



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA



**EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO DE FUNDACIÓN
PARA EL MEJORAMIENTO DE CARRETERA PU N° - 110 Dv.
ASIRUNI - ROSASPATA, PROVINCIA DE HUANCANÉ - PUNO
TRAMO (00+000 A 20+100)**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. JHORDAN OMAR AÑACATA PACCARA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2023



NOMBRE DEL TRABAJO

EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO DE FUNDACIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DE CARRETERA PU N° - 110 Dv. ASI

AUTOR

JHORDAN OMAR AÑACATA PACCARA

RECUENTO DE PALABRAS

24861 Words

RECUENTO DE CARACTERES

131981 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

126 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

1.2MB

FECHA DE ENTREGA

May 23, 2023 8:40 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

May 23, 2023 8:41 PM GMT-5

● 14% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 14% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)



Firmado digitalmente por
BENAVENTE FERNANDEZ Sofia
Lourdes FAU 20145496170 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 26.05.2023 16:23:51 -05:00



Firmado digitalmente por MACHACA
CONDORI Hector Raul FAU
20145496170 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 23.05.2023 21:34:03 -05:00



DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido lograr cumplir esta meta tan esperada en mi vida profesional, que con mucho esfuerzo y trabajo me ha permitido lograr.

A mis padres Agustín R. Añacata y Flora Paccara, por el apoyo brindado incondicional para llegar a mis objetivos, y por haber confiado en mí para lograr culminar esta etapa de mi vida.

A mi hermano Brandon, por la motivación recibida, a mi novia por el apoyo recibido para culminar esta tesis, son personas que me han ayudado para lograr una de mis metas y seguir adelante.

Jhordan Omar



AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios, tu infinito amor incondicional y tu bondad no tienen fin, me permites seguir con mis metas y me ayudas siempre con mis logros son resultado de tu ayuda. Agradezco siempre que estés en mi vida diaria acompañándome en cada etapa y logro importante de mi vida.

A mi alma mater que me ha acogido durante 5 años de vida y formación académica obteniendo así experiencias maravillosas e inolvidables, Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

Al D.Sc. Héctor Raúl Machaca Condori, quien fue mi guía y asesor de tesis me ha orientado, apoyado y corregido en la ejecución y culminación del presente trabajo de investigación.

A mis padres, hermanos y familiares que siempre han estado allí para apoyarme, alentarme y darme ánimo, depositando confianza en mí.

Jhordan Omar



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA	17
1.2.1 Problema general.....	17
1.2.2 Problemas específicos	17
1.3 JUSTIFICACION	18
1.4 HIPÓTESIS	19
1.4.1 Hipótesis general	19
1.4.2 Hipótesis específica.....	19
1.5 OBJETIVOS.....	19
1.5.1 Objetivo general	19
1.5.2 Objetivos específicos	19
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1 ANTECEDENTES	21



2.2	MARCO TEÓRICO	29
2.2.1	Geomorfología regional	29
2.2.1.1	Cordillera Occidental	29
2.2.1.2	Altiplano.....	30
2.2.1.3	Cordillera Oriental	31
2.2.2	Estratigrafía regional	31
2.2.2.1	Sistema cretáceo.....	32
2.2.2.2	Sistema paleógeno.....	35
2.2.2.3	Sistema cuaternario	36
2.2.3	Geología estructural	37
2.2.4	Hidrología	37
2.3	ESTUDIO GEOTÉCNICO	38
2.3.1	Estudio de mecánica de suelos	38
2.3.1.1	Ensayos de laboratorio	39
2.3.1.2	Sistema de clasificación unificada de los suelos (SUCS).....	53
2.3.1.3	Clasificación de la asociación americana de oficiales de carreteras estatales y transportes (AASHTO)	57
2.4	ESTUDIO GEOTECNICO DE CANTERAS.....	60
2.4.1.1	Ensayos para terraplenes:.....	60
2.4.1.2	Ensayo abrasión los ángeles.....	63
2.4.1.3	Muestreo de canteras.....	67
2.4.1.4	Explotación de canteras	67
2.4.1.5	Tipos de canteras.....	67
2.4.1.6	Designación de la calidad de rocas (RQD)	68
2.5	MARCO CONCEPTUAL	73



2.5.1	Roca.....	76
2.5.2	Suelo.....	76
2.5.3	Terraplén	77
2.5.4	Terreno de fundación	77

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	DISEÑO METODOLÓGICO.....	78
3.1.1	Tipo de investigación	78
3.2	REVISIÓN, RECOPIACIÓN Y ELABORACIÓN DE INFORME	78
3.3	POBLACION Y MUESTRA.....	78
3.3.1	Población.....	78
3.3.2	Muestra.....	79
3.4	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	79
3.4.1	Variable independiente.....	79
3.4.2	Variable dependiente.....	79
3.4.3	Operación de variables	79
3.5	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	80
3.5.1	Etapa de campo	80
3.5.2	Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos.....	81
3.5.3	Trabajos de gabinete	84
3.5.4	Descripción final	85
3.6	MATERIALES, INSTRUMENTOS Y EQUIPOS.	85

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1	UBICACIÓN	88
------------	------------------------	-----------



4.2	ACCESIBILIDAD	90
4.3	CLIMA E HIDROLOGIA	90
4.3.1	Clima	90
4.3.2	Hidrología	91
4.4	GEOLOGIA LOCAL	91
4.4.1	Trazo actual de la carretera	91
4.4.2	Unidades geomorfológicas locales.....	91
4.4.2.1	Sistemas Montañosos.....	92
	Colinas Altas (C-a).....	92
4.4.2.2	Sistema Glacial	93
4.4.2.3	Sistema Fluvial.....	93
4.4.2.4	Sistema Antrópico.....	94
4.4.3	Litoestratigrafía local	95
4.4.3.1	Era-Mesozoico	95
4.4.3.2	Era –Cenozoico	96
4.5	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	97
4.6	SISMICIDAD	97
4.6.1	Sismicidad histórica	97
4.6.2	Zonificación Sísmica Según RNE.....	98

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1	CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DEL TERRENO DE FUNDACION	100
5.1.1	Conformación de suelos	100
5.1.2	Clasificación de suelos	101



5.1.2.1	Perfil estratigráfico.....	103
5.1.3	Características Geotécnicas.....	104
5.1.4	Ensayos de soporte.....	105
5.1.5	Clasificación geo-mecánica de roca.....	108
5.1.6	Mejoramiento y pedraplenado.....	109
5.1.6.1	Características del Material de Afirmado	110
5.1.6.2	Ensayos de soporte.....	111
5.1.6.3	Capacidad de carga en Puentes, Pontones y alcantarillas	111
5.2	ESTUDIO DE CANTERAS	113
5.2.1	Canteras de materiales.....	113
5.2.2	Resultados del estudio.....	114
5.2.3	Materiales para Sub-base y Base.....	115
5.2.4	Ensayos de soporte.....	117
5.2.5	Canteras de roca	118
5.2.6	Requerimientos de calidad para canteras	118
5.3	FUENTES DE AGUA	119
VI.	CONCLUSIONES.....	120
VII.	RECOMENDACIONES.....	121
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	122
ANEXOS.....		124

Área: Ingeniería Geotécnica

Tema: Geología y Geotecnia de Carreteras

Fecha de sustentación: 31/05/2023



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Parámetros característicos de la lluvia.....	37
Tabla 2. Normas estándar, especificaciones. (ASTM, AASHTO y MTC).....	40
Tabla 3. Tamaño de las partículas. en suelos más comunes.	42
Tabla 4. Método modificado para determinar la relación humedad – densidad de los suelos.....	47
Tabla 5. Valores de carga unitario CBR.	50
Tabla 6. Clasificación de los suelos para infraestructura de pavimentos.....	51
Tabla 7. Especificaciones para el ensayo de abrasión para rocas.	52
Tabla 8. Tipo de suelos y símbolos.....	54
Tabla 9. Sistema de clasificación SUCS.....	56
Tabla 10. Clasificación de suelos AASHTO.	59
Tabla 11. Especificaciones geotécnicas.	60
Tabla 12. Determinación de pesos específicos y absorción (MTC E-206).....	62
Tabla 13. Resistencia al desgaste abrasión los ángeles (MTC E-206).....	64
Tabla 14. Especificaciones generales para la construcción de carreteras.	64
Tabla 15. Franjas granulométricas.	66
Tabla 16. Relación entre el valor del RQD y la calidad de la roca.	68
Tabla 17. Diferencia de valores entre RMR76 y RMR89.....	72
Tabla 18. Parámetros y rango de valores para la clasificación geomecánica RMR89. 73	
Tabla 19. Clasificación del suelo según su C.B.R.	77
Tabla 20. Operación de variables.....	80
Tabla 21. Requerimientos Granulométricos para Sub-base y Base Granular (MTC.ASTM D 1241).	83



Tabla 22. Requisitos de calidad para base y sub-base.	84
Tabla 23. Accesibilidad.....	90
Tabla 24. Parámetros de riesgo por factor de amplificación de suelos.....	98
Tabla 25. Parámetros de riesgo por periodo que define la plataforma del espectro	99
Tabla 26. De acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones se tiene las siguientes clasificaciones	99
Tabla 27. Especificaciones geotécnicas	100
Tabla 28. Clasificación de suelos del terreno de fundación de la carretera dv. Asiruni - Rosaspata	102
Tabla 29. Requerimientos Granulométricos para Sub-base y Base Granular (MTC.ASTM D 1241).	103
Tabla 30. Resultados de calidad del macizo rocoso.....	109
Tabla 31. Características del material de afirmado.....	111
Tabla 32. Ensayo de soporte	111
Tabla 33. Ensayos de corte directo para pontones	112
Tabla 34. Ensayo de corte directo para alcantarillas.....	112
Tabla 35. Tabla de canteras.....	113
Tabla 36. Características geotécnicas de los materiales de las canteras	114
Tabla 37. Materiales para sub base y base.	116
Tabla 38. Ensayos de proctor modificado, C.B.R., abrasión los ángeles y equivalente de arena.	116
Tabla 39. Diseño de mezclas.....	117
Tabla 40. Ensayos de Proctor modificado, C.B.R., Abrasión Los Ángeles y Equivalente de arena.	117
Tabla 41. Calidad de macizos rocosos en relación de índice RMR.....	118



Tabla 42. Resistencia a la Abrasión de Roca	118
Tabla 43. Requerimientos de calidad de los materiales de préstamo.....	119



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Carta de plasticidad de Casagrande.	55
Figura 2. RQD.	69
Figura 3. Mapa de ubicación	89
Figura 4. Zona de contacto del Grupo Moho y la formación Huancané	96
Figura 5. Zona sísmica	98
Figura 6. Perfil estratigráfico de las progresivas Km 0+000 – Km 20+100.	104



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

SIGLAS

MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicación
SUCS	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
AASTHO	: American Association of State Highway and Transportation

UNIDADES DE MEDIDA

Km	: Kilometro
m	: Metro
m.s.n.m.	: Metros Sobre el Nivel del Mar
T°	: Temperatura
(%)	: Porcentaje

ABREVIATURA GEOLÓGICA

Ki-hua	: Formación Huancané
Kis-m	: Grupo Moho
Ks-vi	: Formación Vilquechico
PN-t	: Grupo Tacaza
Qh-al	: Depósito Aluvial
M	: Montañas
C-a	: Colinas altas
C-m	: Colinas medias
C-b	: Colinas bajas
V-U	: Valles en U
LL-al	: Llanura aluvial
Bof	: Bofedal



Vi	: Vivienda
V-ac	: Vías de acceso
Dv	: Desvío

ABREVIATURA GEOMECÁNICAS

IP	: Índice de Plasticidad
LL	: limite líquido
LP	: limite plástico
G	: Grava
S	: Arena
M	: Limo
C	: Arcilla
O	: Orgánico
W	: Bien Graduado
P	: Pobrementemente Graduado
H	: Alta Plasticidad
L	: Baja Plasticidad
SM	: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
SC	: Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.
CL	: Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.
ML	: Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.
GM	: Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.
GC	: Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.
GW	: Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin



finos.

- GP : Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.
- A-2-4 : Grava y arena arcillosa o limosa
- A-4 : Suelos limosos
- A-1 : Canto, Grava y Arena
- A-2-6 : Grava y Arena Limoarcillosas
- A-4 : Limoso
- A-4 : Limoso
- A-4 : Limoso
- A1-b : Canto, Grava y Arena
- A1-a : Cantos, Grava y Arena
- A-4 : Limoso
- A-4 : Limoso
- A-6 : Arcilloso
- A-6 : Arcilloso
- A-6 : Arcilloso
- A-4 : Limoso
- A-7-6 : Arcilloso
- GPS : Sistema de posicionamiento global.
- SENAMHI : Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.



RESUMEN

El actual trabajo de investigación se realizó a lo largo del eje de la vía que pasa por los distritos de Vilquechico y Rosaspata, en la provincia de Huancané del departamento de Puno, tiene como propósito evaluar las características geotécnicas que tiene el terreno de fundación para el mejoramiento de carretera PU N° -110 Dv. Asiruni – Rosaspata, provincia de Huancané – Puno. tramo (00+000 a 20+100). La metodología en este trabajo de investigación es analítica - descriptiva y evaluativa, realizada mediante la recopilación de datos de campo para su análisis y evaluación; Se establece el grado de relación directa entre sus variables y los resultados, por lo que se analiza resultados para evaluarlos y explicarlos. Se efectuaron 62 calicatas, ubicadas de forma apropiada, de acuerdo a las características del suelo a una profundidad de 1.5m. Los trabajos de campo se orientaron a explorar el subsuelo mediante la ejecución de calicatas, distribuidas estratégicamente a lo largo de la vía. Se complementó la exploración del cual se obtuvieron materiales del suelo fundación y cantera. Para cada etapa de exploración, se obtuvieron distintas muestras, las mismas que fueron remitidas al laboratorio especializado y así determinar las características físicas y mecánicas de los suelos obtenidos del muestreo, las que servirán de base para los procesos constructivos de la carretera. Se concluye determinando las siguientes características físico-mecánicas del terreno de fundación, en el cual presentan suelos: arcillas arenosas, gravas arcillosas, gravas limosas, limos arcillosos, arenas arcillosas, arenas limosas, en la clasificación SUCS como: SM, SC, CL, ML, GM, GC y en la clasificación AASHTO como: A-2-4(0), A-4(1), A-1(b), A-2-6(0), A-4(0), A-4(4), A-4(8), A1-b(0), A1-a(0), A-4(3), A-4(6), A-6(8), A-6(9), A-6(7), A-4(5), A-7-6(19), con un LL de 16.35% a 42.92% y LP de 1.3% a 22.42%. también Se determino las siguientes propiedades físico-mecánicas de los materiales de cantera como: cantera km 6+700 clasificación SUCS de GC y AASHTO A1-a (0) relleno para la sub-rasante. Cantera km 16+600 clasificación SUCS de GP – GM y AASHTO A1-a (0u) para sub-base granular, cantera ventilla (Rosaspata ruta Tiquitiqui) clasificación SUCS de GC y AASHTO A1-a(0) relleno para la sub-rasante, cantera rio guitarrane clasificación SUCS de GW y AASHTO A1-a(0) para concreto y relleno para la sub-rasante.

Palabras clave: Calicata, Carretera, Geotecnia, Rehabilitación, Terreno de Fundación.



ABSTRACT

The present research work was carried out along the axis of the road that passes through the districts of Vilquechico and Rosaspata, in the province of Huancané in the department of Puno, its purpose is to evaluate the geotechnical characteristics of the foundation ground for the improvement of highway PU N° -110 Dv. Asiruni – Rosaspata, province of Huancané – Puno. range (00+000 to 20+100). The methodology in this research work is analytical - descriptive and evaluative, carried out by collecting field data for analysis and evaluation; The degree of direct relationship between its variables and the results is established, so results are analyzed to evaluate and explain them. 62 pits were made, located appropriately, according to the characteristics of the soil at a depth of 1.5m. The field work was oriented to explore the subsoil through the execution of test pits, strategically distributed along the road. The exploration of which materials from the foundation and quarry soil were obtained was complemented. For each exploration stage, different samples were obtained, the same ones that were sent to the specialized laboratory and thus determine the physical and mechanical characteristics of the soils obtained from the sampling, which will serve as the basis for the construction processes of the highway. It is concluded by determining the following physical-mechanical characteristics of the foundation ground, in which there are soils: sandy clays, clayey gravels, silty gravels, clayey silts, clayey sands, silty sands, in the SUCS classification as: SM, SC, CL, ML, GM, GC and in the AASHTO classification as: A-2-4(0), A-4(1), A-1(b), A-2-6(0), A-4(0), A-4(4), A-4(8), A1-b(0), A1-a(0), A-4(3), A-4(6), A-6(8), A-6(9), A-6(7), A-4(5), A-7-6(19), with an LL from 16.35% to 42.92% and LP from 1.3% to 22.42%. The following physical-mechanical properties of the quarry materials were also determined as: quarry km 6+700 SUCS classification of GC and AASHTO A1-a (0) fill for the subgrade. Quarry km 16+600 SUCS classification of GP – GM and AASHTO A1-a (0u) for granular sub-base, ventilla quarry (Rosaspata route Tiquitiqui) SUCS classification of GC and AASHTO A1-a(0) fill for subgrade, guitarrane river quarry, SUCS classification of GW and AASHTO A1-a(0) for concrete and fill for the subgrade..

Keywords: Test pit, Foundation Land, Rehabilitation, Highway, Geotechnics.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las carreteras son elementos clave para el desarrollo socio-económico del territorio en cualquier país, eso incrementa la competitividad y ayuda a la economía al satisfacer las necesidades básicas de los pueblos y las comunidades lugares lejanos de cada región. Además, ayuda a fortalecer los procesos de producción, distribución, la comercialización en general, haciéndolos más competitivos.

Es muy importante la realización de estudios geotécnicos, identificación y evaluación del terreno de fundación, propiedades, la hidrología, incidencia del terreno natural y las condiciones de drenaje, que nos permitan determinar los parámetros adecuados para el diseño de la vía PU N°110 Dv. ASIRUNI – ROSASPATA.

Se refiere a las investigaciones efectuadas en el sub-suelo del terreno destinado para la construcción del proyecto en mención. El estudio ha sido programado y desarrollado teniendo en cuenta los objetivos básicos requeridos para el diseño de la estructura del pavimento y su construcción en óptimas condiciones.

Específicamente el estudio comprende desde el tramo inicial en el lugar denominado Desvío Asiruni (Vilquechico) – hasta la localidad de Rosaspata, pasando por los siguientes lugares Compuerta, Sicta, Corpa pampa, Desvío a Choquelihue, Challapa, Carcahuayo, para finalmente llegar a Rosaspata. Teniendo una longitud total de 20.100 km, actualmente el tramo se encuentra como carretera con afirmado. El informe se ha realizado en conformidad a las Normas Peruanas de Carreteras y el MTC.

Para lo cual se ha efectuado el reconocimiento respectivo y evaluación de las condiciones actuales de la vía existente, el sondeo geotécnico y estudio de mecánica de suelos en diferentes puntos de la ruta, mediante la ejecución de calicatas, también el



muestreo de suelos del terreno de fundación para realizar los correspondientes ensayos de laboratorio. Así como la ubicación de canteras de materiales y su estudio para su aplicación apropiada en la conformación de la estructura del pavimento.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La demanda de vías transporte en el sector rural de nuestra región, limita un desarrollo esencial debido al mal estado de las vías de comunicación, situación que impide un intercambio sobre todo comercial, económico, social y cultural entre los sectores rural y la población urbana, las vías vecinales son los ejes del desarrollo.

