", estructura homogénea, subangulosos a subredondeados y no presenta nivel freático.

**Figura 22**

*Perfil estratigráfico de la calicata C-40*

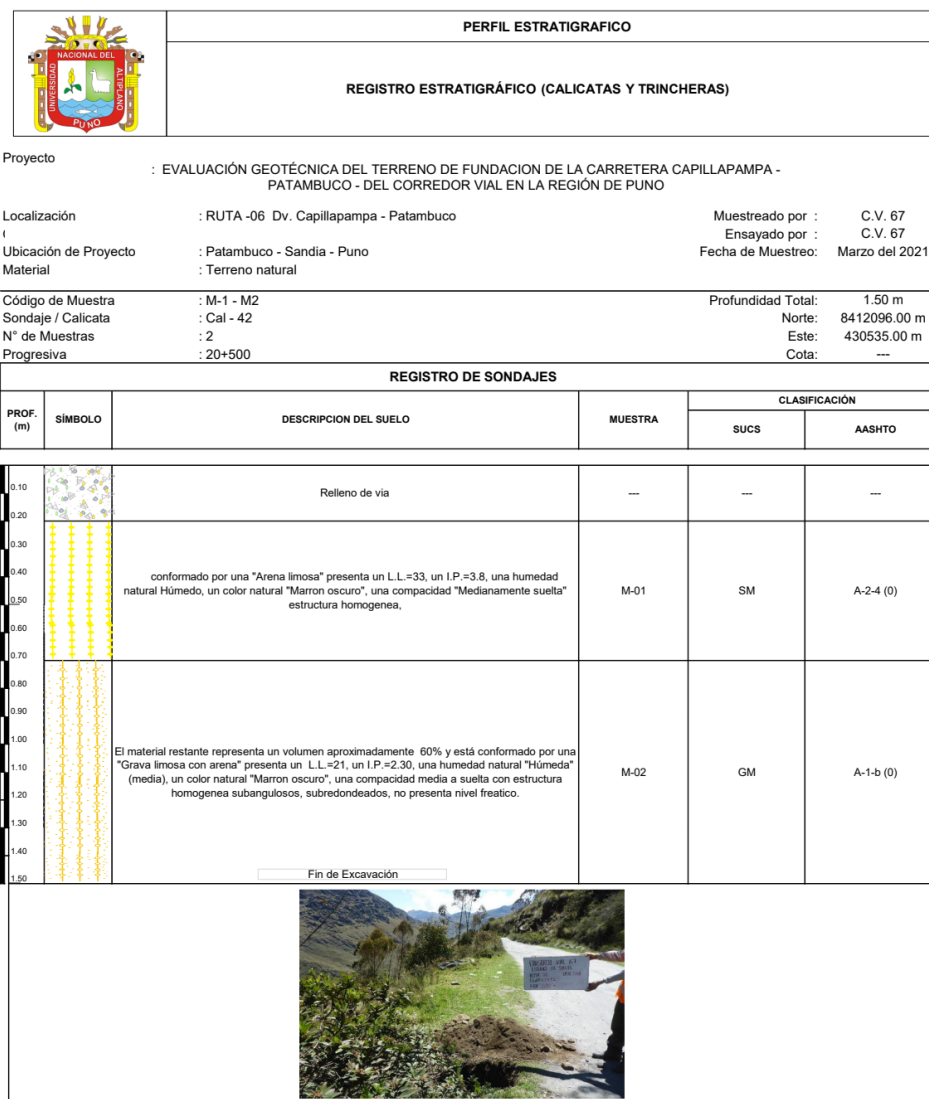


Nota. En la figura 22, el estrato M1 está conformado íntegramente por una "Arcilla limo gravoso de baja plasticidad con arena"; presenta un L.L.=24, un I.P.=5.6, una humedad natural "Húmeda" 3.4%, un color natural "Gris", una compacidad "Medianamente suelta", estructura homogénea, no presenta nivel freático, el estrato M2 conformado por una "Grava limosa con arena"; presenta un L.L.=NP, un I.P.=NP, una humedad natural "Húmeda" 9.7%, un color natural "Marrón", una compacidad "Medianamente suelta" subredondeados, subangulosos de estructura homogénea sin nivel freático.



## Figura 24

### Perfil estratigráfico de la calicata C-42



Nota. En la figura 24, el estrato M1 conformado por una "Arena limosa" presenta un L.L.=33, un I.P.=3.8, una humedad natural Húmedo, un color natural "Marrón oscuro", una compacidad "Medianamente suelta" estructura homogénea, El material restante representa un volumen aproximadamente 60%, y el estrato M2 está conformado por una "Grava limosa con arena" presenta un L.L.=21, un I.P.=2.30, una humedad natural "Húmeda" (media), un color natural "Marrón oscuro", una compacidad media a suelta con estructura homogénea subangulosos, subredondeados, no presenta nivel freático.