Es importante considerar los estudios antecesores de geotecnias y geológicos para realizar otras obras de obras de ingeniería, utilizando métodos indirectos y directos para establecer nuevos y actualizados modelos geológicos y geotécnicos que se apliquen en cada etapa del proceso de construcción de una carretera.

El presente estudio de investigación presenta insuficiencias en el contenido de los procedimientos que se aplica en la actualidad, ya que no son diferenciados geotécnicamente y por lo cual los estudios de suelos de fundación y terraplenes pueden tener soluciones incorrectas como gastos excesivos descuidando la seguridad vial durante el trabajo.

La poca información referida a canteras, la zona de estudio cuenta con poco material que si cumple con los requerimientos geomecánicas y físicas. La cantera al ser estudiado de acuerdo con los parámetros de suelos y rocas, pueden dar una mejor solución a los problemas que puedan presentarse y así de esa forma también poder prevenir posteriores inconvenientes durante la ejecución de este proyecto.



La importancia de estudiar las características geotécnicas de un determinado tramo de carretera radica en la mejora de vida de las personas y su respectivo desarrollo humano en tramo que comprende (0+00 hasta 20+100).

De la misma forma debemos tener en cuenta la determinación de las propiedades físicas de los suelos, las cuales nos permitirán brindar datos que permitan mejorar la vía para que no haya problemas durante el transcurso de construcción y posteriormente se haga uso de esta vía. Los ensayos de suelo proporcionarán resultados adecuados para la ejecución de estos materiales, teniendo en cuenta el comportamiento del terreno de fundación del que requerirán el uso de materiales adecuados para la carretera, además de proporcionar valor en el análisis de métodos para el diseño de carreteras.

1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

De acuerdo con la importancia del estudio, se propone las siguientes interrogantes:

1.2.1 Problema general

- ¿Cuáles son las características geotécnicas que tiene el terreno de fundación para el mejoramiento de carretera PU N° -110 Dv. Asiruni – Rosaspata, provincia de Huancané – Puno. tramo (00+000 a 20+100)?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Qué características físico - mecánicas tiene el terreno de fundación para el mejoramiento de carretera PU N° -110 Dv. Asiruni – Rosaspata, provincia de Huancané – Puno. tramo (00+000 a 20+100)?
- ¿Qué propiedades físico - mecánicas tienen los materiales de cantera del terreno de fundación para el mejoramiento de carretera PU N° -110 Dv.



Asiruni – Rosaspata, provincia de Huancané – puno. tramo (00+000 a 20+100)?

1.3 JUSTIFICACION

El propósito de este trabajo de investigación es obtener información sobre las características geotécnicas del terreno de fundación y de los materiales de cantera que intervendrán en el mejoramiento de la carretera PU N° 110 Aziruni - Rosaspata. Dichas tramos serán evaluados con equipos de laboratorio para ver el comportamiento geomecánico de los diferentes tipos de suelos que se obtengan, también conocer las características físico-mecánicas, suele suceder que no se toma en cuenta la evaluación geotécnica del área de estudio, es por ello que en el proceso de construcción se presentan diferentes tipos de problemas, como la presencia de aguas subterráneas, suelos finos, etc.

En la actualidad la superficie de la vía se encuentra deteriorado, existen desniveles, estancamiento de aguas fluviales por el mal estado de cunetas; de la misma forma también algunas alcantarillas y pontones se han derrumbado o corren peligro de caer; la mayoría de los errores se observan en temporadas de lluvias, por lo que es muy difícil el tránsito de vehículos para el traslado de la población iniciando en el desvío Asiruni, Compuerta, Sicta, Corpa pampa, Desvío a Choquelihue, Challapa, Carcahuayo, para finalmente llegar a Rosaspata; teniendo que tomar vías alternas y más largas para poder llegar a sus destinos; Esta población necesita urgentemente una solución al problema, realizando la evaluación, análisis geotécnico y geo mecánico del terreno de fundación y las propiedades físico-mecánicas de los materiales de préstamo. Los resultados de ensayo y pruebas de laboratorio, se ejecutaran en el diseño final del pavimento, estabilizando adecuadamente la carretera, evitando así problemas futuras en



la carretera y dando la necesaria seguridad a la carretera, realizando el correcto mejoramiento de la misma.

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1 Hipótesis general

Las características geotécnicas para la construcción de la carretera son adecuadas y existen materiales de préstamo favorables para el mejoramiento de carretera PU N° -110 Dv. Asiruni – Rosaspata, provincia de Huancané – Puno. Tramo (00+000 a 20+100).

1.4.2 Hipótesis específica

- Las características físico - mecánicas son adecuadas en el terreno de fundación para el mejoramiento de la carretera Dv. Asiruni – Rosaspata.
- Las propiedades físico-mecánicas que presentan los materiales de cantera, son óptimos para el mejoramiento de la carretera Dv. Asiruni – Rosaspata.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Evaluar las características geotécnicas que tiene el terreno de fundación para el mejoramiento de carretera PU N° -110 Dv. Asiruni – Rosaspata, provincia de Huancané – Puno. tramo (00+000 a 20+100).

1.5.2 Objetivos específicos

- Determinar las características físico - mecánicas tiene el terreno de fundación para el mejoramiento de carretera PU N° -110 Dv. Asiruni – Rosaspata, provincia de Huancané – Puno. tramo (00+000 a 20+100).



- Determinar qué propiedades físico - mecánicas tienen los materiales de cantera para el mejoramiento de carretera PU N° -110 Dv. Asiruni – Rosaspata, provincia de Huancané – Puno. tramo (00+000 a 20+100).



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Antecedentes internacionales

Niño (2015), señala en la tesis titulada “Estudio de suelos y análisis geotécnico del sector ubicado en el k4+180 de la vía Puente Reyes-Gameza”, tiene por objetivo principal: diseñar las obras requeridas para la estabilización del sector k4+180 de la vía Puente Reyes- Gámeza, en función del tipo de proceso y las propiedades geotécnicas del subsuelo. Llegando a las siguientes conclusiones: “A partir de la tipología del muestreo la cual indico características de materiales en su mayoría finogranulares, se proyecta un plan de ensayos de laboratorio el cual se enfoca en determinar propiedades índices del suelo mediante ensayos como, límites de Atterberg, granulometrías. Junto con estas propiedades se determinaron propiedades de resistencia empleando ensayos como compresión Inconfinada, cuyos resultados fueron comparados con las apreciaciones obtenidas a partir del ensayo de campo SPT.”

Garrido (2018), en su tesis titulado: Estudio del trazado del Tren de la Costa a su paso por Oliva y el Verger, entre los PK 10+320 y PK 13+000 (Valencia y Alicante). Geología y Geotecnia, Estudio de Impacto Ambiental, Expropiaciones y Valoración estimada. Cuyo objetivo general fue: Diseñar un trazado de ferrocarril que complete el arco costero del Tren de la Costa posibilitando la unión de las comunicaciones ferroviarias entre Valencia y Alicante. Aunque se plantee un trazado completo entre las dos localidades (Oliva y El Verger), se hará hincapié en los últimos 2,5 kilómetros (desde el PK 10+320



hasta el PK 13+000) de llegada a El Verger (con todo lo que ello implica). El trazado planteado en este estudio servirá para mejorar considerablemente la vertebración territorial en el ámbito de influencia del arco litoral, proporcionando el desarrollo de servicios de cercanías y mercancías, e integrará dicho servicio a los existentes y los que se puedan desarrollar en un futuro a su alrededor. Llegando así a la conclusión: Que la Alternativa 1 es la más favorable. Por tanto, se desarrollará el trazado de ferrocarril del Tren de la Costa a su paso por Oliva y El Verger con dicha propuesta.

Fabra (2018), en su tesis titulada: Estudio de alternativas para el acondicionamiento de la CV-345 a su paso por los municipios de Higueruelas y La Yesa (Valencia). Cuyo objetivo general fue: llevar a cabo un estudio de la problemática de la vía y encontrar la opción idónea para mitigar o eliminar los inconvenientes presentes, valorando las distintas opciones y justificando técnica, administrativa y económicamente. Llegando a la conclusión de “proponer las deficiencias del trazado actual y una serie de actuaciones de mejora de las condiciones que presenta el trazado actual con el fin de mejorar las condiciones de seguridad y comodidad de la vía.”

Suarez (2017), en su trabajo titulado: Caracterización de la ripabilidad en materiales andesíticos del túnel de Bombolí, en la localidad de Tandapi (Ecuador). Cuyo objetivo fue elaborar un estudio que comprende la caracterización de la ripabilidad de los materiales andesíticos del Túnel de Bombolí en la República del Ecuador para, posteriormente, analizar los resultados que se han obtenido y elegir la solución más adecuada para su excavación, relacionar los resultados de la caracterización geológico – geotécnica, en especial los parámetros obtenidos de las clasificaciones geomecánicas, con los diferentes métodos de estimación de la



excavación de la obra a realizar para poder obtener unas alternativas a estudiar y, posteriormente, realizar la elección adecuada de la maquinaria de excavación y describir la solución óptima para la correcta excavación del túnel en roca, siendo la elección final del estudio de soluciones la alternativa 2: Rozadoras. Estudio Geológico – geotécnico, Estudio de Soluciones y Descripción de la solución adoptada (con su valoración económica). Se concluye que: * “El terreno es heterogéneo, lo que seguro condicionará la excavación, pues cada material presenta unos parámetros geomecánicos distintos. - El terreno está compuesto tanto de materiales con calidad buena como de otros con calidad muy mala e, incluso, algunos están “fuera de clase”. - De todos los materiales presentes en el terreno, las andesitas son las que presentan una mayor Resistencia a Compresión Simple (177 MPa), con lo que parece lógico que el estudio de la excavación sea en referencia a ellas, pues será el que condicione la excavación y Respecto a la Geotecnia, el estudio se ha centrado en calcular los diferentes parámetros geomecánicos y clasificarlos para poder realizar posteriormente un análisis de dichos resultados. De la caracterización geotécnica se puede concluir que el terreno que se presenta es heterogéneo (dada la presencia de varias unidades litoestratigráficas que se han comentado en el estudio de la Geología local). Que dichas unidades litoestratigráficas, al ser estudiadas, han presentado diversos resultados y, en su mayoría, la calidad que presentan es “Muy mala”. Las andesitas son las que mejor calidad y RMR obtienen pero también son las que más resistencia presentan (hasta 177 MPa). Concluida la descripción geotécnica, se realiza la caracterización de la ripabilidad de los materiales andesíticos, que han sido elegidos como referencia para ello ya que, como se acaba de mencionar, son los que más resistencia ofrecen. Para dicho fin, se efectúa el cálculo de varios



índices que ayudarán a obtener una visión general acerca de la adecuada selección del método de excavación.”

Cebrián (2016), en su trabajo titulado: Estudio de acondicionamiento del tramo de la carretera N-232 entre los P.Ks 88.200 y 106.450 (Teruel). Estudio estructural. Tuvo como objetivo general que pretende poner en práctica los conocimientos adquiridos en el grado de Ingeniería Civil, realizando el estudio de acondicionamiento del tramo de carretera N-232 los P.Ks 88.200 y 106.450 en la provincia de Teruel. Llegando así a la conclusión de,” acuerdo con lo expuesto en la presente memoria, así como en el conjunto de anejos y planos se adopta la Alternativa 3 como solución final para realizar el estudio de acondicionamiento del tramo de la carretera N-232 entre los P.Ks 88.200 y 106.450. Dicha alternativa cumple todas las normativas actuales es la que presenta mayores ventajas globales, desde los puntos de vista técnico, funcional y de seguridad.”

Andreu (2015), en su trabajo titulado: Estudio hidráulico y geotécnico sobre las características de cimentación del puente del acceso norte a Alcasser sobre el barranco de Picassent (Valencia) de la Confederación hidrográfica del Júcar. Estudio geológico-geotécnico. Tuvo como objetivo: Estudiar las soluciones y optimización del puente de Picassent, y por otro lado, el cálculo estructural minucioso de la cimentación que resultó del estudio. El resultado fue una zapata combinada, denominada más correctamente viga de cimentación, al combinar más de dos pilares, de unas dimensiones en planta de 4 m de ancho por 16 m de largo, y un canto de 1,1 m. Teniendo ya las dimensiones de la cimentación, podíamos proceder al cálculo estructural de la misma.

2.1.2. Antecedentes Nacionales



Bocanegra (2021), en su tesis titulada “valuación geológica y geotécnica y su relación con una propuesta de mejoramiento de suelos reforzados en la carretera Yurimaguas – Munichis, provincia de alto amazonas, departamento de Loreto” tiene como objetivo realizar una propuesta de diseño y conocer la importancia del estudio geológico - geotécnico con el fin de determinar las características físicas de los suelos que lo conforman para poder emplearlas en la construcción.

Jimenez (2019), en su tesis titulada: Estudio geotécnico para determinación de capacidad de soporte de subrasante para mejoramiento de serviciabilidad en carretera rural-provincia de Andahuaylas, Apurímac. Tuvo como objetivo, explicar los trabajos de campo realizados y los ensayos de laboratorio de suelos llevados a cabo, evaluando las características de los materiales que conforman la subrasante, con el objetivo de calcular la capacidad de soporte de ésta. Llegando a la conclusión de que, “la presente tesis se ha calculado la capacidad de soporte de la subrasante en el área de la carretera rural Cascabamba – Uranmarca – Incachaka. De acuerdo a los resultados se puede establecer que los suelos de sub-rasante tienen mayormente una capacidad de soporte regular a buena para los suelos clasificados como arenas limosas y arenas arcillosas limosas, los suelos más gruesos como las gravas limosas y gravas limosas pobremente gradadas presentan buena capacidad de soporte y también se ubicó suelos arcillosos (CL) que representan a los suelos más desfavorables y con baja capacidad de soporte o resistencia. El trabajo de campo consistió en la ejecución de 57 calicatas o excavaciones a cielo abierto, con una profundidad promedio de 1.50m, ubicadas aproximadamente cada 1000 m las mismas que permitieron efectuar el registro estratigráfico. Se ha realizado el perfil estratigráfico de cada una de las calicatas realizadas, registrándose en la mayoría



un estrato de grava limosa con partículas de forma sub-angulosa, color beige claro hasta el fondo de la excavación, en estado semi-compacto.”

Ochoa (2014), señala en la tesis titulada “Estudio Geotécnico de Suelos para Diseñar la Estructura del Pavimento en la Carretera Ticaco - Candarave, Tramo Aricota – Quilahuani (km 146+500 – km 151+500)” tesis para obtener el título profesional por la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann – Tacna, tiene por objetivo principal, realizar el estudio geotécnico de suelos para diseñar la estructura del pavimento en la carretera Ticaco – Candarave, tramo Aricota– Quilahuani (km 146+500 – km 151+500). Teniendo como resultado las siguientes conclusiones que, “para poder diseñar la estructura de un pavimento flexible se debe tener en cuenta cuatro factores fundamentales: estudio de tráfico, estudio de suelos, datos de precipitación y un método de diseño. El diseño del pavimento va depender directamente según el tránsito proyectado para un período de diseño.”

Boza (2018), en su tesis titulado “Evaluación geotécnica en el mejoramiento de la carretera departamental palca - tapo - ricran – Yauyi - Jauja - región Junín” Tiene como objetivo general: Determinar las características geotecnicas de los suelos y rocas en el mejoramiento de la de la Carretera Palca - Tapo - Ricran - Yauli – Jauja, Región Junin. Llegando a la conclusión que, “la geología está dominada por areniscas y lutitas de la Formación Concepción y calizas y areniscas de la Formación Chambara, hasta materiales cuaternarios aluviales y que en la zona de estudio existen Fallas Longitudinales: Existen 7 fallas que atraviesan el eje de la carretera en las siguientes progresivas: 17+300, 17+620, 19+480, 45+820, 43+760, 64+390 y 64+500.”

2.1.3. Antecedentes Locales



Pari (2018), en su tesis “Evaluación geológica y geotécnica del terreno de fundación para la construcción del edificio archivo Regional Puno” tuvo como objetivo general, evaluar las características geológicas – geotécnicas y dinámica del terreno de fundación sobre el cual estará emplazada las subestructuras para la construcción del edificio Archivo Regional Puno. Llegando a la conclusión:

“De acuerdo con sus objetivos, “identificar las condiciones geológicas del suelo de fundación para la construcción del edificio archivo regional Puno” o según las exploraciones se puede determinar que, en el área de proyecto en los niveles de desplante, el tipo de suelo es uniforme tratándose de un material interestratificado arenas y limos en estado semi-compacto ha suelto, con humedad considerable. o La zona de estudio se encuentra conformado por depósitos cuaternarios que comprenden arcillas y limos, arenas y gravas no consolidadas que son depositadas por corrientes de agua. o Se encontró napa freática en la exploración en el nivel -3.70m en la zona de proyecto desde el nivel de terreno natural, según la exploración de las calicatas C-1, C-2, C-3.”

Choque y Placido (2014), en su tesis titulada: Evaluación geológica y geotécnica de la construcción Presa Aricoma–Crucero–Carabaya-Puno. Tuvo como objetivo general: Determinar las características geológicas y geotécnicas de las zonas de evaluación para la construcción Presa Aricoma. Llegando a la conclusión. – “Las características geológicas-geomorfológicas y geotécnicas del vaso nos señalan que no deben presentarse mayores problemas con referencia a los ensayos de laboratorio. - El material de tierras firmes del área de influencia del proyecto se encuentra constituido por depósitos aluviales y glaciofluviales, de composición heterogénea. - Las especificaciones del filtro están dadas en función



de las granulometrías de los materiales por proteger y de los que forman el filtro, especificaciones dadas por Zagi y G. E. Bertram.”

Pomacosi (2016), “evaluación geotécnica de la carretera emp. 3s (puno)– Vilque–Mañazo–emp. 34a (Huataquita)” Tiene como objetivo general, determinar las características geotécnicas del terreno de fundación y de los materiales de préstamo que intervienen en la construcción de la carretera Emp. 3S (PUNO) – Vilque – Mañazo – Emp. 34A (HUATAQUITA). Llegando así a las siguientes conclusiones. – “En los suelos de fundación, se puede diferenciar dos estratos bien definidos; el primer estrato, corresponde a un pavimento de material granular con características de afirmado con un espesor promedio de 0.25 m., con presencia de materiales gravosos y arenas limosas con poca grava, que corresponde en su mayoría a casi toda la longitud del tramo; los estratos inferiores corresponden a materiales limo arcillosos sin presencia de grava en algunos sectores como el: Km. 24+000 al 30+000; Km. 34+000 al 46+300 y Km. 48+100 al 55+000; en estos sectores se tiene una capacidad de soporte promedio de 4.87% al 95% de la máxima densidad seca, lo cual se valúa como pobre para la fundación de carreteras. En la subrasante existente se encuentra conformada mayormente por materiales con características limo-arcillosas, a los que se les asocia una capacidad de soporte de regular a mala para fines de diseño del pavimento, por lo cual es conveniente considerar un mejoramiento. Se determinó que con el índice de consistencia mayor a 1, índice de compresibilidad mayor a 0.20 y de expansión potencial con límite líquido menor a 35% e índice de plasticidad menor a 12%, son suelos adecuados para la fundación; lo contrario a esas características son suelos inadecuados para la fundación. Los materiales a lo largo del trazo del eje de carretera geológicamente son favorables en los sectores donde se tiene la



presencia de afloramientos rocosos y aledaños a los lechos de los ríos; no son favorables en zonas donde se tiene formaciones coluvio-aluviales sin presencia de grava, y donde los afloramientos rocosos están en un proceso de alteración avanzada.”

En el año 1993, el INGEMMET (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico) realizó el estudio “Carta Geológica Nacional, Boletín N° 42, serie A, Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al Oeste del Lago Titicaca - Sur del Perú (Proyecto integrado del Sur)” publicados por INGEMMET.

Carta Nacional (Hoja 31-X y Hoja 31-Y); que corresponde a la zona de trabajo) del Instituto Geográfico Nacional, a escala 1/100,000.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES DEL PERU (MTC), (2013), “Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción de Carreteras EG-2013”,

Ficha Oficial con coordenadas y cotas del punto ROSASPATA-HUAYRAPATA-NINANTAYA PMT2, proporcionada por la Dirección de Geodesia del Instituto Geográfico Nacional (Constituye el punto de partida con Coordenadas y Cotas).

2.2 MARCO TEÓRICO

GEOLOGIA

2.2.1 Geomorfología regional

2.2.1.1 Cordillera Occidental

Esta unidad conforma la unidad geomorfológica occidental del sector, el cual forma parte del sistema orográfico que proviene del sur, esta área constituye



parte del flanco discetado de los Andes Occidentales, se caracteriza por un relieve abrupto con pendientes muy inclinados, esta unidad Es posible distinguir, incluso, la profunda erosión realizada por la glaciación y por las aguas de escorrentía, fenómenos que generaron respectivamente los característicos valles en forma de U y pequeños valles angostos, quebradas profundos y cañones.

La litología de esta unidad se caracteriza por las rocas ígneas extrusivas (volcánicas) pertenecientes al Cenozoico, excepto su zona marginal NE, donde La erosión ha expuesto los sedimentos que a veces se encuentra afloramientos de rocas intrusivas, como dacitas, micro dioritas, etc. Las alturas gradan desde los 4200 hasta los 5420 m.s.n.m.

2.2.1.2 Altiplano

Esta unidad se extiende con buzamiento muy suave desde la falda oriental de la Cordillera Occidental hasta las estribaciones de la cordillera oriental, extendiéndose al SE hasta territorio boliviano y la Gran Depresión de la cuenca del lago Titicaca y Popopó. En general se trata de terrenos llanos, a veces con muy leves ondulaciones, que, como sabemos, se le denomino el nombre de Altiplano.

Estos terrenos se consideran los remanentes de una peneplanicie a una altitud relativamente baja durante el Terciario medio a superior. Al final del Terciario o al principio del Cuaternario, esta superficie peneplanicie se elevó en altitudes entre 3000 y 5000 msnm, con una altura de 3900 msnm.



2.2.1.3 Cordillera Oriental

Esta zona constituye la unidad geomorfológica oriental del sector. Las características fisiográficas, en general, son similares a las de la Cordillera Occidental, con la excepción de la litología, en esta zona predomina rocas metamórficas y principalmente sedimentarias.

Esta cordillera sale del territorio boliviano en dirección NNE y entra hacia el extremo nororiental, se denomina Gran Cordillera de Carabaya, que a su vez sirve de límite a 2 unidades fisiográficas diferentes, sierra y selva.

Las principales alturas de cerros y montañas nevadas conforman las cordilleras de este sector en la región de Ayaviri con elevaciones de hasta 5400 m.s.n.m.

2.2.2 Estratigrafía regional

La litoestratigrafía regional se describe sobre la base de los datos del INGEMMET que están a 1:50,000 y 1:100 000, en los cuales encontramos formaciones en una SECUENCIA de rocas sedimentarias, intrusivas y extrusivas, cuyas edades varían desde el Mesozoico hasta el Reciente. Los afloramientos que ocupan las mayores extensiones pertenecen a rocas del Cenozoico, seguidos en orden descendente por los del Mesozoico. Para la descripción de las unidades litológicas, se ha tomado en consideración el boletín INGEMMET° N°42 (1991), en orden al criterio, teniendo en cuenta dicha institución es la que norma los levantamientos geológicos regionales en el Perú a Estos son:



2.2.2.1 Sistema cretáceo.

a. *Formación Huancané (Ki – hua)*

El nombre de esta formación fue introducido por NEWELL (1945; 1949) dando una buena sección tipo, en la presente investigación la mejor sección se ha dado a Cerro Viscachane (215, 8315), al sur de Huancané.

Newell (1949), La Formación aflora en un trecho en el borde NE del Lago Titicaca donde el afloramiento está repetido varias veces debido a fallamiento inverso de alto ángulo descansa en conformidad sobre la Formación Muni donde hay un contacto de gradación rápida de una sucesión fango lítica a una sucesión exclusivamente lñ areniscas cuarzosas. La potencia es estimada entre 400 y 500 m. aparentemente adelgaza localmente a 250 m. en el NO del cuadrángulo de Huancané en el Cerro Huancané (3940, 83400). En profundidad al NE del afloramiento, parece que la Formación está solapada por las Formaciones Moho y Arenisca Cotacucho.

Newell (1949), Las capas de conglomerado contienen clastos de cuarcita bien redondeados de color blanco, gris y marrón y vetas de cuarzo hasta 3 cm. de diámetro. Es más probable que sean derivados del basamento paleozoico de rocas jurásicas. Las areniscas son de grano medio a grueso, casi bien seleccionadas y varían de blanquecinas a marrón anaranjado rojizo y marrón rosado dependiendo, de la cantidad de óxido de hierro intersticial. Las rocas más ferruginosas suelen ser las de grano más fino y se encuentran por debajo de los 100 m. superiores de la formación. El cuarzo secundario como cemento tiene una de las características debido al intemperismo: capas cementadas, generalmente



en la parte basal de la secuencia, tiene un afloramiento rocoso, mientras que las capas menores cementadas tienen una textura sacaroide y se desgastan más fácilmente.

b. Grupo Moho (Kis – m)

Esta unidad de sucesión en la cuenca de Putina ha sido designada como " Grupo Moho" por NEWELL (1945, 1949), un área tipo cerca de la ciudad de Moho. Sus afloramientos se encuentran solo en la cuenca Putina, de principalmente en la zona imbricada NE del lago Titicaca. Esta formación descansa concordantemente sobre Arenisca Huancané con un marcado cambio en la litología en unos 4 ó 5 m. que van desde una secuencia predominantemente de areniscas hasta una secuencia limolítica y fangolítica de color rojo.

En general la litología es similar a la de la Formación Muni. Domina limolitas y fangolitas abigarradas con estratificación delgada, laminación en rizaduras y horadadas, con características persistentes formadas por areniscas cuarzosas con estratificación cruzada, generalmente entre 20 y 50 m. de espesor. Hay una buena capa guía, el Miembro Caliza Huatasane que se encuentra entre 0,6 y 100 m. de la base y varía de 6 a 25 m. de espesor, que se describen por separado. La potencia total es de unos 980 m. habiendo muy pocas secciones completas, no es necesario estimar la variación regional de su potencia.

La arenisca marrón- rojiza, beige y blanca forma arenisca de 2 m de espesor con disminución en tamaño de grano hacia arriba. Un ciclo

completamente desarrollado consta de arenisca horadadas, amarillo claro, de grano fino a medio de 0,4 a 0.5m de espesor en la base. Hacia arriba cambia a areniscas finamente laminada de color marrón rojizo, luego a limolitas y fangolitas de color marrón rojizo. Una de las areniscas es más masiva y limosa hasta de 3 m. de espesor y con huevos silicificados tubulares de 1 a 2 mm. de diámetro y 2 cm. de longitud.

c. Formación Vilquechico (Ks – vi i)

Esta formación fue mapeada y definida por NEWELL (1945, 1949) quien midió una sección de 679.1 m. de espesor, 7 km al SE de Huancané cerca al pueblo de Vilquechico. Esta sección algo generalizada, se muestra en la Fig. 13. Todos los afloramientos de la Formación están confinados a la Cuenca Putina en los cuadrángulos de Huancané y Moho, se les encuentra en el Sinclinal de Vilquechico o más al norte en pequeños periclinales parados que forman anticlinorios y sinclinorios anchos. Estas rocas descansan concordantemente sobre la Formación Areniscas Cotacucho y son seguidas hacia arriba por las areniscas de la Formación Muñani. Son similares, en su litología a las Formaciones Moho y muni, siendo predominantemente limolitas y fangolitas abigarradas con capas subordinadas de areniscas cuarzosas de grano fino a grueso, de colores anaranjado, rosado y gris. Como consecuencia de ello también dan lugar a una expresión fotogeológica muy similar con rasgos de terreno relativamente bajo en el norte y en el Sinclinal de Vilquechico, y algunas escarpas lineales prominentes, formadas por areniscas dan en las fotografías aéreas un tono claro sobre las pendientes de los estratos (buzamientos).



El espesor del sinclinal de Vilquechico, basado en secciones e interpretaciones fotogeológicas, se ha estimado entre 700 a 800 m. La estimación más delgada de NEWELL se atribuye a movimientos pequeños inversos a lo largo de los planos de estratificación en sentido del buzamiento.

Las lutitas y las limolitas finamente intercaladas muestran ondulación y estratificación en las limolitas. También son negras, caqui, las limolitas son beige. En la parte superior hay 2 niveles de arenisca de grano fino con huecos tubulares.

2.2.2.2 Sistema paleógeno

a. Grupo Tacaza (PN – t)

El término Volcánicos Tacaza, fue empleado por primera vez por JENKS, (1946), siendo publicado formalmente por NEWELL (1949), describiendo una gruesa acumulación de rocas volcánicas en las proximidades de la Mina Tacaza (3154, 82714) en el cuadrángulo de Lagunillas. Posteriores investigadores, han seguido usando el mismo nombre (e.g. Garcia 1978) habiéndole dado a la unidad, la categoría de Grupo (e.g. Marocco y DEL Pino 1966). El presente informe utiliza el término Grupo Tacaza, para permitir en el futuro hacer más subdivisiones con trabajos más detallados.

Regionalmente, es un grupo diverso con rocas volcánicas andesíticas que consisten en gran parte hasta en un 50% de sedimentos terrestres. El mapa se basó en la observación de criterios de terreno extendido, el más importante de los cuales es la mayor acumulación



volcánica en el área del proyecto, que se pliega suavemente o buza y no tiene centros reconocibles. Las lavas son olivinas y/o augitas porfíricas y se caracterizan por la presencia de minerales cupríferos diseminados, malaquita, en las juntas, superficies de fracturas y en su relleno. Aunque este criterio general ha servido bastante bien para el mapeo de campo, se sabe que a escala puede haber algún traslape cronoestratigráfico con rocas volcánicas del Grupo Sillapaca.

2.2.2.3 Sistema cuaternario

a. Cuaternario Aluvial (Qh-al)

Ocurren a lo largo del área mapeada en valles, depresiones y llanuras. Consisten en arcillas y limos, arenas de grava no consolidadas depositadas por corrientes de ríos, flujos de agua y corrientes laminares, que incluyen sedimentos de ríos y coluviales.

Las llanuras aluviales del altiplano consisten predominantemente de arenas bien clasificadas derivadas en parte de los retrabajamientos de depósitos lacustrinos antiguos. En las áreas de tierra alta, muchos de estos materiales aluviales han sido derivados del retrabajamiento de detritos glaciares de morrena y de fluvioglaciares de bloques de grava inconsolidados y de gravas de canto que han rellenado muchos de los valles. En muchos de los principales valles se tiene evidencias de erosión reciente, así como de depósitos aluviales más viejos que están preservados, formando una serie de terrazas levantadas.

2.2.3 Geología estructural

Se consideraron unidades estructurales con características bien definidas distribuidas en el sector Huancané - Moho, donde las rocas mesozoicas se plegaron fuertemente, fallaron y están cubiertas por una gruesa capa de rocas terciarias y cuaternarias que no han sufrido grandes deformaciones tectónicas.

Las estructuras más grandes resultantes de las dos fases principales de plegamiento tienen una orientación noroeste-sureste, coincidiendo generalmente con la dirección de la cordillera de los Andes.

2.2.4 Hidrología

La evaluación fluvial realizada, permitió observar in situ, registros de caudal en las cuencas atravesadas por la carretera Huayrapata - Ninantaya, además indicó que la gran mayoría de las cuencas y microcuencas eran áridas con rastros de erosión que obstruyen el lecho del río, o canal de agua; por lo tanto, en base a las obras de drenaje se determinaron los caudales máximos de diseño.

Tabla 1.

Parámetros característicos de la lluvia.

Estación	Precipitación en 24 horas Máximo	Precipitación Anual en mm.		
		Máxima	Media.	Mínima
COJATA	11.87	356.2	165.7	100.8
HUARAYA	14.14	364.3	186.6	114.5

Fuente: elaboración propia

Nota. Se puede ver que para provincias tan próximas como son Moho y Huancané, las precipitaciones son diferentes, sobre todo en las precipitaciones mínimas y medias; en consecuencia, para los estudios definitivos y de ingeniería



se estarán evaluando dichas precipitaciones por el área de influencia de cada una de ellas.

2.3 ESTUDIO GEOTÉCNICO

Lujano (2021), nuestro objetivo es obtener aspectos geotécnicos teóricos del diseño y obtención de propiedades físicas, químicas y mecánicas, así como de suelos. Geotecnia comprende la evaluación, diseño y construcción donde se utilizan materiales de suelo y/o cantera, los cuales juegan un papel fundamental durante la ejecución de cada proyecto vial.

Braja (2006), En términos que utiliza métodos científicos generales, la geotecnia rama es la para determinar, evaluar y aplicar las relaciones entre el entorno geológico y las obras de ingeniería. Los pioneros de la ingeniería geotécnica se apoyaron en el "método de observación", para comprender la mecánica de suelos y rocas y el comportamiento de materiales de cantera bajo cargas.

Mendoza (2001), mediante la geotecnia se podrán identificar riesgos naturales, como son suelos y minerales de roca expansivos, antiguos depósitos de relleno y posibles fallas que tenga el terreno.

Terzaghi (1965), la magnitud de la diferencia entre el comportamiento de suelos reales bajo condiciones de campo, y el comportamiento pronosticado con base en la teoría, solo puede conocerse mediante la experiencia en el campo.

2.3.1 Estudio de mecánica de suelos

Crespo (2001), en todos los estudios geotécnicos, el más relevante es la mecánica de suelos que es muy importante para determinar el grado de estabilidad y comportamiento funcional, que estarán determinados entre otros



factores, por el desempeño del material suelto situado dentro de las profundidades de influencia de los esfuerzos que se generan, si se sobrepasan los límites de la capacidad resistente del suelo o aún sin llegar a ellos, las deformaciones son considerables, se pueden producir esfuerzos secundarios en los miembros estructurales, quizás no tomados en consideración en el diseño, el cual producirá deformaciones importantes, fisuras, grietas, que pueden producir, en casos extremos, el colapso de la obra o su inutilización y abandono.

Lujano (2021), el estudio del suelo incluye esencialmente un estudio de campo a lo largo del eje de la carretera. Mediante la ejecución de sondeos de exploración (calicatas), donde se han observado las características del terreno de fundación, para luego adquirir muestras representativas y en cantidad suficiente para ser sometidas a pruebas de laboratorio. Dichos trabajos de mecánica de suelos se han desarrollado con el objetivo de estudiar las características del suelo que permitan establecer los criterios de diseño de la vía que permitan establecer los criterios de diseño de la vía.

2.3.1.1 Ensayos de laboratorio

Lujano (2021), los ensayos realizados en laboratorio de suelos fueron desarrollados con fines de determinar las propiedades físico mecánicas iniciando con la humedad natural, análisis granulométrico por el método de tamizado, así como la determinación de sus constantes físicas como son los ensayos de determinación de límite líquido y límite plástico, las muestras y estratos extraídos del terreno de fundación sirvieron para la realización del ensayo de (CBR norma MTC E 132 -2013) con fines de diseño según las normas de carreteras” (MTC, 2013).

En el Laboratorio de Mecánica de Suelos se logra tener los datos definitivos de las características del suelo para el respectivo análisis y conclusión final; en esta etapa primeramente al realizar las pruebas de clasificación de suelos (Método SUCS y AASHTO)” (MTC, 2013).

Tabla 2.

Normas estándar, especificaciones. (ASTM, AASHTO y MTC).

ENSAYOS	ASTM	AASHTO	MTC
Contenido de humedad.	D-2216	-	E-108
Análisis granulométrico.	D-422	T-88	E-204
Límite. Líquido	D-4318	T-89	E-110
Índice de plasticidad	D-4318	T-90	E-111
Proctor. Modificado	D-1557	T-180	E-115
C.B.R	D-1883	T-193	E-132

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC. 2013.

Nota. Los ensayos de laboratorio se han efectuado de acuerdo con normas estándar, siguiendo las especificaciones del ASTM, AASHTO y MTC.

Los ensayos de laboratorio a realizarse son:

Contenido de humedad natural (ASTM D-2216)

Lujano (2021), el contenido de humedad de una muestra que indica la cantidad de agua que contiene, expresada como porcentaje del peso de agua dividido entre el peso de materia seca. En cierto modo este valor es relativo, ya que depende de las condiciones atmosféricas que pueden ser variables.



Por lo tanto, es recomendable realizar esta prueba y trabajar casi inmediatamente con este resultado, para evitar distorsiones en momento de los cálculos y se calcula con la siguiente expresión.

$$W(\%) = \frac{(P_1 - P_2)}{(P_2 - P_3)} * 100$$

Dónde:

W (%) : Contenido. de humedad expresado en. porcentaje.

P1 : Peso de la tara más. el suelo húmedo.

P2 : Peso de la tara más el suelo seco al horno.

P3 : Peso de la tara.

Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D-422)

Huanca (1996), se fundamentó en que las propiedades mecánicas se supeditan directamente de la distribución de las partículas constituyentes según los tamaños. Este trabajo de investigación tiene como fin establecer la granulometría de los materiales de hasta 90 mm mediante su división y separación con una serie de tamices en fracciones granulométricas de tamaño decreciente.

Tabla 3.

Tamaño de las partículas. en suelos más comunes.

MATERIAL.	CARACTERÍSTICAS.	TAMAÑO (mm).
Piedra	-	>70mm
	Gruesa	30 a 70
Grava	Media	5 a 30
	Fina	2 a 5
	Gruesa	1 a 2
	Media	0.2 a 1
Arena	Fina	0.1 a 0.2
	Grueso	0.05 a 0.1
Polvo	Fino	0.02 a 0.05
	Grueso	0.006 a 0.02
Limo	Fino	0.002 a 0.006
	Gruesa	0.0006 a 0.002
Arcilla	Fina	0.0002 a 0.0006
Ultra arcilla	-	< 0.0002

Fuente: Juárez B. E. 2004.

Nota. Este ensayo se realizó para señalar cuantitativamente la distribución de las partículas de suelo, con la utilización de diferentes tamices que sean necesarios de acuerdo a las especificaciones técnicas que se requieran. Con este ensayo se señala si el suelo es una grava (más del 50 % retiene en el tamiz N° 4), arena (más del 50 % retiene en el tamiz N° 200) o fino (más del 50 % pasa el tamiz N° 200).

Preparación de la muestra para el ensayo

Lujano (2021), una vez recibida la muestra de suelo después del cuarteo y secado en un horno o cocina, se pesa la muestra y registrar dicho peso, para pasar luego por al tamizado por las mallas que son requeridas en las especificaciones y por lo tanto obtener el peso del material retenido en cada tamiz utilizado.