## Figura 25

### Perfil estratigráfico de la calicata C-43

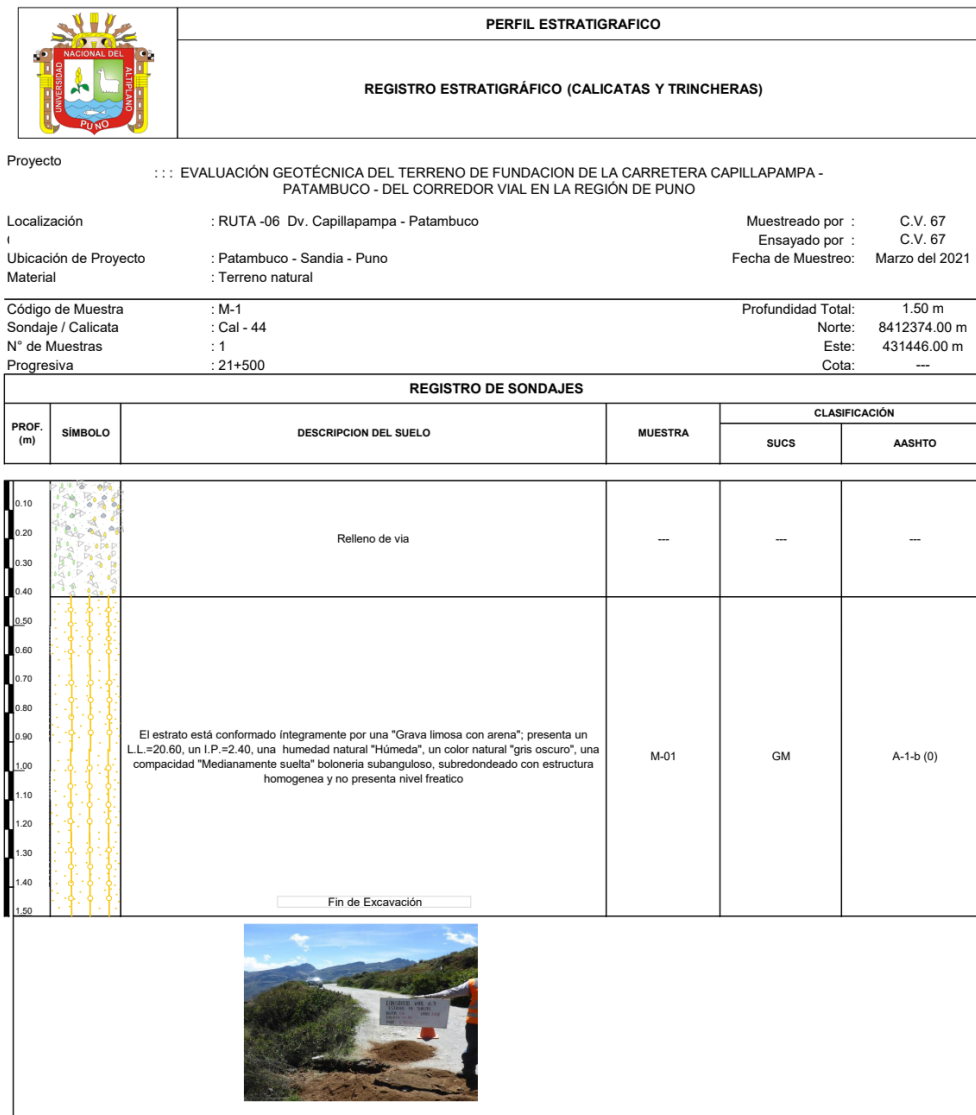


Nota en la figura 25, está conformado por una "Grava pobremente gradada con arcilla y arena"; presenta un L.L.=25.20, un I.P.=5, una humedad natural "Húmeda", un color natural "Marrón oscuro", una compacidad "Medianamente suelta", estructura homogénea subredondeados, subangulosos no presenta nivel freático.



**Figura 26**

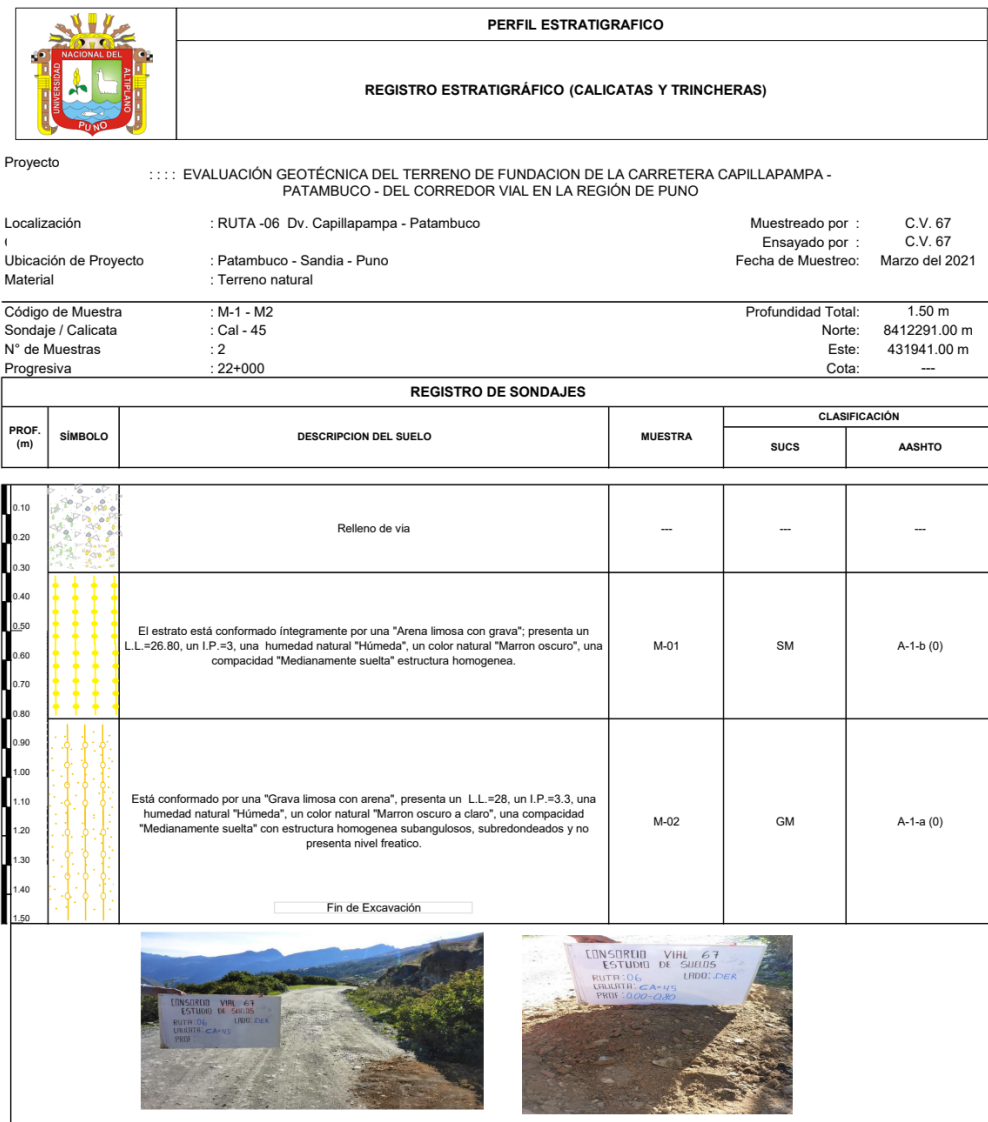
*Perfil estratigráfico de la calicata C-44*