CÁLCULOS

Pasos para calcular la distribución granulométrica:



- Se calcula los pesos retenidos en cada tamiz con que se usa para la granulometría, empleando la siguiente fórmula:

$$\%Retenido = \frac{\text{Peso retenido en el tamiz}}{\text{Peso retenido total}} * 100$$

- Se calcula el porcentaje retenido acumulado de cada tamiz, el cual se fija con la suma sucesiva de los porcentajes retenidos de cada tamiz con el porcentaje acumulado de cada tamiz.
- Por último se calcula el porcentaje pasante de cada tamiz con la siguiente fórmula:

$$\%Pasa = 100 - \%Retenido\ acumulado$$

Este ensayo se lleva acabo de acuerdo a la norma internacional del ASTM D 422, coherentemente con las normas peruanas del MTC E – 107, asi como de visualiza en el manual de ensayos de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)

- **Límites de atterberg o límites de consistencia**

Las pruebas de Atterberg tienen como objetivo determinar la plasticidad de la porción de material que pasa por el tamiz N° 40.

Thomson (2001), propiedades del suelo formado por partículas finamente divididas dependen en gran parte de la humedad, el agua forma una película alrededor de los granos y su espesor puede ser determinante de comportamientos diferentes del material, cuando el contenido de agua es muy elevado, el suelo no tiene resistencia al esfuerzo cortante, al aumentar su pérdida de agua aumenta su resistencia



- Límite líquido (ASTM D-4318)

Gonzales (2002), es el contenido de humedad expresado en porcentajes del suelo secado en el horno, cuando esto se halla en el límite entre el estado plástico y estado líquido, para situar el material en el límite líquido, en la copa de Casagrande, la proporción del material que pasa por la malla N° 40 con esa humedad se debe cerrar íntimamente, a lo largo de 1cm, una abertura realizada con el ranurador, al proporcionar 25 golpes sobre la base del aparato.

CÁLCULOS

Para determinar el límite líquido se utiliza la ecuación:

$$LL = w \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

Donde:

LL : Límite líquido.

N : Número de golpes.

W : Contenido de humedad del suelo.

Este ensayo de laboratorio se ejecutó de acuerdo con las normas ASTM D 4318, de acuerdo con las normas peruanas MTC E 110, las cuales se encuentran listadas en el Manual de ensayos de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

- Límite plástico (ASTM D 4318)



Determinar el límite plástico de los suelos, el cual se define como el contenido de agua, expresado en porcentaje del peso del suelo seco al horno, cuando el suelo se encuentra en el límite entre los estados plásticos y semisólido. El contenido de agua en este límite, se define como el contenido más bajo de agua al cual el suelo es rolado en hilo de 3.2 mm sin que se rompa en pedazos (Juárez, 1996).

CÁLCULOS

El límite plástico corresponde al promedio de las humedades de ambas determinaciones; se expresa como porcentaje de humedad, con aproximación a un entero y corresponde a la siguiente expresión:

$$LP = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} * 100$$

Este ensayo de laboratorio se realiza de acuerdo con las normas internacionales ASTM D 4318, de acuerdo con las normas peruanas MTC E 111, que se encuentran en el Manual de ensayos de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)

- Índice de plasticidad

Se denomina índice de plasticidad, a la diferencia numérica entre el valor obtenido de límite líquido y límite plástico de una muestra de suelo; El índice de consistencia es más importante, dado que su valor permite conocer cuan plástico es el material (Juárez, 1996).

CÁLCULOS

El índice de plasticidad se obtiene con la formula siguiente:



$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP. : Índice de plasticidad del suelo.

LL : Límite líquido del suelo.

LP. : Límite plástico del suelo.

- **Proctor modificado (ASTM D-1557)**

Pomacosi (2016), este ensayo nos permite conocer la relación entre el contenido de humedad y la densidad de los suelos compactados; que se realizó en un molde circular de 6” o 4” de diámetro, con un pisón de 4.54 Kg., que cae de una altura de 457 mm. Esta relación contenida de humedad y densidad del suelo, permite conocer de un suelo, la humedad que necesita para alcanzar su máxima densidad; a ello se le conoce como la máxima densidad a la cual tiene un mejor comportamiento en la construcción de carreteras.

Al compactar un suelo se establece un contacto más firme entre las partículas:

- Las partículas de menor tamaño son forzadas a ocupar los vacíos formados por las de mayor dimensión.
- Cuando un suelo esta compactado, aumenta su valor de capacidad de soporte y se hace más estable.



- Como las partículas se hallan firmemente adheridas después de la compactación, el suelo será más denso y su volumen de vacíos quedará reducidos a un mínimo.

Tabla 4.

Método modificado para determinar la relación humedad – densidad de los suelos.

MÉTODO	PASANTE MALLA	MOLDE (Pulg.D)	Nº DE GOLPES	Nº DE CAPAS	PESO (Lbs)	H (plg) CAIDA	SUELO
A	Nº 4	4	25	5	10.0	18	Grano fino
B	Nº 4	6	56	5	10.0	18	Grano fino
C	Nº ¾	4	25	5	10.0	18	Grano grueso
D	Nº ¾	6	56	5	10.0	18	Grano grueso

Fuente: Juárez B. E. 2004.

Notas. Con este cuadro se puede ver la máxima densidad a la cual tiene un mejor comportamiento en la construcción de carreteras.

Juárez (2004), la humedad óptima, es la cantidad de agua para obtener la densidad máxima de un suelo determinado y un esfuerzo determinante de compactación. La densidad máxima, es la obtenida por ensayos de laboratorio con el contenido de humedad óptima. Una vez obtenido la relación humedad - densidad en laboratorio, con este dato se realizar el ensayo de CBR.

CÁLCULOS

Del proctor modificado se obtiene la máxima densidad seca (MDS) y el óptimo contenido de humedad (OCH) y los obtenemos de siguiente forma:

- **Densidad húmeda:**



$$\gamma_h = \frac{(P_m + P_{mh}) - P_m}{V} * 100$$

Dónde:

γ_h : Densidad húmeda.

P_m : Peso del molde.

P_{mh} : Peso de la muestra húmeda.

V : Volumen del molde.

– **Humedad:**

$$W(\%) = \frac{P_{mh} - P_{ms}}{P_{ms}} * 100$$

Dónde:

$w(\%)$: Contenido de humedad.

P_{ms} : Peso de la muestra seca.

P_{mh} : Peso de la muestra húmeda.

– **Densidad Seca:**

$$\gamma_s = \frac{\gamma_h}{W(\%) + 100} * 100$$

Dónde:

Γ_s : Densidad seca.

Γ_h : Densidad húmeda.

$w(\%)$: Contenido de humedad.

Este ensayo de laboratorio se ejecutó en concordancia a la norma internacional del ASTM D 1557, y con las normas peruanas del MTC E – 115, que se muestran en el manual de ensayos de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)



Relación de soporte de california CBR (ASTM D-1883)

Pomacosi (2016), el ensayo de California Bearing Ratio (CBR) nos da a conocer el valor de capacidad de soporte del suelo existente o terreno de fundación, donde se cimentará la estructura del pavimento; con estos resultados se zonificará las zonas donde requieren mejoramientos con enrocados, pedraplenados o con material granular; y las zonas donde tienen una capacidad de soporte bueno, en la cual no requieren ningún tipo de mejoramiento. El ensayo se realizó en un molde circular de 6" de diámetro, con un pisón de 4.54 Kg., que cae de una altura de 457 mm. Para determinar dicha capacidad de soporte se ensaya con la humedad óptima determinada con el ensayo de Proctor modificado, el cual es la máxima densidad seca el cual tiene un mejor comportamiento en la construcción de carreteras.

CÁLCULOS

Determinación de la expansión:

Las probetas se saturan durante 96 horas, con un peso igual al peso del pavimento a utilizar en campo, pero no menor a 4,50k. Es necesario durante este período tomar lecturas de expansión cada 24 horas y al final de la saturación tomar el porcentaje de expansión que es:

$$E(\%) = \frac{\text{Expansión}}{\text{Altura de la muestra}} * 100$$

Los materiales de préstamo son utilizados:

- base granular lo cual debe de tener expansiones menores a 1%

- sub base granular el cual debe de tener expansiones menores de 2%

Cálculo del CBR:

Las lecturas tomadas de las cargas, se representan gráficamente en un sistema de coordenadas según programa.

$$CBR = \frac{\text{Carga unitario del ensayo}}{\text{Carga unitaria patron}} * 100(\%)$$

- Para calcular el CBR se toma como material de comparación la roca triturada que sería el 100%.
- Para la resistencia a la penetración que presenta a la hincas del pistón en el siguiente cuadro:

Tabla 5.

Valores de carga unitario CBR.

PENETRACIÓN		CARGA UNITARIA PATRÓN		
m.m.	Pulgada	Mpa	Kg/cm2	Psi
2.54	0.1	6.9	70	1000
5.08	0.2	10.3	105	1500
7.62	0.3	13.1	133	1900
10.16	0.4	15.8	162	2300
12.7	0.5	17.9	183	2600

Fuente: MTC, 2013.

Nota: Cuadro para determinar capacidad de soporte, se ensaya con la humedad óptima determinada con el ensayo de Proctor modificado, el cual es la máxima densidad seca y tiene un mejor comportamiento en la construcción de carreteras.

Como es bien sabido el ensayo de CBR es empleado para determinar la resistencia de los materiales empleados para subrasante, subbase y base en unas condiciones de humedad y densidad, cabe aclarar que también es empleado para materiales reciclados para emplearlo en pavimentos de carreteras y pistas de aterrizaje, por esta razón el ensayo de CBR es importante los datos para el diseño de pavimentos flexibles (MTC, 2013).

Tabla 6.

Clasificación de *los suelos para infraestructura de pavimentos*.

CBR	CLASIFICACIÓN GENERAL	USOS	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN
0 -3	Muy pobre.	Subrasante.	OH, CH, MH, OL. A5,A6,A7.
3 -7	Pobre a regular.	Subrasante.	OH, CH, MH, OL. A4,A5,A6,A7.
7 – 20	Regular.	Sub-base.	OL,CL,ML,SC,SM,S P.GP A2,A4,A6,A7
20 – 50	Bueno.	Base, Sub-base	GM,GC,W,SM,SP,G P. A1b,A2-5,A3,A2-6
	Excelente	Base	GW,GM A1-a,A2-4,A3

Fuente: MTC, 2013.

Nota. Cuadro de clasificación de suelos para estructuras de pavimento.

Abrasión los ángeles

Lujano (2021), los agregados deben ser capaces de resistir degradaciones irreversibles y daños durante la construcción, compactación e instalación de los trabajos de pavimentación, y sobre todo durante la vida útil del pavimento.

Lujano (2021), debido a las condiciones de esfuerzo-deformación, la carga de la rueda es transmitida a la superficie del pavimento a través de la llanta como una presión vertical aproximadamente uniforme y alta.

La estructura del pavimento distribuye los esfuerzos de la carga de una máxima intensidad en la superficie hasta una mínima de la Subrasante. La cantidad de material a ensayar y el número de esferas a incluir, dependen de la granulometría del agregado grueso. La gradación que se use deberá ser representativa de la gradación original de material suministrado para la obra y/o de cantera, (MTC, 2000).

Tabla 7.

Especificaciones para el ensayo de abrasión para rocas.

MALLAS		CANTIDAD DE MATERIAL A		
		Métodos		
Pasante	Retenido	1	2	3
3"	2 1/2"	2500+-50		
2 1/2"	2"	2500+-50		
2"	1 1/2"	2500+-50	5000+-50	
1 1/2"	1"		5000+-25	5000+-25
1"	3/4"			5000+-25
Peso total		10000+-100	10000+-100	10000+-100
N° de esferas		12	12	12
N° de		1000	1000	1000
Tiempo (min)		30	30	30

Fuente: ASTM C-535.

Nota. Cuadro de especificaciones para ensayos de abrasión para rocas y su respectivo calculo.

CÁLCULOS

El resultado del ensayo se expresa en porcentaje de desgaste, calculando la diferencia entre el peso inicial y el peso final de la muestra de ensayo con respecto al peso inicial, se halla con la siguiente fórmula:

$$Desgaste(\%) = \left(\frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \right) 100$$

2.3.2. Clasificación de suelos

Pomacosi (2016), la cuantificación y determinación de las diferentes propiedades de un suelo, efectuados mediante los ensayos anteriores a este, tiene como última finalidad el establecimiento de una división sistemática de los diferentes tipos de suelos existentes y ser atendidos a la similitud de sus características físicas y sus propiedades geomecánicas.

Una rigurosa y adecuada clasificación permite al profesional de carreteras comprender acerca del comportamiento que se espera de un suelo como cimiento del firme, a partir de propiedades de sencilla determinación; normalmente suele ser suficiente, conocer la plasticidad y granulometría de un suelo para predecir su comportamiento mecánico. Por lo que también facilita la comunicación e intercambio de ideas entre profesionales del sector, debido a su carácter universal.

2.3.1.2 Sistema de clasificación unificada de los suelos (SUCS)

Pomacosi (2016), este sistema de clasificación de suelos inicialmente fue propuesto por A. Casagrande en 1942, luego adoptado y revisado por el Bureau of Reclamation de Estados Unidos y por su cuerpo de ingenieros. Este sistema de clasificación se usa en todo trabajo de geotecnia.

Tal clasificación se vale de unos símbolos de grupos, consistentes en un prefijo que designa la composición del suelo y un sufijo que matiza sus propiedades. Así como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 8.

Tipo de suelos y símbolos.

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUB GRUPO	SUFIJ
Grava	G.	Bien graduado.	W.
Arena	S.	Pobrementemente graduado.	P.
Limo	M.	Limoso.	M.
Arcilla	C.	Arcilloso.	C.
Orgánica	O.	Alta plasticidad.	L.
Turba	Pt.	Baja plasticidad.	H.

Fuente: Juárez B. 2004.

Notas. Cuadro para ver la tipología de suelos con su respectivo sufijo.

Juárez (2004) en función a estos símbolos, pueden establecerse diferentes combinaciones que definen uno u otro tipo de suelo.

Luego de un estudio experimental de diferentes muestras de suelos de grano fino, Casagrande plasma todo en un diagrama que relaciona el límite líquido (LL) con el índice de plasticidad (IP). En este diagrama, conocido como la carta de Casagrande de los suelos cohesivos, destacan dos grandes líneas que actúan a modo de límites:

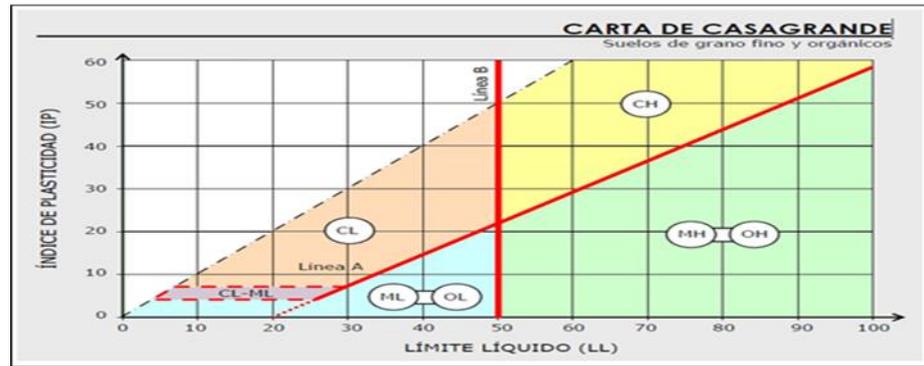


Figura 1. Carta de plasticidad de Casagrande.

Fuente: Juárez, (2004).

Nota: Se puede deducir que la línea A separa las arcillas y limos; los que tienen un IP que den arriba de la línea A son arcillas y los que den por debajo vienen a ser limos. Muy particularmente los que tengan IP entre 4 y 7 tienen doble simbología.

De igual manera con la línea B, diferencia entre suelos de alta plasticidad y suelos de baja plasticidad que son representados por el límite líquido.

Lujano (2021), clasificación de gravas y arenas: Para el sistema unificado de clasificación de suelos las gravas y arenas están clasificadas de acuerdo al tamaño del grano y su distribución.

Estas a su vez pueden ser clasificados en gravas bien graduadas (GW), gravas limosas (GM), gravas mal graduadas (GP), o gravas arcillosas (GC); y las arenas pueden ser clasificadas en Arena bien graduada (SW), arena limosa (SM), arena mal graduada (SP), o arena arcillosa (SC). Gravos y arenas con una pequeña pero importante cantidad de finos (5% y 12%) puede tener una clasificación doble arena bien graduada – arena arcillosa (SW-SC).



Lujano (2021), clasificación de limos y arcillas: En este sistema se considera los suelos divididos en tres grupos: limos inorgánicos (M), arcilla inorgánica (C), limos y arcillas orgánicas (O); cada uno de estos suelos se subdividen a su vez según su límite líquido en dos grupos, cuya frontera es $LL = 50\%$, si el límite líquido del suelo es menor de 50% se le añade el símbolo general la letra L (Baja compresibilidad), si es mayor de 50% se añade la letra H (alta compresibilidad), obteniéndose de este modo los siguientes tipos de suelos:

Tabla 9.

Sistema de clasificación SUCS.

DIVISIONES PRINCIPALES		Simbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO		
SUELOS DE GRANO GRUESO	GRAVAS	Gravas limpias (sin o con pocos finos)	GW	Gravas, bien graduadas, mezclas grav-a-arena, pocos finos o sin finos.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: $Cu = D_{60}/D_{10} > 4$ $Cc = (D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3 No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW. Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$. Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo. Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$.	
		Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	GP	Gravas mal graduadas, mezclas grav-a-arena, pocos finos o sin finos.		
		Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	GM	Gravas limosas, mezclas grav-a-arena-limo.		
	ARENAS	Arenas limpias (pocos o sin finos)	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		
		Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		
		Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		
	MÁS DE LA MITAD DEL MATERIAL RETENIDO EN EL TAMIZ NÚMERO 200	MÁS DE LA MITAD DE LA FRACCIÓN GRUESA PASA POR EL TAMIZ NÚMERO 4 (4,76 mm)	Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	SC		Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.
			Limos y arcillas:	ML		Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.
				CL		Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.
				OL		Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.
MÁS DE LA MITAD DEL MATERIAL PASA POR EL TAMIZ NÚMERO 200	LÍMITE LÍQUIDO MENOR DE 50	Limos y arcillas:	MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limos con mica o diatomeas, limos elásticos.		
			CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.		
			OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.		
		Suelos muy orgánicos	PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.		



Fuente: Gonzales B. (2003).

Nota. Cuadro utilizado frecuentemente para hacer la clasificación SUCS.

2.3.1.3 Clasificación de la asociación americana de oficiales de carreteras estatales y transportes (AASHTO)

Lujano (2021), el sistema de clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) es uno de los primeros sistemas de clasificación de suelos, desarrollado por los geotécnicos Terzaghi y Hogentogler en 1928. Inspirado en el modelo de Casagrande, considera siete grupos básicos de suelos, numerados desde el



A-1 hasta el A-7, a su vez algunos de estos grupos presentan subdivisiones; así el A-1 y el A-7 tienen dos subgrupos y el A-2 tiene cuatro subgrupos.

Son exclusivos los ensayos necesarios para clasificar un suelo en cualquier grupo, son el análisis granulométrico y el de límites de Atterberg. Si se quiere determinar su posición relativa dentro del grupo, es preciso introducir el concepto de índice de grupo (IG), expresado en forma de número entero con un valor entre 0 y 20 en base al porcentaje de suelo que pasa por el tamiz #200 ASTM.

$$IG=0.2(a)+0.005(a*c) + 0.01(b*d)$$

Dónde:

- a** :Es el porcentaje de suelos, pasante del tamiz # 200, comprendidos entre 35 % a 75 %. Se expresa como número entero con un valor entre 0 a 40.
- b** :Es el porcentaje de suelos, pasante del tamiz # 200, comprendidos entre 15 % a 55 %. Es un número entero con un valor entre 0 a 40.
- c** :Es el valor de Límite Líquido comprendido entre el 40 a 60. Se expresa como un número entero con un valor entre 0 a 20.
- d** :Es el valor de Índice Plástico comprendido entre 10 a 30. Se expresa como un número entero con un valor entre 0 a 20.