Nota. En la figura 26, el estrato está conformado íntegramente por una "Grava limosa con arena"; presenta un L.L.=20.60, un I.P.=2.40, una humedad natural "Húmeda", un color natural "gris oscuro", una compacidad "Medianamente suelta" boloneria subangulosos, subredondeados con estructura homogénea y no presenta nivel freático.

**Figura 27**

*Perfil estratigráfico de la calicata C-45*



Nota. En la figura 27, el estrato M1 está conformado íntegramente por una "Arena limosa con grava"; presenta un L.L.=26.80, un I.P.=3, una humedad natural "Húmeda", un color natural "Marrón oscuro", una compacidad "Medianamente suelta" estructura homogénea. El estrato M2 está conformado por una "Grava limosa con arena", presenta un L.L.=28, un I.P.=3.3, una humedad natural "Húmeda", un color natural "Marrón oscuro a claro", una compacidad "Medianamente suelta" con estructura homogénea subangulosos, subredondeados y no presenta nivel freático.

**Figura 28**

*Perfil estratigráfico de la calicata C-46*



Nota. En la figura 28, el estrato M1 está conformado íntegramente por Limo arenoso de baja plasticidad con grava, presenta un L.L.=33, un I.P.=5.7, una humedad natural "Húmeda", un color natural, Marrón oscuro a claro, una compacidad Medianamente suelta estructura homogénea. El estrato M2 Está conformado por una Arena limosa con grava; presenta un L.L.=19, un I.P.=4, una humedad natural "Húmeda", un color natural "Marrón oscuro a claro", una compacidad "Medianamente suelta a media" estructura homogénea subangulosos, subredondeados sin nivel freático.

**Figura 29**

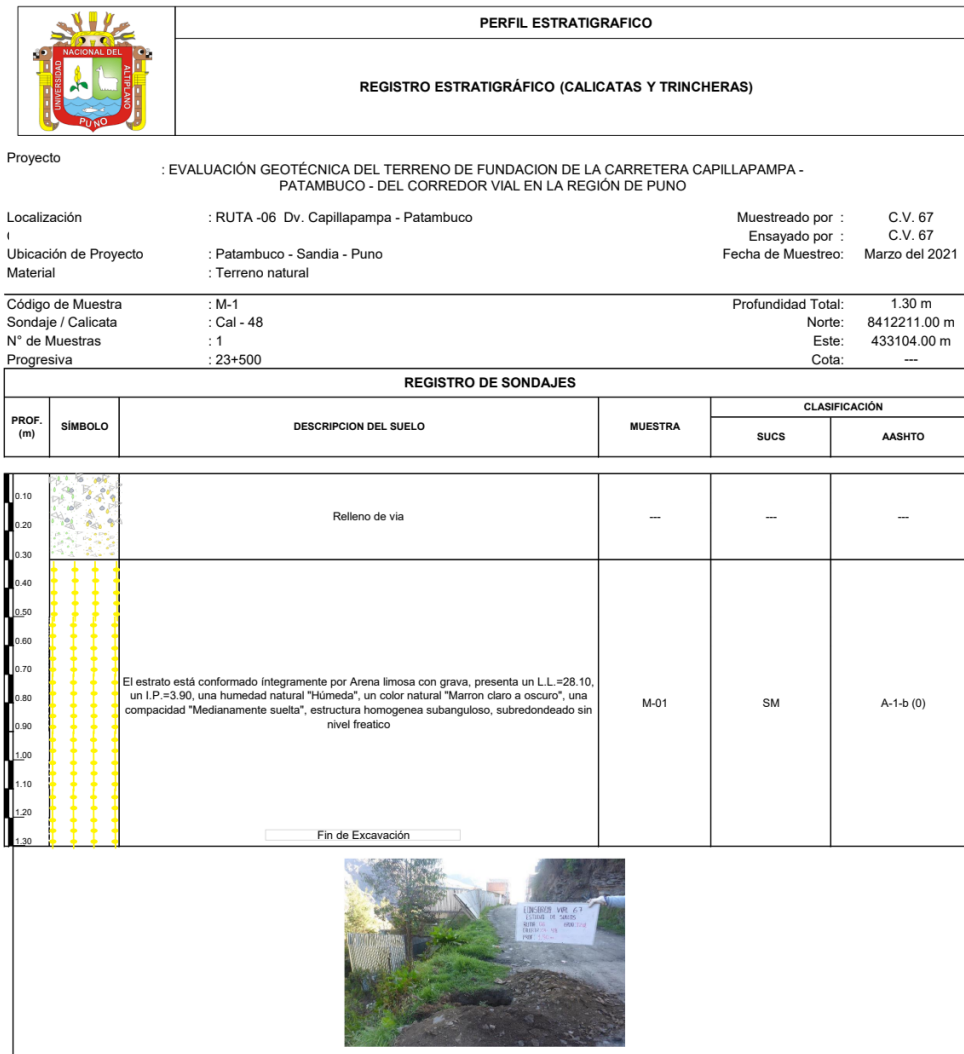
*Perfil estratigráfico de la calicata C-47*



Nota. En la figura 29, está conformado por Grava limosa con arena, presenta un L.L.=19.90, un I.P.=NP, una humedad natural "Húmeda", un color natural "Marrón oscuro a claro", una compacidad "Densa" estructura homogénea, subangulosos, subredondeados sin nivel freático.

**Figura 30**

*Perfil estratigráfico de la calicata C-48*



Nota. En la figura 30, el estrato está conformado íntegramente por Arena limosa con grava, presenta un L.L.=28.10, un I.P.=3.90, una humedad natural "Húmeda", un color natural "Marrón claro a oscuro", una compacidad "Medianamente suelta", estructura homogénea subangulosos, subredondeados sin nivel freático.

**Figura 31**

*Perfil estratigráfico de la calicata C-49*



Nota. En la figura 31, el estrato M1 está conformado íntegramente por Arena limosa con grava, presenta un L.L.=20.30, un I.P.=NP, una humedad natural "Húmeda", un color natural "Marrón", una compacidad "Medianamente suelta" estructura homogénea. El estrato M2 está conformado íntegramente por Grava arcillosa con arena, presenta un L.L.=32.30, un I.P.=10.4, una humedad natural "Húmeda", un color natural "Beige", una compacidad "Medianamente suelta" estructura homogénea, subredondeados, subangulosos sin nivel freático.

#### 5.1.4 Caracterización de suelos

Según la clasificación MTC-2013, las características geotécnicas más esenciales de los suelos de cimentación son:

**Tabla 14**

*Características geotécnicas importantes del suelo*

<b>Clasificación SUCS</b>	<b>Consecuencia a heladas</b>	<b>Contracción</b>	<b>Drenaje</b>	
<b>GM</b>	Leve a medio	Limitado	Aceptable impermeable	a
<b>SM</b>	Leve a alto	Limitado a media	Aceptable impermeable	a
<b>GC</b>	Leve a medio	Limitado	Escaso impermeable	a
<b>GP</b>	Leve a severo	Media	Deficiente	
<b>CL</b>	De moderada a elevada.	Moderado	Impermeable	
<b>ML</b>	De moderada a muy elevada	Ligeramente moderado	Medio deficiente.	a

#### 5.1.5 Evaluación Según su Ensayos de soporte

Las muestras tomadas de cada calicata en el terreno de cimentación a lo largo del tramo ejecutado, se realizaron los ensayos Proctor Modificado y CBR en cada una de ellas, de los cuales algunas calicatas no se realizaron estos ensayos por la litología y el tipo de suelos, los resultados se muestran en la siguiente tabla.



**Tabla 15**

*Resultados de las calicatas del ensayo de soporte*

<b>Calicatas</b>	<b>"Progresivas de campaña (Km)"</b>	<b>SUCS</b>	<b>AASHTO</b>	<b>M.D.S. (gr/cc)</b>	<b>O.C.H (%)</b>	<b>CBR (95%)</b>
<b>C-31</b>	15+000	SM	A-1-b	1.99	8.7	11.20
<b>C-33</b>	16+000	CL	A-4 (1)	1.70	12.80	4.70
<b>C-37</b>	18+000	SM	A-1-b (0)	2,02	8.90	14.60
<b>C-40</b>	19+500	CL-ML	A-4 (2)	1.72	11.70	5.70
<b>C-43</b>	21+000	GP-GC	A-4 (3)	1.71	12.00	5.00
<b>C-46</b>	22+500	ML	A-1-b (0)	2.05	9.5	27.5





**Tabla 16**

*Resumen de los resultados de laboratorio de las calicatas en el tramo ejecutado*

CALICATA	GRANULOMETRÍA			CLASIFICACIÓN						PROCTOR MODIFICADO		C.B.R.					
	PROG.	ESTRATO	PROF.	DISTRIBUCIÓN			LÍMITES DE CONSISTENCIA			H° (%)	SUCS	AASHTO	NOMBRE DEL GRUPO	Dens. Max g/cm <sup>3</sup>	OCH %	(100% M.D.S.) 0.1"	(95% M.D.S.) 0.1"
				% GRAVAS	% ARENAS	% FINOS	L.L.	L.P.	I.P.								
C - 31	15+000	O	0.00-0.20														
		M-01	0.20 - 1.00	45.40	37.10	17.60	20.20	16.70	3.60	19.50%	SM	A-1-b	Arena limosa	1,99	8.70	19.90	11.20
C-32	15+500	O	0.00 - 0.20														
		M-01	0.20 - 0.60	3.90	46.00	50.20	24.10	19.30	4.70	16.80	CL-ML	A-4 (2)	Arcilla arenosa de baja plasticidad			---	
		M-02	0.60 - 1.20	43.90	50.10	6.00	NP	NP	NP	5.50	SP-SM	A-2-4(1)	Arena pobremente gradada con limo y grava			---	
C - 33	16+000	O	0.00-0.20														
		M-01	0.20 - 0.60	2.20	47.40	50.50	16.30	9.30	7.0	18.20%	CL	A-4(1)	Arcilla arenosa de baja plasticidad	1.70	12.80	8.80	4.70
		M-02	0.60 - 1.50	42.50	48.80	8.60	NP	NP	NP	4.20%	SP-SM	A-2-4 (1)	Arena pobremente gradada con limo y grava			---	
C-34	16+500	O	0.00 - 0.20														
		M-01	0.20 - 1.10	50.30	38.40	11.20	32.20	27.60	4.60	8.90	GP-GC	A-1-a (0)	Grava pobremente gradada con arcilla y arena			---	
C - 35	17+000	O	0.00-0.20														
		M-01	0.20 - 1.00	50.60	30.20	19.10	28.20	22.30	5.9	7.50%	GC-GM	A-1-b (0)	Grava limo arcillosa con arena	---		---	---
C - 36	17+500	O	0.00 - 0.20														
		M-01	0.20 - 1.00	50.00	35.50	14.50	21.00	16.00	5.00	4.90	GC-GM	A-1-a (0)	Grava limo acillosa con arena			---	
C - 37	18+000	O	0.00-0.20														
		M-01	0.20 - 1.20	35.10	52.70	12.20	NP	NP	NP	6.90%	SM	A-1-b (0)	Arena limosa con grava	2.02	8.90	21.40	14.60