El índice de grupo es un valor entero positivo, que va de 0 a 20. Cuando el IG calculado es negativo, se informa como un índice cero, Significa muy buen suelo y un índice igual o superior a 20 significa suelo no apto para carreteras.

Tabla 10.

Clasificación de suelos AASHTO.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz Nº 200)						Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz Nº 200)			
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Grupo:	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6				
Porcentaje que pasa: Nº 10 (2mm) Nº 40 (0,425mm) Nº 200 (0,075mm)	50 máx 30 máx 15 máx	- 50 máx 25 máx	- 51 mín 10 máx	- - 35 máx			- - 36 mín			
Características de la fracción que pasa por el tamiz Nº 40										
Límite líquido										
Índice de plasticidad	6 máx		- NP (1)	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín 11 mín	40 máx 10 máx	41 mín 11 mín	40 máx 11 mín (2) 11 mín
Constituyentes principales	Fracmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa			Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Características como subgrado	Excelente a bueno						Pobre a malo			

Fuente: Gonzales B. (2003).

Nota. Cuadro utilizado frecuentemente para hacer la clasificación AASHTO.

Uno de los factores más importantes que inciden directamente en la calidad de la obra, es el estudio de canteras, al evaluar una cantera para su uso como material de relleno y afirmado deberán tenerse en cuenta lo siguiente:

- Es importante determinar la cubicación del material de la cantera, se debe indicar el volumen disponible (Delgado, 1996).
- Verificar la libre disponibilidad para la extracción del material de la cantera, se presentará documento que acredite la libre disponibilidad (Delgado, 1996).
- Deberá especificarse el método de explotación de la cantera, para lo cual se debe presupuestar el equipo e insumos necesarios para su explotación. En caso de que sea necesario el uso de explosivos se deberá hacer usando calambucos, así mismo el zarandeo del material de modo de eliminar material grueso mayor de 2 (Delgado, 1996).

- Se debe identificar los puntos de agua, los cuales deben tener un volumen suficiente para el riego en el compactado (Geoconsul, 2012).
- En caso de que el material de cantera no cumpla con los parámetros establecidos, se deberá presentar alternativas de intercambio de material granular y/o ligante de acuerdo con el caso, de modo que la graduación de la curva granulométrica este dentro de los rangos recomendados (Geoconsul, 2012).

2.4 ESTUDIO GEOTECNICO DE CANTERAS

Los ensayos de laboratorio que se han realizado de acuerdo a las normas estándar del Método de ensayo, ASTM, AASHTO se observa en la siguiente tabla:

Tabla 11.

Especificaciones geotécnicas.

ENSAYO	MÉTODO DE ENSAYO	ASTM	AASHTO
Contenido de humedad.	MTC E 108	0-2216	
Granulometría.	MTC E 204	C-136	T27
Límites de consistencia.	MTC E 111	D-4318	T89
Peso específico.	MTC E 206	C-127	T85
Proctor modificado.	MTC E 115	0-1557	T180
C.B.R.	MTC E 132	D-1883	T193
Abrasión los ángeles	MTC E 207	C-131	T96

Fuente: Elaboración propia.

Nota. Cuadro de normas estándar del Método de ensayo, ASTM, AASHTO

2.4.1. Ensayos estándar

2.4.1.1 Ensayos para terraplenes:

Lujano (2021), humedad natural MTC E 108, Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-422, MTC E 107, Límite líquido de los suelos ASTM D-4318, MTC E 110, Límite plástico e índice de plasticidad ASTM D-4318, MTC E 111, Determinación del límite de contracción, se encuentra alta actividad de los finos MTC E 112, Gravedad



específica de los suelos, MTC E 113, Materia Orgánica en suelos, MTC E 118.

Los ensayos de laboratorio a utilizarse son:

2.4.2. Peso específico y absorción de agregados gruesos MTC E 206

Lujano (2021), el ensayo de laboratorio está basado en las Normas ASTM C 127 Y AASHTO T85, los mismos que han sido adaptados, a nivel de implementación, a las condiciones de nuestra realidad. El objetivo es describir el procedimiento que debe seguirse para la determinación de los pesos específicos nominal y aparente, así como la absorción, después de 24 horas de sumergidos en agua, de los agregados con tamaño igual o mayor a 4.75 mm (tamiz N° 4).

Equipos:

Balanzas, con capacidad igual o superior a 5000 g, según el tamaño máximo de la muestra para ensayo (Tabla 7), con sensibilidad de 0.5 g para pesos hasta de 5000 g, o 0.0001 veces el peso de la muestra, para pesos superiores.

Lujano (2021), canastillas metálicas, como recipientes para las muestras en las pesadas sumergidas se dispondrá de dos tipos de canastillas metálicas, de aproximadamente igual base y altura, fabricadas con armazón de suficiente rigidez y paredes de tela metálica con malla de 3 mm. Para agregados con tamaño máximo inferior a 38 mm (1 1/2") se utilizaron canastillas con capacidades de 4 a 7 dm³ y para tamaños superiores canastillas con capacidades de 8 a 16 dm³ (litros).

Preparación de la muestra

Lujano (2021), se inicia mezclando completamente los agregados, cuarteándolos a continuación, hasta obtener la cantidad mínima necesaria para el

ensayo, después de eliminar el material inferior a 4.75 mm. Las cantidades mínimas para ensayo se indican en la tabla, en función del tamaño máximo nominal del agregado.

Tabla 12.

Determinación de pesos específicos y absorción (MTC E-206)

Mm	pulg	Cant. mínima Kg
Hasta 12.5	½	2
19.00	¾	3
25.00	1	4
37.50	1 ½	5
50.00	2	8
63.00	2 ½	12
75.00	3	18
90.00	3 ½	25

Fuente: Cesar T. (2018).

Procedimiento

La muestra se lava primeramente con agua hasta que se elimine por completo el polvo u otras sustancias extrañas adheridas a la superficie de la partícula; luego se realiza el secado a 100-110c enfriado al aire a temperatura ambiente durante 1-3 horas en un horno. Una vez enfriado se pesa, repitiendo este procedimiento hasta obtener un peso constante, y se sumerge en agua, también a temperatura ambiente, durante 24 horas.

Cuando valores de absorción y pesos específicos se van a utilizar en concreto hidráulico con agregados normalmente húmedos, se puede omitir el secado a peso constante. Además, si los agregados se han mantenido con una superficie continuamente húmeda hasta el ensayo, también se puede omitir la inmersión de 24 horas en agua.



Los valores obtenidos para la absorción y el peso específico con agregados en estado saturado con superficie seca serán significativamente mayores si se ha omitido un secado previo antes de mojarlos, la muestra luego se seca en un horno a 100° - 110° C, se enfría a temperatura ambiente durante 1 a 3 horas y se determina el peso seco hasta el peso constante.

2.4.1.2 Ensayo abrasión los ángeles

Lujano (2021), este ensayo se realiza a los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 1/2") este modo operativo está basado en las normas ASTM C 131, AASHTO T 96 y ASTM C 535, las mismas que se han adaptado al nivel de implementación y a condiciones propias de nuestra realidad.

Este ensayo tiene como propósito referirse al procedimiento a seguir para realizar la prueba de desgaste de los agregados gruesos hasta el espesor 37.5 mm (1 1/2") por la máquina de los ángeles, se utiliza el método para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, utilizando estos con carga abrasiva. Para la abrasión de agregados gruesos, el cilindro lleva uno en sus extremos cerrado y en el centro de cada extremo un eje, uno de los cuales no penetra en el interior, dejando el cilindro tal como para poder girar y lograr la rotación de la mezcla y el de la carga abrasiva. La abertura puede cerrarse mediante una tapa con empaquetadura que evita que escape el polvo fijado con pernos. La carga abrasiva estará compuesta por bolas de acero o hierro fundido, con un diámetro entre 390 g y 445 y dependerá de la granulometría del ensayo, A, B, C, D, como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 13.

Resistencia al desgaste abrasión los ángeles (MTC E-206)

Granulometría de ensayo	Número de esferas	Peso total (gr)
A	12	5000 ± 25
B	11	3330 ± 20
C	8	4584 ± 25
D	6	2500 ± 15

Fuente: MTC - 2013.

Procedimiento

Lujano (2021), la muestra y la carga abrasiva correspondiente se colocan en la máquina de los ángeles, y el cilindro se acciona a una velocidad entre 30 y 33 rpm; el número total de vueltas debe ser 500. La máquina debe girar regularmente para mantener intentar una velocidad constante. Después de completar el número prescrito de revoluciones, se descarga del cilindro y se realiza una separación de la muestra ensayada, en el tamiz #12. La fracción fina que pasa se tamiza luego a través de un tamiz de 1,70 mm(N°12). El material más grueso que el tamiz de 1.70 mm(N°12) se lava, se seca en el horno, a una temperatura comprendida entre 105 a 110 C.

De acuerdo con las especificaciones generales para la construcción de carreteras (EG-2013) según el MTC, los ensayos fundamentales y sus frecuencias para afirmado.

Tabla 14.

Especificaciones generales para la construcción de carreteras.



ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS						
ENSAYOS FRECUENTES	PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS	MÉTODO DE ENSAYO	NORMA ASTM	NORMA AASHTO	FRECUENCIA	LUGAR DE MUESTRA
	Granulometría	MTC E 204	D 422	T 27	1 cada 750m ³	Cantera
	Límites de consistencia	MTC E 111	D 4318	T 89	1 cada 750m ³	Cantera
	Abrasión los ángeles	MTC E 207	D 131	T 96	1 cada 2000m ³	Cantera
	CBR	MTC E 132	D 1883	T 193	1 cada 2000m ³	Cantera
	Densidad – Humedad	MTC E115	D 1557	T 180	1 cada 750m ³	Pista
	Compactación	MTC E 117 MTC E 124	D 1556 D 2922	T 191 T 238	1 cada 250m ³	Pista

Fuente: MTC - 2013.

La norma señala que para afirmados se debe cumplir con los siguientes requisitos: Que los materiales granulares para la construcción del afirmado deberán ajustarse a las siguientes franjas granulométricas como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 15.

Franjas granulométricas.

TAMIZ	A-1	A-2
50 mm (2")	100	-
37.5 mm (1 1/2")	100	-
25 mm (1")	90 – 100	100
19 mm (3/4")	65 – 100	80 – 100
9.5 mm (3/8")	45 – 80	65 – 100
4.75 mm (N°4)	30 – 65	50 – 85
2.0 mm (N°10)	22 – 52	33 – 67
425 µm (N°40)	15 – 35	20 – 45
4.5 µm (N°200)	5 – 20	5 – 20

Fuente: AASHTO M - 147.

Así mismo, deberán satisfacer los siguientes requisitos de calidad:

- Desgaste Los Ángeles: 50% máx. (MTC E 207)
- Límite líquido: 35% máx. (MTC E 110)
- Índice de plasticidad: 4-9% (MTC E 111)
- CBR (1): 40% mín. (MTC E 132)

2.4.2. Exploración

Geoconsul (2012), la exploración de canteras o fuentes de materiales debe tener un área que proporcione un volumen de material útil del orden de 1,5 veces las necesidades del proyecto.

El número mínimo de calicatas será de 6 de 3.0 m de profundidad o alternativamente 12 calicatas de 1.5 m de profundidad por hectárea por medio de sondeos, calicatas y/o trincheras. Las muestras representativas de los materiales de cada cantera serán sometidas a los ensayos estándar, mínimo con 6 pruebas por tipo de ensayo a fin de determinar sus aptitudes y características para los diversos usos que sean necesarios rellenos, afirmados, concreto, etc.



2.4.1.3 Muestreo de canteras

Es necesario ubicar materiales aparentes para su empleo en diferentes capas del pavimento y obras de arte, observándose todos los lugares donde existen materiales sedimentarios en el sub-suelo y en zonas que geológicamente pudieran ser fuentes de rocas en descomposición o de materiales granulares aparentes para la construcción del pavimento y de las obras definidas en un estudio (Herrera, 1999).

2.4.1.4 Explotación de canteras

Referente a ver la calidad de las canteras, conocer si cumplirá con las condiciones de las especificaciones del material que se busca, asimismo se deberá conocer la suficiente potencia rendimiento de este, el estado de los accesos y su situación legal (Lahee, 1979).

Lambe (1989), las canteras serán evaluadas y seleccionadas por su calidad y cantidad (potencia), así como por su menor distancia a la obra. Las prospecciones que se realizarán en las canteras se realizarán en base a calicatas de las que se obtendrán las muestras necesarias para los análisis y ensayos de laboratorio.

2.4.1.5 Tipos de canteras

- **Cantera de suelos.** Estas canteras serán evaluadas y seleccionadas por su calidad y cantidad (potencia). Las prospecciones que se realizarán en las canteras se efectuarán en base a calicatas, sondeos y/o trincheras de las que se obtendrán las muestras necesarias para los análisis y ensayos de laboratorio (Judd, 1972).

- **Cantera de roca.** Las características del afloramiento rocoso como fracturamiento, volumen, dimensionamiento de los bloques y la metodología del procesamiento de explotación (método de voladura, chancado, etc) (Radnor, 2005).

2.4.3. Clasificación geo mecánica de roca

Tiene como objetivo proporcionar una evaluación geomecánica del macizo rocoso que se estudia a partir de observaciones simples y de campo. Lujano (2021).

2.4.1.6 Designación de la calidad de rocas (RQD)

Juarez (1974), la Designación de la calidad de Rocas (Rock Quality Designation) fue desarrollado por Deere et al. (1967), para estimar cuantitativamente la cualidad del macizo rocoso, basándose en la recuperación de un testigo. Son dependientes del número de fracturas y del grado de alteración del macizo.

Tabla 16.

Relación entre el valor del RQD y la calidad de la roca.

RQD %	CALIDAD DE LA ROCA
< 25	Muy mala.
25 – 50	Mala.
50 – 75	Regular.
75 – 90	Buena.
90 – 100	Excelente.

Fuente: Deere, D.U. and Deere, D.W. 1988.

Lujano (2021), el diámetro del testigo tiene que ser igual o superior a 57.4 mm, y debe que ser perforado con un doble tubo de

extracción de testigo. El RQD es el porcentaje de fragmentos de longitud superior a 10 cm, sobre la longitud total del testigo.

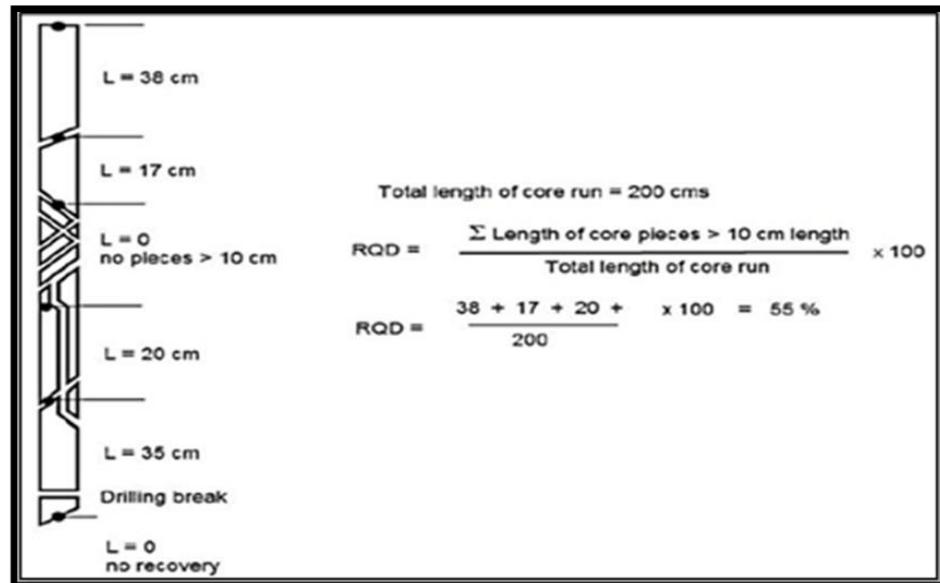


Figura 2. RQD.

Fuente: Deere, D.U. and Deere, D.W. 1988.

Para el cálculo del RQD es a partir de las ecuaciones siguientes:

$$RQD = 115 - 3.3 JV \rightarrow JV > 4.5$$

$$RQD = 100 \rightarrow JV \leq 4.5$$

Dónde: JV es el número de juntas identificadas en el macizo rocoso por m^3 .

También hay otra forma de encontrar RQD, es tomar una línea con una cinta métrica en las cercanías de la estación geomecánica o entre varias de ellas alineadas. (tomaremos en general tantas zonas como diferenciadas estimemos, aunque habitualmente será suficiente con un par

de ellas si el macizo es muy semejante en toda la longitud investigada). Lujano (2021).

Medimos todas las juntas que interceptan nuestra línea “grosso modo”, siendo este el parámetro “ λ ”. Para la determinación del RQD del macizo. Aplicaremos la formulación de Priest y Hudson que requiere de λ . (juntas por metro lineal). Lujano (2021).

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$$

Donde λ : es el número de juntas por metro lineal.

2.4.3.2. Valoración de roca (RMR)

La evaluación del macizo rocoso (Rock Mass Rating), introducida por Bieniawski (1976), es quizás la clasificación geomecánica más utilizada. Diseñado principalmente para evaluar la estabilidad y los soportes necesarios en túneles, también ha demostrado ser adecuado para la evaluación de la estabilidad de taludes. El RMR permite obtener los parámetros de cohesión y del ángulo de fricción, parámetros de resistencia del criterio de Mohr-Coulomb. Lujano (2021).

En las siguientes ecuaciones se muestran las relaciones entre RMR y los parámetros resistentes.

$$C = 5RMR(KPa)$$

$$\Phi = 5 + \frac{RMR}{2} (\text{deg})$$

Dónde:



C : Es la cohesión.

Φ : Es el ángulo de fricción.

El **RMR** es una clasificación geomecánica, en la que se tienen en cuenta los siguientes parámetros del macizo rocoso:

- Resistencia del material intacto, que se obtiene mediante ensayo de carga puntual o compresión simple.
- RQD
- Espaciado de las discontinuidades, hace referencia a la longitud entre discontinuidades dentro de la zona a estudio.
- Condición de las discontinuidades, que incluye:
 - Longitud de la discontinuidad
 - Abertura
 - Rugosidad
 - Relleno
 - Alteración
- Presencia de agua subterránea.

A cada uno de los parámetros anteriores se le asigna un valor, el RMR se obtiene como a suma de todos ellos.

$$RMR = (1^\circ) + (2^\circ) + (3^\circ) + (4^\circ) + (5^\circ)$$

Una vez obtenido el RMR para el macizo, se pueden obtener los parámetros resistentes, cohesión y el ángulo de fricción.



Hay que tener en cuenta que hay dos versiones para obtener el RMR, el RMR76, del AÑO 1976, Y el RMR89, de 1989. La diferencia radica en los valores asignados a los parámetros presencia de agua subterránea, condición de las discontinuidades y RQD así como el espaciamiento de las discontinuidades. Se muestra la diferencia entre los valores que se dan a los parámetros según el criterio.

Lujano, (2021).

Tabla 17.

Diferencia de valores entre RMR76 y RMR89.

PARÁMETRO	RMR76	RMR89
RQD y Espaciado de las discontinuidades	8 – 50	8 – 40
Condición de las discontinuidades	0 – 25	0 – 30
Presencia de agua subterránea	0 – 10	0 – 15

Fuente: Bieniawski, Z.T. 1976.

Tabla 18.

Parámetros y rango de valores para la clasificación geomecánica

RMR89.