CALICATA	GRANULOMETRÍA						CLASIFICACIÓN				PROCTOR MODIFICADO		C.B.R.				
	PROG.	ESTRATO	PROF.	DISTRIBUCIÓN			LÍMITES DE CONSISTENCIA			H° (%)	SUCS	AASHTO	NOMBRE DEL GRUPO	Dens. Max g/cm <sup>3</sup>	OCH %	(100% M.D.S.) 0.1"	(95% M.D.S.) 0.1"
				% GRAVAS	% ARENAS	% FINOS	L.L.	L.P.	I.P.								
<b>C - 38</b>	18+500	O	0.00 - 0.20														
		M-01	0.20 - 0.60	7.20	42.00	50.80	37.10	28.40	8.80	17.30	ML	A-4 (3)	Limo arenoso de baja plasticidad			---	
		M-02	0.60 - 1.50	53.60	38.20	8.20	17.30	15.40	2.00	3.70	GP-GM	A-1-a (0)	Grava pobremente con limo y arena			---	
<b>C - 39</b>	19+000	O	0.00-0.30														
		M-01	0.30 - 1.40	44.30	46.40	9.40	NP	NP	NP	9.00%	SP-SM	A-2-4 (1)	Arena pobremente gradada con limo y grava	---		---	---
<b>C - 40</b>	19+500	O	0.00 - 0.20														
		M-01	0.20 - 0.60	26.60	23.00	50.30	23.70	18.10	5.60	12.60	CL-ML	A-4 (2)	Arcilla limo gravoso de baja plasticidad con arena	1.72	11.70	10.40	5.70
		M-02	0.60 - 1.50	40.40	46.00	13.60	NP	NP	NP	9.70	SM	A-1-b (0)	Arena limosa con grava			---	
<b>C - 41</b>	20+000	O	0.00-0.20														
		M-01	0.20 - 0.70	41.80	42.30	15.90	26.20	21.90	4.4	6.50%	SC-SM	A-1-b (0)	Arena lmo arcilla con grava	---		---	---
		M-02	0.70 - 1.50	61.90	25.40	12.70	26.00	21.90	4.1	7.10%	GC-GM	A-1-a (0)	Grava limo arcillosa con arena	---		---	---
<b>C - 42</b>	20+500	O	0.00 - 0.20														
		M-01	0.20 - 0.70	2.80	68.50	28.70	33.00	29.20	3.80	5.80	SM	A-2-4 (0)	Arena limosa			---	
		M-02	0.70 - 1.50	55.30	32.20	12.50	21.40	19.10	2.30	10.60	GM	A-1-b (0)	Grava limosa con arena			---	
<b>C - 43</b>	21+000	O	0.00-0.20														
		M-01	0.20 - 0.90	50.30	38.50	11.20	25.20	20.20	5.0	8.20%	GP-GC	A-1-b (0)	Grava pobremente gradada con arcilla y arena	2.05	7.60	21.20	15.30
<b>C - 44</b>	21+500	O	0.00 - 0.20														



CALICATA	GRANULOMETRÍA					CLASIFICACIÓN				PROCTOR MODIFICADO		C.B.R.						
	PROG.	ESTRATO	PROF.	DISTRIBUCIÓN			LÍMITES DE CONSISTENCIA			H° (%)	SUCS	AASHTO	NOMBRE DEL GRUPO	Dens. Max g/cm <sup>3</sup>	OCH %	(100% M.D.S.) 0.1"	(95% M.D.S.) 0.1"	
				% GRAVAS	% ARENAS	% FINOS	L.L.	L.P.	I.P.									
C - 45	22+000	M-01	0.20 - 1.50	55.50	31.20	13.30	20.60	18.20	2.40	8.80	GM	A-1-b (0)	Grava limosa con arena			---		
		O	0.00-0.20															
		M-01	0.20 - 0.80	38.10	48.10	13.80	26.80	23.80	3.0	5.30%	SM	A-1-b (0)	Arena limosa con grava	---		---	---	
C - 46	22+500	M-02	0.80 - 1.50	57.50	30.50	12.00	28.00	24.70	3.3	8.80%	GM	A-1-a (0)	Grava limosa con arena	---		---	---	
		O	0.00 - 0.20															
		M-01	0.20 - 0.70	15.90	33.00	51.10	33.30	27.60	5.70	12.10	ML	A-4 (3)	Limo arenoso de baja plasticidad con grava	1.71	12.00	8.80	5.00	
C - 47	23+000	M-02	0.70 - 1.50	38.10	44.10	17.80	19.10	15.50	3.60	4.30	SM	A-1-b (0)	Arena limosa con grava			---		
		O	0.00-0.20															
		M-01	0.20 - 1.10	60.30	25.20	14.50	19.90	NP	NP	7.40%	GM	A-1-a (0)	Grava pobremente gradada con arcilla y arena	---		---	---	
C - 48	23+500	O	0.00 - 0.20															
		M-01	0.20 - 1.30	31.50	49.60	19.00	28.10	24.20	3.90	5.40	SM	A-1-b (0)	Arena limosa con grava			---		
C - 49	24+000	O	0.00-0.20															
		M-01	0.20 - 0.70	38.50	47.80	13.70	20.30	NP	NP	4.80%	SM	A-2-6 (0)	Arena limosa con grava	---		---	---	
		M-02	0.70 - 1.50	55.70	29.30	15.00	32.30	21.90	10.4	7.20%	GC	A-2-4 (0)	Grava arcillosa con arena	---		---	---	

## 5.2 PROPIEDADES FÍSICAS MECÁNICA DE LAS CANTERAS

Para elegir la cantera del estudio, se siguieron las especificaciones técnicas del (MTC), y se eligió la cantera nueva Km 12+900 donde proporciona la mejor potencia y rendimiento del material granular. En el estudio se muestran el respectivo cantera nueva Km 12+900 para la formación de bases y subbases granulares. Las pruebas de laboratorio se encuentran en el anexo.

En el area de estudio ha considerado la posibilidad de utilizar canteras como materiales agregados. Estos materiales se han colocado estratégicamente en la zona del estudio y se han determinado sus propiedades geotécnicas. Se utilizaron en la estructura del pavimento de la carretera.

**Tabla 17**

*Uso de la cantera nueva Km 12+900*

Cantera	Ubicación	Método explotación	Usos	Tratamiento
Cantera Nueva	Km 12+900	Mediante excavadora y cargador frontal	Suelo cemento, terraplén.	Zarandeo según lo requerido

**Figura 32**

*El zarandeo de material granular de cantera nueva en la prog. 12+900*





**Ubicación:** Se ubica a 1.79 km del centro poblado de Ticani y situada en el Km 12 + 900 de la ruta de ejecución del proyecto Capillapampa – Patambuco, al lado izquierdo, trocha existente en buen estado de 10 metros de la provincia de Sandía, departamento de Puno.

**Acceso:** Al lado izquierdo, trocha existente en buen estado de 10 metros.

**Descripción del material:** La cantera se compone de arena limo como también de mezclas arena – arcilla con material fino, con partículas sub redondeadas de 4 pulgadas con un índice de plasticidad de 5.1 %. La clasificación en el Sistema Unificado SUCS es SC – SM y A-1-b (0) en clasificación AASHTO.

**Potencia:** Su potencia bruta es de 117,191.49 m<sup>3</sup>, utilizable de 94,925.11 m<sup>3</sup> y desechable 27,012.64 m<sup>3</sup> aproximadamente.

**Rendimiento:** el rendimiento de suelo cemento es de 95% y terraplén de 95 %.

### 5.2.1 Características físicas mecánica de las canteras

Las pruebas se realizaron de acuerdo con las especificaciones técnicas del MTC y las clasificaciones SUCS y AASHTO, donde el tipo de material nos ayuda a determinar los tipos de suelos para la capa de subbase.

**Tabla 18**

*Resultados de las características físico mecánicas de la cantera Km 12+900*

Cantera y sus características	Nueva Km 12+900 + resultados
Malla N°4	67.8
Malla N°10	56.6
Malla N°40	36.5
Malla N°200	25.8



<b>Cantera y sus características</b>	<b>Nueva Km 12+900 + resultados</b>
Limite líquido (%)	17.3
Limite plástico (%)	12.2
Índice de plasticidad (%)	5.1
SUCS	SC-SM
AASHTO	A-1-b (0)
Densidad máxima	2.28
Contenido de humedad	7.7
Abrasión de ángeles	26.56

Según los resultados obtenidos las características técnicas, el porcentaje y el índice de plasticidad corresponden a las características técnicas de los materiales a granular de suelo tipo A, la clasificación SUCS para suelos limo, arena arcillosa con grava SC-SM, AASHTO pertenece al grupo A -1, que se aplica en particular del subgrupo A - 1-b (0) - según los resultados de las pruebas de laboratorio que dieron como resultado un tipo de suelo granular, dando como resultado una mezcla arena, limo y gravas.

### **5.2.2 Evaluación de las canteras para el diseño para sub base**

La capa subbase se coloca directamente sobre la subrasante y tiene como función distribuir los esfuerzos verticales que se transmiten a través de las capas superiores, como la base y la carpeta asfáltica. La elección de materiales para esta capa se basa en cumplir con los requisitos establecidos en las especificaciones técnicas del MTC.

A partir de ensayos de laboratorio de mecánica de suelos, que se determinaron las propiedades físicas del suelo, se diseñó la subbase utilizando material de la cantera ubicada en el km 12+900. Este material cumple con las especificaciones técnicas y se encuentra dentro de la franja granulométrica según las normas. Se ha

optimizado el diseño en términos de densidad máxima y contenido óptimo de humedad, lo que lo hace adecuado para la conformación de la subbase en el tramo comprendido entre los kilómetros 15+000 al 25+730.

El material extraído de la cantera ubicada en el Km 12+900 es adecuado para su uso en la conformación de la subbase granular, ya que cuenta con las características geotécnicas necesarias para cumplir con los requerimientos técnicos.

**Tabla 19**

*Materiales para sub base*

<b>Cantera</b>	<b>Limite liquido</b>	<b>Índice plasticidad</b>	<b>Retiene malla N° 4</b>	<b>Pasa malla N° 200</b>	<b>SUCS</b>	<b>AASHTO</b>
<b>Km 12+900</b>	17.35	5.1	32.05	25.88	SC - SM	A-1-b (0)

Se realizaron los ensayos de Proctor modificado, C.B.R., abrasión Los Ángeles y equivalente de arena, obteniéndose los siguientes resultados.

**Tabla 20**

*Pruebas de Proctor modificado, C.B.R., abrasión Los Ángeles y equivalente de arena.*

<b>Cantera</b>	<b>Km 12+900</b>
Densidad Máxima Seca (gr/cc)	2.28
Contenido Optimo de Agua (%)	6.67
C.B.R. al 100% de la DMS (%)	68.6
C.B.R. al 95% de la DMS (%)	45.1
Abrasión Los Ángeles (%)	26.59



### 5.3 DISCUSIONES

El objetivo principal de este estudio es evaluar las características geotécnicas del terreno de fundación de la carretera Capillapampa – Patambuco, que abarca desde del tramo de Km 15+000 al 25+730. Para ello, se realizaron muestreo de agregado finos y gruesos de la cantera nueva Km 12+900. Además, se tomaron muestras del terreno de fundación, el cual fue dividido en 19 tramos que van desde el Km 15+000 hasta el Km 25+730. En total, se excavaron 19 calicatas y se llevaron a cabo los ensayos correspondientes para clasificar los suelos y determinar su CBR, con el fin de evaluar la capacidad de soporte del terreno y su idoneidad para la construcción de la carretera.