Parámetros		Rango de valores							
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo carga puntual	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa			
		Compresión simple	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	Valor	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD	90-	75-90%	50-75%	25-50%	25%			
	Valor	20	17	13	8	3			
3	Espaciado de las discontinuidades	> 2 m	0.6-2 m	0.2-0.6 m	6-20 cm	< 6 cm			
	Valor	20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m		
		Valor	6	4	2	1	0		
	Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1-1.0	1-5 mm	> 5 mm			
	Valor	6	5	3	1	0			
	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave			
	Valor	6	5	3	1	0			
	Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm			
	Valor	6	4	2	2	0			
	Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta			
Valor	6	5	3	1	0				
5	Flujo de agua en las juntas	Relación Pagua / Pprinc	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo		
	Valor	15	10	7	4	0			

Fuente: Bieniawski, Z.T. 1976.

2.5 MARCO CONCEPTUAL

2.5.1. Cantera

Lujano (2021), una cantera es fuente principal de materiales pétreos los cuales se constituyen en uno de los insumos fundamentales en el sector de la



construcción civil, estructuras, vías, presas y embalses, entre otros por ser materia prima en la ejecución de estas obras, su valor económico representa un factor significativo en el costo total de cualquier proyecto.

2.5.2. Caracterización

Es la descripción cuantitativa y cualitativa de los suelos, para determinar sus propiedades físicas y mecánicas. (Chura, W. 2016).

2.5.3. Estudio de suelos

Lujano (2021), es el estudio del sitio donde se proyecta construir un puente, una carretera, etc. particularmente la operación de obtención de muestras, se deja muchas veces en manos de personal poco experimentados. El estudio del suelo no debe limitarse al lugar por donde pasará una carretera, o donde se levantará un terraplén. El estudio del sitio debe comprender los principales accidentes naturales del terreno; asimismo el conocimiento de las características de la región: si es o no una zona lluviosa.

Los factores que intervienen en la formación de los suelos podríamos resumirlos a los siguientes:

- La materia de origen, o roca madre, de la cual se ha originado el suelo.
- Agua.
- La topografía del lugar.
- El clima de la región.
- La temperatura
- Organismos existentes.
- El ser humano



El suelo es una función de estas variables: roca madre, agua, topografía, clima, organismos y el ser humano.

Las características principales de los suelos son los siguientes:

- Su composición química y mineralógica.
- El tamaño de sus partículas.
- El Peso específico.
- Contenido de humedad.

Valle (1997), la composición química y mineralógica de los suelos es la principal característica, pues las propiedades de un suelo están íntimamente relacionadas con su contenido de metales o metaloides. Los principales elementos que se encuentran en las rocas, no en estado libres, sino combinados con el oxígeno. Asimismo, como quiera que el tamaño de las partículas es la primera característica que se observa y la menos difícil de medirla.

2.5.4. Mecánica de suelos.

Juárez (1996), es un fruto característico de la ingeniería de nuestro tiempo: fue a principios de este siglo, en 1913, en los Estados Unidos y en Suecia, donde se intentó por primera vez, en forma sistemática y organizada, realizar estudios que corrigieran vicios seculares en el tratamiento de los suelos. Poco después, un hombre extraordinario de nuestro tiempo hizo investigaciones en un laboratorio muy modesto, con el auxilio de sus cajas de puros, en una Universidad en el cercano Oriente. Allí nació verdaderamente la Mecánica de Suelos



2.5.5. Propiedades físico-mecánicas de suelos

La proporción de los componentes determina una serie de propiedades que se conocen como propiedades físico mecánicas del suelo: textura, estructura, color, permeabilidad, porosidad, drenaje, consistencia, profundidad efectiva. (Juárez B. E.1996).

2.5.1 Roca

Es un agregado natural duro y compacto de partículas minerales con fuertes uniones cohesivas permanentes que habitualmente se consideran un sistema continuo. (Gonzáles de Vallejo, 2002).

Agregado natural compuesto de partículas de uno o más minerales, con fuertes uniones cohesivas, que no pueden ser disgregados o excavados con herramientas manuales, originada en forma natural por procesos geológicos. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2012).

2.5.2 Suelo

Lujano (2021), se denomina suelo a todo agregado natural no cementado de granos, minerales y materia orgánica descompuesta junto con el agua y aire que ocupan los espacios vacíos entre partículas sólidas.

Conjunto de partículas minerales o de materia orgánica en forma de depósito, generalmente minerales, pero a veces de origen orgánico, que pueden separarse por medio de una acción mecánica sencilla y que incluyen cantidades variables de agua y aire.

2.5.3 Terraplén

Bañon (1998), los terraplenes son grandes acumulaciones de tierra adecuadamente tratadas y compactadas para asegurar su estabilidad y servir de soporte a la vía; se construyen en zonas de cota inferior a la prevista en proyecto mediante aportes de tierras, pudiendo aprovecharse las extraídas en zonas de desmonte; siempre que sean aptas o emplear tierras de préstamo traídas de zonas cercanas y es lógico que en un terraplén la distribución tensional de cada uno de sus puntos varíe con la profundidad, debido a la progresiva disipación de las cargas de tráfico ocasionada por el aumento de la sección resistente. Este hecho se traduce en que la calidad exigible a un suelo decrece a medida que nos alejamos del firme sustentador del tráfico, foco generador de las tensiones.

2.5.4 Terreno de fundación

Lujano (2021), se denomina así a la capa de suelo a la estructura del pavimento, preparada y compactada como fundación para el pavimento.

Es aquel que sirve de fundación o soporte determinado el movimiento de compacto o tierra, de su capacidad de soporte (C.B.R) depende en gran parte del espesor que debe tener un pavimento o mejorar su condición.

Tabla 19.

Clasificación del suelo según su C.B.R.

TERRENO DE FUNDACIÓN	C.B.R.
Pobre	2 -5
Regular	5 – 10
Bueno	10 – 20
Muy bueno	20 – 40
Excelente	40 – 80

Fuente: Juárez B. E. 1996.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 DISEÑO METODOLÓGICO

La metodología en este trabajo de investigación es analítica - descriptiva y evaluativa, realizada mediante la recopilación de datos de campo para su análisis y evaluación; Se establece el grado de relación directa entre sus variables y los resultados, por lo que se analiza resultados para evaluarlos y explicarlos.

3.1.1 Tipo de investigación

Este trabajo es de tipo analítico, descriptivo y evaluativo; Con respecto a las propiedades físico – mecánicas del suelo del terreno de fundación y materiales de cantera.

3.2 REVISIÓN, RECOPIACIÓN Y ELABORACIÓN DE INFORME

Para el presente trabajo de investigación se realizó la planificación de acuerdo con la metodología a aplicar y se examinó las bibliografías referentes al tema a estudiar.

Se tomó en cuenta distintos trabajos bibliográficos como: investigaciones, tesis, artículos, etc. De esta forma se obtuvo una mejor visión frente a este proyecto en relación al estudio geotécnico para el mejoramiento de la carretera PU N° Desvío Asiruni - Rosaspata, y así de esta forma lograr una investigación de provecho para nuestra sociedad.

3.3 POBLACION Y MUESTRA

3.3.1 Población

Para realizar este trabajo de investigación se consideró como población comprendida por toda la extensión de la carretera PU N°110 Dv Asiruni -



Rosaspata que consta de 20.100 Km que están considerados para el mejoramiento de la carretera PU N°110 desvío Asiruni – Rosaspata, Provincia de Huancané de la Región de Puno.

3.3.2 Muestra.

Como muestra se tomará en consideración la obtención de materiales de cada calicata y para obtener la información se dispuso la excavación de calicatas, ubicados de manera apropiada acorde a las características del suelo desde el inicio “dv. Asiruni” hasta el final “Rosaspata” a lo largo de la vía y para la georreferenciación de estos se utilizó el sistema de posicionamiento global (GPS) y también se hizo la descripción correspondiente respecto a las características de la zona de trabajo.

3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.4.1 Variable independiente

Características geotécnicas como son:

Contenido de humedad, granulometría, límite de consistencia, densidad máxima seca compactada, capacidad de carga, gravedad específica y absorción de finos, calidad del suelo empleado, etc.

3.4.2 Variable dependiente

Geotecnia

3.4.3 Operación de variables

Tabla 20.

Operación de variables.

VARIABLES	INDICADORES	INDICES	INSTRUMENTOS	
V. independiente	Contenido de humedad		(%) de humedad	
	Granulometría	Clasificación SUCS AAHSTO	Tabla SUCS	
	Límites de consistencia		Tabla AAHSTO	
			L.L	
			L.P	
			I.P	
	Características geotécnicas del terreno de fundación y de canteras.	Densidad máxima seca compactada.	Proctor	Ensayo de proctor modificado
		Capacidad de Gravedad específica y absorción de	C.B.R	Ensayo de C.B.R
			Peso específico	Ensayo de peso específico y absorción de grava
		Calidad del suelo empleado	Cantidad de finos	Ensayo de equivalente de
Resistencia a la trituración pétreo		Durabilidad de la roca	Ensayo abrasión los ángeles	
V. dependiente			Laboratorio de suelos y rocas.	
Estudio geotécnico	Terreno de fundación	Certificados de laboratorio		
	Canteras o materiales de préstamo		Softwares	

Fuente: Elaboración propia.

3.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1 Etapa de campo

En esta etapa la recolección de datos es de suma importancia para un buen estudio geotécnico de la carretera PU N°110 Dv Asiruni - Rosaspata. En el presente trabajo de investigación se empleó técnicamente la observación y recolección de muestras lo largo de la carretera del terreno de fundación, que se realizara con la excavación de calicatas y así observar detalladamente las muestras



para posteriormente graficar el perfil estratigráfico que esté, presente y posteriormente hacer los ensayos de laboratorio y su clasificación de suelos.

De la misma forma se hizo el reconocimiento y se ubicó los lugares para la apertura del corte a cielo abierto para poder ver los distintos tipos de suelos que este terreno de fundación presenta y así hacer el muestreo en cantidades suficientes. Se hará una descripción detallada de cada una de las calicatas realizando visualmente un perfil estratigráfico que presentará cada una de las calicatas aprovechando también para obtener información de la existencia de material orgánico, nivel freático, humedad natural, etc.

Las muestras que se tomarán deberán ser en cantidades suficientes, para enviarlos al laboratorio de mecánica de suelos para hacer los ensayos correspondientes y así poder determinar sus características físico-mecánicas del terreno de fundación.

También se realizará el reconocimiento de las zonas donde se tomarán los materiales de préstamo; correspondientemente se harán los ensayos de laboratorio de suelos.

3.5.2 Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos

En esta etapa se realizó el procesamiento de las muestras tomadas en campo, los ensayos se hicieron en un laboratorio de mecánica de suelos.

Los ensayos de laboratorio se realizaron de acuerdo a las normas nacionales e internacionales del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y



Transporte (AASHTO) y Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM) los cuales son:

Ensayos de terreno de fundación

- Contenido de humedad natural MTC E-108.
- Análisis granulométrico por tamizado MTC E-107.
- Determinación del límite líquido del suelo MTC E-110.
- Determinación del límite plástico e índice de plasticidad MTC E-111.
- Proctor modificado MTC E-115.
- CBR de suelos MTC E-132.

Ensayos de laboratorio en canteras y especificaciones.

- Contenido de humedad MTC E-108
- Análisis granulométrico por tamizado MTC E-107.
- Determinación del límite líquido del suelo MTC E-110.
- Determinación del límite plástico e índice de plasticidad MTC E-111.
- Proctor modificado MTC E-115.
- CBR de suelos MTC E-132.
- Equivalente de arena MTC E-114.
- Abrasión los ángeles MTC E-207.

Los Requerimientos Granulométricos para Sub-base y Base Granular, deberán ajustarse a alguna de las siguientes franjas granulométricas:

Tabla 21.

Requerimientos Granulométricos para Sub-base y Base Granular (MTC.ASTM D 1241).

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75 – 95	100	100
9.5 mm	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100
4.75 mm (N°	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85
2.0 mm (N°	15 – 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70
4.25 um (N°	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
75 um (N°	2 – 8	5 – 15	5 – 15	8 – 15

Fuente: Manual de Carreteras EG-2013.

El material también cumplió con los siguientes requisitos de calidad.

Tabla 22.

Requerimiento de calidad de materiales de préstamo.

ENSAYO	NORMA	NORMA	NORMA	REQUERIMIENTO	
				< 3000 msnm	> 3000 msnm
Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25 % máx.	25 % máx
índice Plástico	MTC E 111	D 4318	T 89	6 % máx.	4 % máx
Abrasión	MTC E 207	C 131	T 96	50 % máx.	50 % máx
C.B.R.	MTC E 132	D 1883	T 193	40 % min	40 % min
Equiv. de arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25 % min	35 % min

Fuente: Manual de Carreteras EG-2013.

Así como indica en las especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras (EG-2013) según el MTV, los ensayos fundamentales y sus frecuencias para los materiales de cada base y sub – base, cumplieron con los requisitos siguientes de calidad:

Tabla 22.

Requisitos de calidad para base y sub-base.

Material y producto	Propiedades y características	Método de ensayo	Norma ASTM	Norma AASHTO	Frecuencia (1)	Lugar de muestreo
Base	Granulometría	MTC 204	E D 422	T 27	1 cada 750 m ³	Cantera
	Límites de consistencia	MTC 111	E D 4318	T 89	1 cada 750 m ³	Cantera
	Abrasión los ángulos	MTC 207	E C 131	T 96	1 cada 2000 m ³	Cantera
Sub-base	CBR	MTC 132	E D 1883	T 193	1 cada 2000 m ³	Cantera
	Equivalente de arena	MTC 114	E D 2419	T 176	1 cada 2000 m ³	Cantera
	Densidad – Humedad	MTC 115	E D 1557	T 180	1 cada 750 m ²	Pista
	Compactación	MTC 117	E	D 1556	T 191	1 cada 250 m ²
D 2922				T 238		
		MTC 124	E			

Fuente: Manual de Carreteras EG-2013.

Estos ensayo son necesarios para conocer las características físico – mecánicas de los suelos que serán utilizados en la construcción de carreteras.

Estos son los ensayos necesarios para poder tener las características físico - mecánicas de los suelos y serán utilizados en la construcción de carreteras.

3.5.3 Trabajos de gabinete

En esta etapa ya se tiene resultados obtenidos de laboratorio y se evaluó para hacer la clasificación de estratos existentes de cada calicata realizada, y se pasara a hacer la zonificación de subtramos.

Para una mejor comprensión y planificación de los movimientos de tierra, los sectores que requieran de mejora determinaran las profundidades necesarias para mejorar su capacidad portante de los suelos de fundación.



Asimismo, con los resultados de campo y laboratorio de suelos, se realizarán los perfiles estratigráficos de las calicatas realizadas y descripción correspondiente.

Se realizó también el reconocimiento de canteras y zonas donde se requieren muros de contención, que cumplen con las especificaciones técnicas generales de las carreteras EG-2000.

3.5.4 Descripción final

Los resultados obtenidos en campo y laboratorios han sido plasmados en este trabajo de investigación que está constituido por 5 capítulos incluyendo también las conclusiones y recomendaciones para este proyecto, asimismo contara también con los anexos: panel fotográfico, ensayos de laboratorio y planos.

3.6 MATERIALES, INSTRUMENTOS Y EQUIPOS.

Para el presente trabajo de investigación “EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO DE FUNDACIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DE CARRETERA PU N° -110 Dv. ASIRUNI – ROSASPATA, PROVINCIA DE HUANCANÉ – PUNO. TRAMO (00+000 A 20+100)” los recursos necesarios que se utilizarán en nuestro proyecto serán los siguientes:

Infraestructural

- Laboratorio de suelos y roca debidamente equipados

Recursos Humanos

- Responsable del proyecto de investigación
- Personal asistente



- Conductor

Equipos de gabinete

- Laptop
- Impresora multifuncional
- Papel
- Útiles de escritorio

Equipos de campo

- Brújula
- Planos
- Libreta De Campo
- Martillo geológico
- Protactor
- Gps
- Cámara Fotográfica
- Bolsa de muestreo
- Flexómetro
- Wincha de 50 m
- Pala
- Materiales para investigaciones geotécnicas

Servicios

- Movilidad “camioneta 4x4”
- Estadía y Viáticos
- Botiquín



Softwares utilizados

- Autocad 2019
- Arcgis 10.5



CAPÍTULO IV CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1 UBICACIÓN

Ubicación política

Departamento : Puno
Provincias : Huancané
Distritos : Vilquechico – Rosaspata

Localización

El Proyecto está localizado en el sur del país:

Carretera : Asiruni - Rosaspata
Tramo : Dv. Asiruni – Rosaspata
Kilometraje : Km. 0+000 - Km. 20+100
Altitud : 3812.672 msnm – 3960.128 msnm

Geográficamente está localizado según los planos del área entre las Coordenadas

UTM WGS84, zona 19 sur:

- Asiruni. km 0+000: 426847.2745 E, 8314624.2019 N
- Rosaspata. km 20+100: 444496.7175 E, 8314703.7502 N

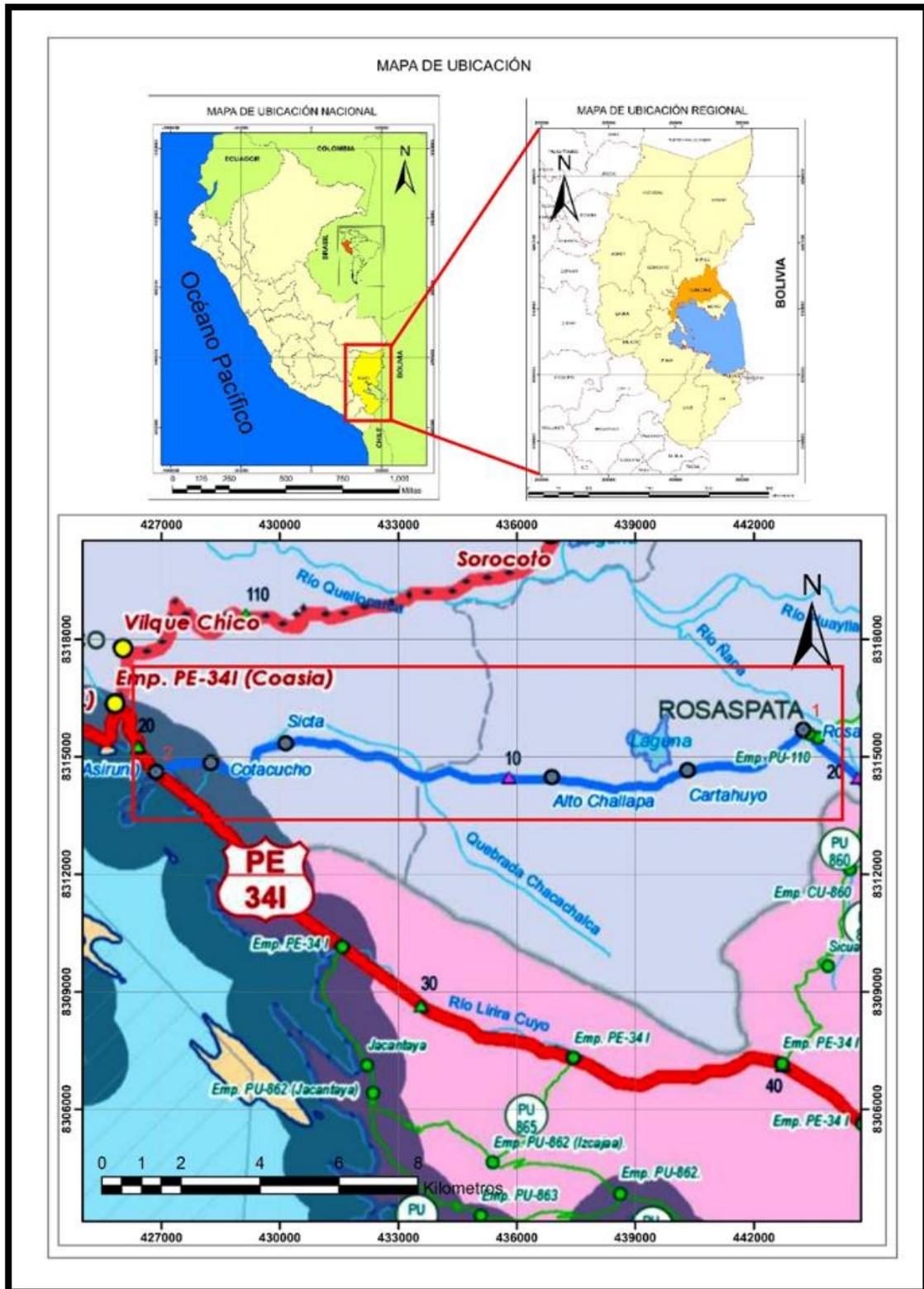


Figura 3. Mapa de ubicación

Fuente: Elaboración propia

4.2 ACCESIBILIDAD

Terrestre: Lima, Arequipa, Juliaca, Huancané: 1324 km (18 horas en auto).