Según los resultados de nuestro estudio, en la Calicata-31 se identificó un suelo SM de color marrón natural, con una compactidad densa y una cementación moderada. En la Calicata-32, la muestra M1 reveló un suelo CL-ML de color marrón, mientras que en la muestra M2 se halló un suelo SP-SM de color marrón oscuro. En la Calicata-33 (M-01), se observó un suelo CL de color negro oscuro con una compactidad medianamente suelta, y en la M-02 se identificó un suelo SP-SM marrón con material redondeado y subredondeado. En la Calicata-34 se encontró un suelo GP-GC de color marrón con compactación densa, mientras que en la Calicata-35, el suelo GC-GM mostró una estructura homogénea. En la Calicata-36, se identificó un suelo GC-GM de color negro, con una compactidad medianamente suelta y fragmentos angulosos y subredondeados. En la Calicata-37 se observó un suelo SM de color marrón oscuro con una estructura homogénea.

En la Calicata-38 (M1), se encontró un suelo ML de color gris oscuro, y en la muestra M2, un suelo GP-GM de color gris marrón con gravas subredondeadas y subangulosas. La Calicata-39 mostró un suelo SP-SM de color gris oscuro, con gravas subredondeadas y subangulosas, mientras que en la Calicata-40 (M1), se identificó un suelo CL-ML de color





gris y compacidad medianamente suelta. En la M2 de la misma calicata, se encontró un suelo SM marrón con materiales subredondeados y subangulosos.

En la Calicata-41 (M1), se identificó un suelo SC-SM de color marrón gris, con una compacidad densa y gravas subangulosas y subredondeadas, mientras que en la muestra M2 se observó un suelo GC-GM marrón. En la Calicata-42 (M1), se halló un suelo SM de color marrón oscuro y homogéneo, y en la M2, se identificó un suelo GM del mismo color. En la Calicata-43, se encontró un suelo GP-GC de color marrón oscuro con compacidad medianamente suelta, mientras que en la Calicata-44, el suelo GM era de color gris oscuro con bolonería de fragmentos subangulosos y subredondeados.

La Calicata-45 (M1) reveló un suelo SM de color marrón oscuro, y en la M2, se identificó un suelo GM de color marrón oscuro a claro, con una estructura homogénea y fragmentos subangulosos y subredondeados. En la Calicata-46 (M1), se halló un suelo ML de color marrón oscuro a claro, y en la M2, se encontró un suelo SM con una estructura homogénea de color marrón oscuro a claro y materiales subredondeados. En la Calicata-47, se identificó un suelo GM de color marrón gris a claro, con materiales subangulosos. La Calicata-48 mostró un suelo SM de color marrón claro a oscuro, con material homogéneo y subredondeado. Finalmente, en la Calicata-49 (M1), se identificó un suelo SM de color marrón natural con material homogéneo, y en la M2, un suelo GC de color beige con materiales subredondeados.

De acuerdo con nuestro estudio, en la cantera del Km 12+900 se encontró que el porcentaje de arena, limo y gravas alcanza un máximo de 25.8%, cumpliendo con las gradaciones A, B, C y D del Manual de Carreteras para la construcción de la Capillapampa – Patambuco. El índice de plasticidad es de 5.1%, lo que cumple con los requisitos para material de base, ya que el límite máximo no debe superar 9%, pero no cumple con los



requisitos para la subbase, ya que el valor permitido es 4%. El CBR de la cantera es de 45%, lo que indica que es apto para base granular. Además, el porcentaje de desgaste de los ángeles es del 26.56%, cumpliendo con los límites para base y subbase, que no deben superar el 40% y 50%, respectivamente.



## VI. CONCLUSIONES

- Las características físicas y mecánicas del terreno de fundación comprendido del tramo Km 15+000 al 25+730, en su mayoría, corresponden a suelos tipo gravas y arenas con una mezcla de arcilla y limos. En la clasificación AASHTO, los suelos se distribuyen entre las clases A-1-a (0), A-1-b (0) y A-2-4 (1), estos suelos presentan una granulometría y valores de índices de plasticidad que resultan adecuados para cumplir con la función de terreno de fundación para la carretera Capillapampa - Patambuco. Además, el valor promedio del CBR (índice de capacidad de soporte) de estas muestras es del 11.45%, lo que clasifica a este tipo de suelo como apto para ser utilizado como subrasante.
- Las propiedades físicas y mecánicas de la cantera del Km 12+900 indican que está compuesta por una mezcla arena, limo y gravas, con un porcentaje del 25.8%. y AASHTO A-1-b (0). Este material presenta un índice plástico de 5.1%, un índice de desgaste por abrasión del 26.56% y un valor de CBR de 45%, las pruebas realizadas demuestran que el material cumple con las rigurosas especificaciones técnicas necesarias para la formación del terreno de fundación.



## VII. RECOMENDACIONES

- Llevar a cabo análisis detallados y constantes de los suelos con el objetivo de maximizar el rendimiento de estos materiales, asegurando un desarrollo eficiente y sostenible en las obras.
- Se sugiere que se debe invertir en estudios más detallados para optimizar el uso del suelo y mejorar la seguridad y durabilidad de las construcciones. Abordar esta problemática con rigor permitirá maximizar los recursos y garantizar proyectos más eficientes y sostenibles en el futuro.
- Proceder con la utilización de este material, maximizando su potencial en proyectos de construcción, lo que no solo garantizará la calidad de las obras, sino que también contribuirá a la sostenibilidad y eficiencia en el desarrollo de infraestructuras.
- Realizar un estudio detallado de las propiedades físico mecánicas de las canteras para optimizar el uso adecuado.
- Se recomienda eliminar los suelos en la clasificación SUCS (ML,CL) reemplazar por un material estudiado y aceptable según las especificaciones técnicas.



## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acurio, J. (2017). *Ingeniería de Pavimentos*. Lima: ICG.
- Arangurí, G. (2015). La importancia del uso de agregados provenientes de canteras de calidad. *In Crescendo Ingeniería*, 2(2).
- Atencio, L. (2019). *valuación Geotécnica de la carretera Calacota - santa rosa de Huayllata tramo 6+000 al 14+000, distrito de Ilave - el Collao - Puno*. Universidad Nacional del Altilano.
- Bañón, L., & Beviá, J. (2000). *Manual de carretera*. Ortiz e Hijos.
- Bedoya, L., & Ocampo, M. (2016). *nálisis para el mejoramiento de la resistencia de la sub-base granular al ser mezclada con materiales no biodegradables*. Universidad Libre Seccional Pereira.
- Blas, F. (2013). *Influencia de la Temperatura Ambiental en la Resistencia de la Sub- Base y Base Granular de Pavimentos en el Distrito de Tambo*. Universidad Nacional del Centro de Peru.
- Botía, W. (2015). *anual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de cálculo*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C.
- Bowles, J. E. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*. (Vol. 91). In Foreign Affairs.
- BRAJA, D. M. (2001). *FUNDAMENTOS DE LA INGENIERIA DE GEOTECNIA*. California Estate Sacramento.
- Calla, J. (2012). *Geotecnia I*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Castelán, E. (2008). *Manual de carreteras*. Obtenido de <https://n9.cl/zirbg>



- Cruz, E., & Carranza, D. (2019). *Técnicas para el mejoramiento de base y sub-base en pavimentos: una revisión sobre las técnicas empleadas*. Universidad privada del Norte. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/27449>
- Hoyos, F. (2012). *Geotecnia diccionario básico*. Fabián Hoyos Patiño.
- Juárez, E., & Rico, A. (2005). *Mecánica de suelos I*. (Limosa, Ed.) Fundamentos de la mecánica de suelos Tomo 1.
- Kari, M., & Olortegui, J. (2019). *Propuesta de diseño de pavimento flexible reforzado con Geomalla en la interfaz subrasante - subbase utilizando la metodología Giroud – Han , para mejorar el tramo de la carretera ( vía )*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/626363>
- Marón, A. (2015). *Evaluación Geológica Y Geotécnica De La Carretera Llache – Cala - Progresivas 00+00 Al 17+640 – Pedro Vilcapaza – San Antonio De Putina*. Universidad Nacional del Altiplano-Puno.
- Mata, M. (2010). *Guia para la conformacion de Bases y Subbases Para Carreteras*. Universidad de el Salvador.
- Molina, G., & Amariles, C. (2015). *Determinación de los parámetros mecánicos en afirmados estabilizados con cemento para uso en cimentaciones, extraídos de la cantera de Combia en la ciudad de Pereira, Risaralda*. [. Universidad Libre Seccional Pereira, Colombia.
- Monsalve, L., Vasquez, L., & Maya, J. (2012). *Diseño de Pavimento Flexible y Rígido*. In *Facultad de Ciencias y Tecnología*.
- MTC. (2014). *Manual de carreteras: Suelos, Geología, geotecnia y pavimentos- Sección suelos y pavimentos*.



- MTC. (2016). *Manual de ensayo de materiales*.
- MTC. (2018). *Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial*.
- Ortiz, M. L. (2017). *Instructivo del proceso constructivo de una vía en pavimento flexible*.
- Pastor, C. (2013). *Evaluación de canteras para realizar la construcción de trocha carrozable a nivel de afirmado Campo Alegre - Peña Blanca, Distrito de Namora, Provincia De Cajamarca*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Pomacosi, L. W. (2017). *Evaluación geotécnica de la carretera emp. 3s (puno) – Vilque – Mañazo – emp. 34a (Huataquita)*. Obtenido de Universidad Nacional del Altiplano: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4192>
- Puente, B. (2019). *Estudio geológico geotécnico para el mejoramiento de la carretera calca- Machacancha-Quellopuyto tramo km 00+000 al 3+500*. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalurgia escuela profesional de Ingeniería Geológica.
- Ramírez, T. V., & Hincapié, O. J. (2018). *Evaluación CBR de sub-base granular mezclada con tereftalato de polietileno (PET); para Evaluación CBR de sub-base granular mezclada con tereftalato de polietileno (PET); para uso en vías terciarias*. Obtenido de Tesis pregrado - Universidad Libre de Pereira - Programa de Ingeniería Civil.
- Ramos, B., & Torres, J. (2012). *Mejoramiento del material afirmado de las canteras adyacentes para el terraplén de la carretera Urca y Ccochaccasa*. Universidad Nacional de Huancavelica.
- Toapanta, D. (2017). *Diseño de explotación de la cantera “La Yunguilla”, ubicada en la parroquia Urbina, cantón Santiago de Píllaro, provincia de Tungurahua*. Universidad Central del Ecuador]. .



Urcia, P. (2014). *Análisis de mezclas de materiales de la cantera de Pinos y Tajo La Quinua para su uso en las vías de Minera Yanacocha*. Universidad Nacional de Cajamarca.





## ANEXOS

PLANO DE UBICACIÓN

PLANO GEOLOGICO

PLANO HIDROGEOLÓGICO

PERFIL ESTRATIGRÁFICO

ENSAYOS DE LABORATORIO



## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo JOEL HAMANI GARCIA  
identificado con DNI 46279693 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA GEOLÓGICA

, informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado  
 Título Profesional denominado:

"EVALUACIÓN GEOTECNICA DEL TERRENO DE FUNDACIÓN DE LA CARRETERA  
CAPILAPAMPA-PATAJAMBUCO-DEL CORREDOR VIAL EN LA REGIÓN DE PUNO

" Es un tema original.


Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 29 de NOVIEMBRE del 20 24

  
FIRMA (obligatoria)



Huella



## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo JOEL MAMANI GARCIA  
identificado con DNI 46299693 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
INGENIERIA GEOLÓGICA

, informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado

Título Profesional denominado:

"EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO DE FUNDACION DE LA CARRETERA CAPILLAPANPA - PATAMBUCO - DEL CORREDOR VIAL EN LA REGION DE PUNO"

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.


En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 29 de NOVIEMBRE del 2024

  
FIRMA (obligatoria)



Huella