Aérea: Vuelos regulares a Juliaca desde Lima (1 hora 45 minutos, con escala en Arequipa) y desde Arequipa (25 minutos).

Férrea: Cusco - Juliaca: 340 km (9 horas).

Tabla 23.

Accesibilidad

RECORRIDO	DISTANCIA	VIA	TIEMPO	MEDIO DE TRANSPORTE EXISTENTE
De puno a Juliaca	42 km	carretera asfaltada	1 hora	-Servicio expreso. Servicio expreso desde la ciudad de puno
De Juliaca a Huancané	55 km	carretera asfaltada	1 hora	-servicio expreso. Servicio expreso desde la ciudad de Juliaca y/o servicio expreso desde la ciudad de puno
De Huancané a Dv. Aziruni	15 km	carretera asfaltada	15 minutos	-servicio expreso. Servicio expreso desde la ciudad de Huancané y/o servicio expreso desde la ciudad de puno
Total			02 horas y 15 minutos	

Fuente: elaboración propia

4.3 CLIMA E HIDROLOGIA

4.3.1 Clima

Las condiciones climáticas que presenta la zona de estudio corresponden generalmente a un tipo semiseco y frio. Durante el año prácticamente se presenta dos estaciones: la primera es húmeda en tiempos de precipitaciones pluviales (noviembre y marzo), temporada optima y recomendables para construcciones de estructuras de concreto; y la otra estación es seca por la ausencia de lluvias y baja temperatura nocturna.



4.3.2 Hidrología

La zona de estudio presenta generalmente precipitaciones pluviales que son registrados entre los meses de noviembre y marzo, llegando al punto máximo de precipitación pluvial entre los meses de enero y marzo.

En el ámbito de esta zona se encuentran riachuelos en su mayor parte, los mismos que forman pequeños ríos, los que finalmente desembocan en el lago Titicaca.

4.4 GEOLOGIA LOCAL

4.4.1 Trazo actual de la carretera

La carretera afirmada Asiruni – Rosaspata, 20+100 km de longitud se inicia en el centro poblado de Asiruni, atraviesa hasta el km 5+100 zonas semiplanos, en adelante presenta geoformas un poco más accidentados hasta el km 16+900 y de ahí en adelante vuelve a entrar a geoformas semiplanas hasta el final de nuestro tramo (km 20+100).

Se continúa ascendiendo y descendiendo por lomadas y colinas de pendientes bajas hasta el punto final del trazo.

4.4.2 Unidades geomorfológicas locales

La geodinámica externa e interna en la zona dio el modelado de la superficie terrestre quedando diferentes unidades geomorfológicas. Estas unidades se detallan a continuación.



4.4.2.1 Sistemas Montañosos

Este sistema está constituido por geoformas elevadas de origen tectónico o volcánico; relacionas por su composición litológica, resistencia, dureza y alterabilidad de los macizos rocosos (erosión diferencial). En la zona de estudio su formación obedece a rocas sedimentarias de las formaciones Huancané, Vilquechico y grupo Moho. Estas unidades son:

Montañas (M).- Esta unidad esta representa por las elevaciones más pronunciadas ubicadas en la zona de estudio con elevaciones de 300 metros desde la base, de las cuales los cerros de nuestra zona presentan estas características. A su vez esta unidad presenta sub unidades de laderas altas y bajas.

Colinas Altas (C-a).- Esta unidad se presenta con altitud inferior a la unidad geomorfológica de montañas, presentan elevaciones desde 200 a 300 metros sobre la base, en la zona de estudio se pueden visualizar las colinas con laderas de pendientes suaves, esta unidad se presenta con altitud superior a las demás unidades y debajo de las montañas, estas están presentes en el área de estudio, son elevaciones de forma redondeada, producto de la erosión de rocas volcánicas.

Colinas Medias (C-m).- Esta unidad geomorfológica se presenta elevaciones intermedias entre los 100 a 200 metros sobre la base en la zona se observa las colinas que presentan relieves suaves debido a la erosión de rocas.

Colinas Bajas (C-b).- Esta unidad presenta elevaciones inferiores a los 150 metros se han desarrollado en afloramientos rocosos, llegando a conformar geoformas de relieve muy suave. Se presentan en las partes bajas muy cercanas al lecho fluvial.



4.4.2.2 Sistema Glacial

Dentro de este sistema se encuentra la unidad de Valle en “U”, la cual ha sido realizado por los glaciares y masas de hielo en movimiento, ya sea por el retroceso de una lengua de glaciar que produce una erosión intensa en los flancos del valle.

Valles En “U” (V-U).- Esta unidad se presenta por la forma de U, originado por la depresión de terrenos en forma longitudinal, de muchos kilómetros de extensión en los fondos de los lechos fluviales discurren los ríos, los flancos del valle casi verticales separados por un eje ancho y alargado.

4.4.2.3 Sistema Fluvial

Este sistema se realiza por la acción de las aguas de escorrentía o superficiales; el drenaje del agua superficial en los lechos de los ríos se observa que es en dirección. Las unidades presentes en este sistema son:

Llanura Aluvial (LL-al).- Son zonas de material depositado en las depresiones, transportados por las aguas de los ríos y también como pie de monte.

Estos se conforman con clastos de rocas en su mayoría sub-angulosos a sub-redondeados, producto de la erosión de los afloramientos rocosos.

Cauces Fluviales. - En la zona de estudio la geoforma está determinada por el dominio estructural que dieron lugar a la formación de quebradas que con el tiempo fueron tomando formas a los valles, estos se

pueden visualizar en quebradas de pendientes suaves que son alimentados por río de flujo temporal, es por eso que hay temporadas que están secas.

Por otra parte, el cauce fluvial que desemboca en el río principal, a la vez la presencia de un ojo de agua en la progresiva 1+400. Todos estos contribuyen al cauce fluvial principal del río; añadiendo a la vez la escorrentía superficial de las precipitaciones en temporadas de lluvia que desembocan en el lago Titicaca.

Bofedales (Bof).- Se caracterizan por ser zonas con vegetación. Debido a la saturación del suelo por las aguas. Solo se aprecian entre las progresivas 0+600 hasta 2+300.

4.4.2.4 Sistema Antrópico

Dentro de este sistema se clasifican a todos aquellos cambios en el relieve terrestre, los cuales han sido causados por la mano del hombre. Estos cambios se dan con fines de beneficio económico o social para tal caso tenemos la siguiente clasificación.

Viviendas (Vi).- Estas construcciones están elaboradas de forma artesanal (adobe o ladrillo, paja, palos y calaminas), los cuales contribuyen en la modificación del relieve terrestre. Estas construcciones se usan como viviendas o refugio para la gente de la zona. En el área de estudio se pudo observar una variedad de viviendas, estos están ligeramente aisladas unas de las otras, pero existe también una zona de mayor concentración.

Vías De Acceso (V-ac).- En nuestra zona de estudio se han construido estas vías de comunicación con el fin de tener un acceso hacia



las vías principales, así como también para la intercomunicación entre comunidades y/o poblaciones cercanas.

4.4.3 Litoestratigrafía local

La zona de estudio presenta afloramientos litológicos de la Fm. Huancané, Gpo. Moho, Fm. Vilquechico y dep. Aluviales y coluviales. Pudiendo tener distintos tipos de litología a lo largo de nuestra carretera así mismo teniendo diferente composición en distintos lugares.

Los afloramientos rocosos que se tiene en el área están ligados a rocas sedimentarias de composición cuarzosa y feldespática.

4.4.3.1 Era-Mesozoico

Formación Huancane (Ki-hua)

En nuestro lugar de estudio se puede observar desde la progresiva inicial 0+000, en el margen izquierdo a esta litología perfectamente representada con areniscas cuarzosas en contacto gradacional de fangolitas tomando una coloración blanquecina a rosácea.

Grupo Moho (Kis-m)

Este tipo litológico inicia aproximadamente en la progresiva 2+800 representada primeramente con areniscas rojizas y posteriormente representadas lodolitas rojizas, se representa con grandes cuerpos en los dos lados de nuestra carretera.

Formación Vilquechico (Ks-vi)

En el trayecto aproximadamente en la progresiva 3+200 a 120 metros al lado izquierdo se puede observar un afloramiento de un macizo rocoso formado de areniscas cuarzosas de grano fino, tomando los colores anaranjado, rosado y gris. Evaluándose como cantera para enrocado en el mejoramiento en las zonas con presencia de bofedales.

4.4.3.2 Era –Cenozoico

Cuaternario Aluvial (Qh-al)

Se puede observar al inicio del tramo entre las progresivas 0+000 hasta 4+400 al margen derecho de la carretera entre los bofedales. Compuesta por materiales arcillosos, limos y arenas finas.



Figura 4. Zona de contacto del Grupo Moho y la formación Huancané

Fuente: Elaboración propia



4.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Se han considerado unidades estructurales con características bien definidas distribuidas en el sector Huancané – Moho donde las rocas del Mesozoico presentan fuerte plegamiento y fallas que están cubiertas por una gruesa secuencia de rocas terciarias y cuaternarias que no sufrieron mayores deformaciones tectónicas.

Las estructuras de mayor realce en la zona se dan a causa de dos fases principales de plegamiento y tienen una orientación NW-SE coincidiendo con la dirección actual de la cordillera de los andes.

4.6 SISMICIDAD

4.6.1 Sismicidad histórica

IGP, 2014) los sismos más relevantes que afectaron a la región son:

- El sismo del 31 de marzo de 1650 con intensidad IX en Paucartambo-Cusco y V en Puno.
- Sismo de Ayapata-Puno de 1747 con intensidad VIII en Ayapata.
- Sismo del 9 de Abril de 1928 en Ayapata-Puno con intensidad local VIII y V en Puno.
- Sismo del 23 de Junio de 2001 a las 15:33 Hrs, terremoto de magnitud $m_b = 6.9$ ($m_s = 7.0$) afectó toda la región Sur del Perú, incluyendo las ciudades de Arica e Iquique (Chile) y La Paz (Bolivia); con epicentro cercano a la línea de costa a 82Km NW de la localidad de Ocoña Departamento de Arequipa. Tiene las particularidades de poseer una ruptura heterogénea y un modo de propagación sísmica con ondulamiento de la superficie. Localidades más afectadas: Ocoña, Camaná, Mollendo, Arequipa, Moquegua y Tacna Grado VII a VII Mercalli Modificada.

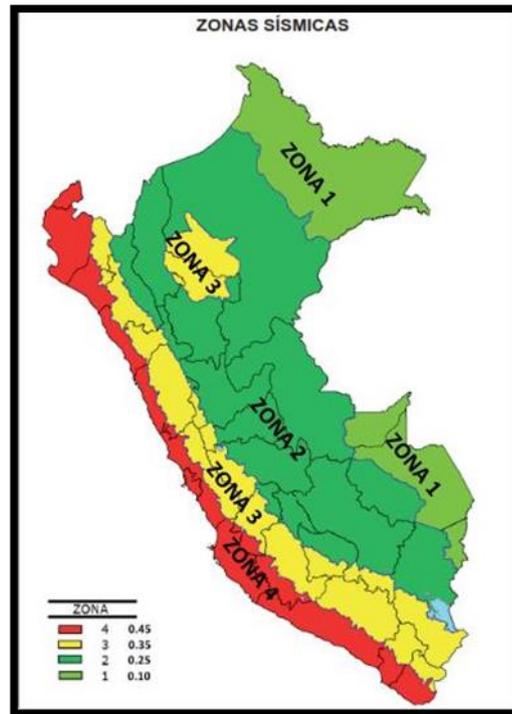


Figura 5. Zona sísmica

4.6.2 Zonificación Sísmica Según RNE

Tabla 24.

Parámetros de riesgo por factor de amplificación de suelos.

FACTOR DE SUELO "S"				
SUELOS	S0	S1	S2	S3
ZONA				
Z_4	0.8	1	1.05	1.1
Z_3	0.8	1	1.15	1.2
Z_2	0.8	1	1.2	1.4
Z_1	0.8	1	1.6	2

Fuente: RNE, (2008)

Tabla 25.

Parámetros de riesgo por periodo que define la plataforma del espectro

	PERIODOS "TP" Y "TI"			
	perfil de suelo			
	S0	S1	S2	S3
Tp(s)	0.3	0.4	0.6	1
tl(s)	3	2.5	2	1.6

Fuente: IGP, (2014)

Parámetros de riesgo y Mapas de zonas sísmicas.

(Z) = factor de zona

(S) = factor de amplificación del suelo: S0 (roca dura), s1 (suelos muy rígidos o rocas),s2 (suelos intermedios) s3(suelos blandos),s4 (condiciones excepcionales), Tp)= periodo que define la plataforma del espectro.

Tabla 26.

De acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones se tiene las siguientes clasificaciones

Zona:	2	Mapa de zonificación sísmica
Factor de zona	0.25	Tabla 1
Perfil de suelo	Tipo S3	Suelos Flexibles.
Parámetro del suelo (tabla N° 2)	Tp= 0.9 s S = 1.4	Período predominante. Factor de amplificación del suelo

Fuente: RNE, (2008)



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 CARACTERÍSTICAS GEOTECNICAS DEL TERRENO DE FUNDACION

Se realizó los ensayos de laboratorio de acuerdo a normas estándar, siguiendo las especificaciones del ASTM, AASHTO y MTC.

Tabla 27.

Especificaciones geotécnicas

ENSAYOS	ASTM	AASHTO	MTC
Contenido de humedad	D-2216	-	E-108
Análisis granulométrico	D-422	T-88	E-204
Límite líquido	D-4318	T-89	E-110
Índice de plasticidad	D-4318	T-90	E-111
Proctor Modificado	D-1557	T-180	E-115
C.B.R.	D-1883	T-193	E-132

Fuente: Elaboración propia

5.1.1 Conformación de suelos

De acuerdo con el trabajo de campo y ensayos de laboratorio se tienen las siguientes conformaciones:

Desde el tramo inicial (Desvío Carretera Vilquechico) hasta la zona denominado Sicta Km 3+500 aproximadamente es un tramo en parte llana, presenta un terreno de formación granular (arena) y suelos finos (limo y arcilla) mayor parte, el mismo que es una conformación aluvial del Sistema Cuaternario.

Desde Sicta Km 3+500 aproximadamente, continúa el tramo con cierta elevación, presentando como terreno de fundación suelos granulares, como grava y arena limosa, por constituir zona parte de ladera.



Luego desde el Km 5+000 aproximadamente constituye ladera de cerro, con una conformación de suelos granulares en su mayor parte. Además, en ciertos tramos presenta suelos finos. En la parte más alta (km 8+780) presenta un tramo rocoso.

Finalmente, al llegar a Rosaspata, se tiene suelos que corresponden al Cuaternario reciente, conformado de suelos finos y granulares, principalmente arcilla y limo, como también arena limosa.

Con respecto al afirmado de la vía se indica lo siguiente:

En la parte inicial el afirmado de la vía tiene un espesor de 15 a 20 cm, siendo un material granular extraído de préstamo lateral, constituido por una grava limosa, con partículas de grava de forma sub-redondeada.

A partir de Sicta, el afirmado es de 10 a 20 cm, con material de préstamo lateral cercanas.

Hacia la parte final localidad de Rosaspata, el afirmado continúa con espesores de 15 a 20 cm.

5.1.2 Clasificación de suelos

De acuerdo con los ensayos de laboratorio, las muestras obtenidas del terreno de fundación corresponden según el SUCS y AASHTO, a los que se indican en el siguiente cuadro:

Tabla 28.

Clasificación de suelos del terreno de fundación de la carretera dv. Asiruni - Rosaspata

Punto	Progresiva Lado de Vía	Coordenadas		Mues tra	Límite	Índice	Retiene	Pasa malla	SUCS	AASHTO
		Este	Norte		Líquid o (%)	Plást. (%)	Malla N° 4	200 (%)		
1	0 + 000 LI	426861.67	8314647.94	M-1	24.53	1.84	22.49	12.3	SM	A-2-4(0)
2	0 + 050 LI	426874.69	8314620.07	M-1	22.6	1.45	31.98	32.67	SM	A-2-4(0)
3	0 + 500 LD	427295.02	8314842.52	M-1	20.4	2.15	52.93	13.99	GM	A1-a (0)
4	1 + 000 LD	427768.19	8314881.44	M-1	27.6	7.3	2.88	74.07	CL	A-4 (8)
5	1 + 180 LD	427953.59	8314865.11	M-1	20.5	2.15	7.81	18.23	SM	A-2-4(0)
6	1 + 500 LD	428297.24	8314850.06	M-1	30.52	9.28	3.02	73.75	CL	A-4 (8)
7	2 + 000 LD	428733.05	8314648.99	M-1	28.65	7.36	2.69	77.48	CL	A-4 (8)
8	2 + 250 LD	428957.24	8314550.81	M-1	28.33	9.3	0.53	75.99	CL	A-4 (5)
9	2 + 500 LD	429174.3	8314596.87	M-1	27.6	7.58	4.46	70.09	CL	A-4 (8)
10	3 + 000 LD	429340.61	8315033.32	M-1	26.6	3.56	1.25	39.24	SM	A-4 (1)
11	3 + 200 LD	429375.05	8315215.84	M-1	26.5	7.1	2.86	78.03	CL	A-4 (8)
				M-2	25.4	3.31	2.66	35.48	SM	A-4 (1)
12	3 + 500 LI	429654.29	8315298.47	M-1	20.4	2.13	2.89	79.05	ML	A-4 (8)
				M-2	30.7	11.36	3.38	71.36	CL	A-4 (8)
13	4 + 000 LD	430199.05	8315403.95	M-1	20.41	1.6	49.16	13.14	GM	A1-a (0)
14	4 + 250 LI	430422.54	8315468.4	M-1	24.21	2.19	0	76.17	ML	A-4 (0)
15	4 + 500 LD	430630.79	8315446.61	M-1	24.6	3.35	52.71	13.78	GM	A1-a (0)
16	5 + 000 LD	431169.4	8315381.37	M-1	29.4	7.07	1.21	78.93	CL	A-4 (8)
				M-2	28.6	8.51	54.85	12.85	GC	A1-a (0)
17	5 + 500 LD	431620.24	8315284.61	M-1	26.7	7.47	2.94	73.94	CL	A-4 (8)
				M-2	29.39	9.22	57.67	13.88	GC	A1-a (0)
18	5+642 LD	431728.39	8315216.77	M-1	28.05	9	0.53	76.29	CL	A-4(5)
19	6 + 000 LD	432061.63	8315082.34	M-1	24.6	3.48	47.94	20.21	GM	A1-b (0)
20	6 + 240 LD	432277.35	8315008.59	M-1	25.49	1.75	54.68	22.32	GM	A-1a (0)
21	6 + 500 LD	432473.13	8315089.71	M-1	18.61	3.59	5.5	69.72	ML	A-4 (8)
				M-2	22.2	2.08	47.05	21.2	GM	A1-b (0)
22	7 + 000 LD	432935.58	8314895.07	M-1	30.7	9.51	25.82	13.86	SC	A-2-4(0)
23	7 + 500 LD	433331.27	8314648	M-1	29.5	9.18	11.62	73.09	CL	A-4 (8)
24	7 + 940 LD	433789	8314545.81	M-1	28.4	8.25	9.08	63.08	CL	A-4 (8)
25	8 + 000 LD	433856.03	8314537.12	M-1	27.5	8.17	7.68	67.49	CL	A-4 (8)
26	8 + 500 LI	434306.55	8314531.03	M-1	23.39	1.23	10.01	46.91	SM	A-4 (1)
27	8 + 780 LD	434591.94	8314528.88	M-1	Roca	Roca	Roca	Roca	Roca	Roca
28	9 + 000 LD	434805.73	8314480.39	M-1	29.6	7.53	3.7	69.52	CL	A-4 (8)
29	9 + 500 LD	435286.38	8314504.96	M-1	18.48	1.3	2.72	44.4	SM	A-4 (1)
30	9 + 750 LI	435562.19	8314524.06	M-1	42.92	22.42	0	100	CL	A-7-6(19)
31	10 + 000 LI	435800.5	8314487.87	M-1	30.5	8.81	5.11	68.48	CL	A-4 (8)
32	10 + 500 LD	436300.21	8314455.18	M-1	28.4	8.32	2.88	75.14	CL	A-4 (8)
33	10 + 750 LI	436562.22	8314472.9	M-1	29.46	8.36	0.28	76.72	CL	A-4 (5)
34	11 + 000 LI	436815.08	8314460.31	M-1	31.26	9.04	4.47	73.21	CL	A-4 (8)
35	11 + 300 LD	437114.58	8314457.43	M-1	31.37	10.98	0	31.25	SC	A-2-6(0)
36	11 + 500 LD	437293.26	8314458.22	M-1	30.4	11.66	4.95	67.31	CL	A-6 (8)
37	12 + 000 LD	437790.55	8314381.46	M-1	31.5	11.2	55.7	14.41	GC	A1-a (0)
38	12 + 250 LD	438040.11	8314319.28	M-1	27.26	6.39	3.94	67.98	CL- ML	A-4 (3)
39	12 + 500 LD	438290.22	8314266	M-1	29.4	9.1	53.52	15.74	GC	A1-b (0)
40	13 + 000 LD	438766.32	8314291.44	M-1	26.5	3.67	7.89	18.39	SM	A-2-4(0)
41	13 + 140 LD	438891.82	8314305.51	M-1	28.28	4.02	2.95	61.37	ML	A-4 (1)



42	13 + 500	LD	439251.53	8314293.43	M-1	23.47	2.27	20.4	17.56	SM	A-1(b)
43	14 + 000	LD	439664.86	8314420.93	M-1	Roca	Roca	Roca	Roca	Roca	Roca
44	14 + 500	LD	440124.81	8314606.98	M-1	NP	NP	2.63	48.02	SM	A-4 (1)
45	14 + 840	LI	440443.46	8314682.73	M-1	22.5	2.27	4.11	35.11	SM	A-4 (1)
46	15 + 000	LI	440594.81	8314725.67	M-1	28.65	8.34	2.89	44.19	SC	A-4 (1)
47	15 + 500	LD	441086.11	8314789.72	M-1	NP	NP	1.23	30.73	SM	A-4 (1)
48	15 + 750	LD	441336.52	8314791.46	M-1	28.98	5.92	0.31	30.01	SM	A-2-4(0)
49	16 + 000	LI	441584.24	8314760.11	M-1	Roca	Roca	Roca	Roca	Roca	Roca
50	16 + 500	LD	442054.19	8314725.41	M-1	24.4	3.18	1.38	37.55	SM	A-4 (1)
51	16 + 650	LD	442206.64	8314720.29	M-1	20.6	1.27	9.88	18.53	SM	A-2-4(0)
52	17 + 000	LD	442537.01	8315043.27	M-1	32.5	11.29	4.71	67.46	CL	A-6 (7)
53	17 + 500	LD	442834.89	8315300	M-1	16.35	NP	1.26	21.78	SM	A-2-4(0)
54	17 + 600	EV	442885.36	8315398.41	M-1	30.33	5.19	0.42	83.55	ML	A-4 (4)
55	17 + 750	EV	442966.24	8315558.75	M-1	34.32	13.81	1.27	73.22	CL	A-6 (9)
56	18 + 200	LD	443171.65	8315927.83	M-1	30.4	11.6	1.12	79.21	CL	A-6 (8)
57	18 + 500	LI	443402.96	8315842.9	M-1	32.5	12.2	2.52	72.82	CL	A-6 (8)
58	19 + 000	LI	443951.5	8315459.24	M-1	19.48	1.1	1.41	12.29	SM	A-2-4(0)
59	19 + 600	LI	444180.62	8315115.56	M-1	24.51	3.05	1.28	15.24	SM	A-2-4(0)
60	19 + 750	LI	444188.46	8314971.51	M-1	24.66	1.59	0.75	15.17	SM	A-2-4(0)
61	20 + 000	LD	444359.15	8314791.08	M-1	23.21	1.65	3.39	57.04	ML	A-4 (0)
62	20 + 100	LI	444448.48	8314741.17	M-1	30.47	9.86	0.43	74	CL	A-4 (6)

Fuente: Elaboración propia

Los Requerimientos Granulométricos para Sub-base y Base Granular, deberán ajustarse a alguna de las siguientes franjas granulométricas:

Tabla 29.

Requerimientos Granulométricos para Sub-base y Base Granular (MTC.ASTM D 1241).

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
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 (N° 4)	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85
2.0 mm (N° 10)	15 – 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70
4.25 um (N° 40)	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
75 um (N° 200)	2 – 8	5 – 15	5 – 15	8 – 15

Fuente: Manual de Carreteras EG-2013.

5.1.2.1 Perfil estratigráfico

En base a los trabajos de campo, descripción visual y ensayos de laboratorio, se deduce lo siguiente:

Tabla 31.

Características geotécnicas más importantes del terreno de fundación.

SUCS	Resist. Corte	Efecto a heladas	Contracción	Drenaje
SM	Buena	Ligera a alta	Muy poco a media	Regular a impermeable
SC	Buena a Reg.	Ligera a alta	Casi nada a media	Pobre a impermeable
CL	Regular	Media a alta	Media	Impermeable
ML	Regular	Media a muy alta	Muy poco a media	Regular a pobre
GM	Buena	Ligera a media	Muy poco	Regular a impermeable
GC	Buena a Reg.	Ligera a media	Muy poco	Pobre a impermeable

Fuente: Elaboración propia

5.1.4 Ensayos de soporte

Con el material del terreno de fundación, se ha ejecutado el ensayo de Proctor Modificado y el CBR de diseño, cuyos resultados son los indicados en los cuadros siguientes:

Tabla 32.

Resultados de los ensayos Proctor modificado y CBR

CALICATA	Km 0 + 000	Km 0 + 050	Km 0 + 500	Km 1 + 000	Km 1 + 180
Densidad máxima (g/cc)	1.85	1.97	1.98	1.77	1.84
Humedad óptima (%)	8.75	8.48	7.50	12.50	8.75
CBR al 95% de MDS (%)	17	29	26	10	13

CALICATA	Km 1 + 500	Km 2 + 000	Km 2 + 250	Km 2 + 500	Km 3 + 000
Densidad máxima (g/cc)	1.77	1.78	1.77	1.78	1.84
Humedad óptima (%)	14.50	15.25	15.67	15.00	8.25



CBR al 95% de MDS (%)	10	11	7	12	16
CALICATA	Km 3 + 200	Km 3 + 500	Km 4 + 000	Km 4 + 250	Km 4 + 500
Densidad máxima (g/cc)	1.82	1.78	1.96	1.79	1.94
Humedad óptima (%)	8.00	12.00	8.50	13.56	8.50
CBR al 95% de MDS (%)	16	12	24	9	25
CALICATA	Km 5 + 000	Km 5 + 500	Km 5 + 642	Km 6 + 000	Km 6+240
Densidad máxima (g/cc)	1.95	1.95	1.77	1.98	1.98
Humedad óptima (%)	9.00	9.00	15.05	7.25	7.1
CBR al 95% de MDS (%)	26	26	6	24	23
CALICATA	Km 6 + 500	Km 7 + 000	Km 7 + 500	Km 7 + 940	Km 8 + 000
Densidad máxima (g/cc)	1.99	1.83	1.74	1.79	1.76
Humedad óptima (%)	7.25	9.75	12.50	10.50	15.50
CBR al 95% de MDS (%)	25	15	12	13	12
CALICATA	Km 8 + 500	Km 8 + 780	Km 9 + 000	Km 9 + 500	Km 9+750
Densidad máxima (g/cc)	1.84	Roca	1.78	1.82	1.78
Humedad óptima (%)	7.50	Roca	12.50	8.25	12.6
CBR al 95% de MDS (%)	17	Roca	11	15	11
CALICATA	Km 10 + 000	Km 10 + 500	Km 10+750	Km 11 + 000	Km 11 + 300
Densidad máxima (g/cc)	1.78	1.74	1.78	1.78	1.835
Humedad óptima (%)	12.75	10.50	12.6	12.50	9.8



CBR al 95% de MDS (%)	11	12	11	12	16
CALICATA	Km 11 + 500	Km 12 +000	Km 12 + 250	Km 12 + 500	Km 13 + 000
Densidad máxima (g/cc)	1.78	1.98	1.78	1.98	1.82
Humedad óptima (%)	11.50	8.25	12.5	8.50	7.50
CBR al 95% de MDS (%)	12	26	9	25	15
CALICATA	Km 13 + 140	Km 13 + 500	Km 14 + 000	Km 14 + 500	Km 14 + 840
Densidad máxima (g/cc)	1.80	1.84	Roca	1.84	1.84
Humedad óptima (%)	12.5	7.75	Roca	7.50	7.50
CBR al 95% de MDS (%)	9	17	Roca	16	17
CALICATA	Km 15 + 000	Km 15 + 500	Km 15 + 750	Km 16 + 000	Km 16 + 500
Densidad máxima (g/cc)	1.84	1.83	1.825	Roca	1.86
Humedad óptima (%)	8.75	7.50	7.8	Roca	7.75
CBR al 95% de MDS (%)	16	16	15	Roca	15
CALICATA	Km 16 + 650	Km 17 + 000	Km 17 + 500	Km 17 + 600	Km 17 + 750
Densidad máxima (g/cc)	1.87	1.75	1.83	1.80	1.78
Humedad óptima (%)	7.50	12.50	7.50	12.5	12.5
CBR al 95% de MDS (%)	16	12	16	10	10



CALICATA	Km 18 + 200	Km 18 + 500	Km 19 + 000	Km 19 + 600	Km 19 + 750
Densidad máxima (g/cc)	1.76	1.76	1.83	1.85	1.855
Humedad óptima (%)	16.50	16.50	7.50	7.75	7.5
CBR al 95% de MDS (%)	10	9	15	16	16

CALICATA		Km 20 + 000	Km 20 + 100
Densidad máxima (g/cc)		1.78	1.76
Humedad óptima (%)		11.5	15.2
CBR al 95% de MDS (%)		8	8

Fuente: Elaboración propia

5.1.5 Clasificación geo-mecánica de roca

Se han tomado muestras de roca más representativas del terreno de fundación de los Puntos ubicados en las progresivas Km 8+780, Km 14+000 y Km 16+000. La calidad de macizos rocosos en relación con el índice RMR de Bieniawski, se muestra en el cuadro:

Tabla 30.

Resultados de calidad del macizo rocoso

Punto de estudio:	Km 8 + 780	Km 14+000	Km 16+000
Clase	IV	II	III
Calidad	Mala	Buena	Media
Valoración RMR	32	65	47
Cohesión (kg/cm ²)	1 – 2	3 - 4	2 - 3
Angulo de fricción	15 - 25	35° - 45°	25° - 35°

Fuente: Elaboración propia.

Nota: CBR en Roca 50%.

5.1.6 Mejoramiento y pedraplenado

Se realizó una evaluación en tramos críticos en donde necesariamente se tiene que realizar un cambio de terreno y colocar un pedraplenado con material drenante, para estabilizar el terreno de fundación de la vía.

En el tramo 0+000 al 0+090 se propone un MEJORAMIENTO de terreno, ya que presenta una clasificación SUCS “SM” (ARENA, LIMO) de clasificación general “REGULAR A BUENA”.

En el tramo 0+090 al 0+098.75 se propone un PEDRAPLENADO de terreno, ya que presenta una clasificación SUCS “SM” (ARENA, LIMO) de clasificación general “REGULAR A BUENA”.

En el tramo 0+100 al 0+750 se propone un MEJORAMIENTO de terreno, ya que presenta una clasificación SUCS “GM” (GRAVA, LIMO) de clasificación general “REGULAR A BUENA”.



En el tramo 0+760 al 2+500 se propone un PEDRAPLENADO de terreno, ya que presenta una clasificación SUCS “CL” (ARCILLA) de clasificación general “POBRE A REGULAR”.

En el tramo 2+510 al 3+170 se propone un MEJORAMIENTO de terreno, ya que presenta una clasificación SUCS “SM, CL” (ARENA, LIMO, ARCILLA) de clasificación general “REGULAR A BUENO”.

En el tramo 3+220 al 3+600 se propone un PEDRAPLENADO de terreno, ya que presenta una clasificación SUCS “CL” (ARCILLA) de clasificación general “POBRE A REGULAR”.

En el tramo 3+620 al 17+380 se propone un MEJORAMIENTO de terreno, ya que presenta una clasificación SUCS “SM, CL, ML, GC, GM” (GRAVA, ARENA, LIMO, ARCILLA) de clasificación general “REGULAR A BUENO”.

Afirmado de vía En el tramo 17+400 al 19+920 se propone un PEDRAPLENADO de terreno, ya que presenta una clasificación SUCS “CL” (ARCILLA) de clasificación general “POBRE A REGULAR”.

En el tramo 19+940 al 20+100 se propone un MEJORAMIENTO de terreno, ya que presenta una clasificación SUCS “CL, ML, SM” (ARENA, LIMO, ARCILLA) de clasificación general “REGULAR A BUENO”.

5.1.6.1 Características del Material de Afirmado

Se han ejecutado los estudios tomando muestras (desde el nivel de afirmado de la carretera hasta alcanzar el terreno de fundación), en diferentes puntos de cada 5 km.

Conforme a los ensayos entandar de laboratorios, las muestras obtenidas de los diferentes tramos (Espesor: 0.00 – 0.20 m) pertenecen según SUCD y AASHTO, a los que se muestran en el cuadro siguiente:

Tabla 31.

Características del material de afirmado

Tramo (Progresiva)	Muestra	Límite Líquido (%)	Índice Plástico (%)	Retiene Malla N° 4	Pasa malla N° 200 (%)	SUCS	AASHTO
0+000 a 5+000	M-1	20.40	2.23	44.74	18.88	GM	A1-b (0)
5+000 a 10+000	M-2	22.40	1.20	42.12	16.54	GM	A1-b (0)
10+000 a 15+000	M-3	17.14	NP	49.43	19.37	GM	A1-b (0)
15+000 a 19+600	M-4	22.18	2.61	43.69	21.81	GM	A1-b (0)

Fuente: Elaboración propia.

5.1.6.2 Ensayos de soporte

Tabla 32.

Ensayo de soporte

Muestra	M-1	M-2	M-3	M-4
Densidad máxima (g/cc)	1.98	2.02	2.01	2.00
Humedad óptima (%)	7.50	7.75	7.75	7.75
CBR al 95% de MDS (%)	34	37	34	36

Fuente: Elaboración propia.

5.1.6.3 Capacidad de carga en Puentes, Pontones y alcantarillas

- **Pontones**

Se han determinado mediante 3 ensayos de corte directo para Pontones:

Tabla 33.*Ensayos de corte directo para pontones*

Progresiva	SUCS	AASHTO	c (kg/cm ²)	ϕ (°)	γ (kg/cm ³)	qa (kg/cm ²)
04+467	GM	A1-a (0)	0.011	28.0°	1.88	1.46
07+862	CL	A-4 (8)	0.288	8.0°	1.70	1.08
09+196	CL	A-4 (8)	0.284	8.0°	1.71	1.06

Fuente: elaboración propia.

- **Alcantarillas**

Se han determinado mediante 20 ensayos de corte directo para

Alcantarillas:

Tabla 34.*Ensayo de corte directo para alcantarillas*

Progresiva	SUCS	AASHTO	c (kg/cm ²)	ϕ (°)	γ (kg/cm ³)	qa (kg/cm ²)
00+740	SM	A-2-4 (0)	0.091	19.0°	1.42	0.910
00+911	ML- CL	A-4 (3)	0.153	17.0°	1.38	0.854
00+992	CL	A-7-6 (18)	0.167	11.0°	1.26	0.693
01+410	ML	A-4 (0)	0.122	20.0°	1.42	0.832
01+675	ML	A-4 (1)	0.129	18.0°	1.33	0.771
01+715	ML- CL	A-4 (3)	0.154	15.0°	1.33	0.776
03+300	CL	A-4 (8)	0.173	11.0°	1.25	0.715
05+642	CL	A-4 (5)	0.179	12.0°	1.25	0.767
05+708	SC	A-2-6 (0)	0.122	18.0°	1.42	1.018
17+300	SM	A-2-4 (0)	0.078	21.0°	1.53	1.020
17+743	CL	A-4 (5)	0.185	11.0°	1.27	0.762
17+750	CL	A-4 (5)	0.192	9.0°	1.24	0.722
18+391	CL	A-4 (1)	0.160	15.0°	1.27	0.795
18+509	CL	A-4 (5)	0.147	16.0°	1.31	0.781
18+577	CL	A-4 (6)	0.160	15.0°	1.24	0.791
18+664	CL	A-4 (5)	0.154	14.0°	1.31	0.740
18+707	CL	A-6 (9)	0.160	13.0°	1.32	0.735
18+770	CL	A-4 (1)	0.160	15.0°	1.31	0.800
18+960	CL	A-4 (1)	0.160	15.0°	1.30	0.799

19+256	SM	A-2-4 (0)	0.072	22.0°	1.47	1.048
--------	----	-----------	-------	-------	------	-------

Fuente: Elaboración propia.

5.2 ESTUDIO DE CANTERAS

5.2.1 Canteras de materiales.

Se ha considerado la utilización de materiales de préstamo de canteras, los mismo que se utilizaran en la ejecución del proyecto, estos materiales se han ubicado en forma conveniente en la zona, también se determinaron las características geotécnicas, para ser utilizados en la conformación de la estructura del pavimentos y sus obras complementarias, las cuales son:

Tabla 35.

Tabla de canteras

N°	Cantera	Ubicación (Km)	Acceso	Potencia (m3)	Usos	Observaciones
1	Cantera de Roca	1+800 LDV	100 m	25,500.00	Mejoramiento de terreno de fundación, y muros de contención.	Roca y piedras serán utilizados en la vía. Acceso existente y Además, mejorar
2	Cantera de Roca	3+600 LIV	150 m	15,000.00	Mejoramiento de terreno de fundación, enrocado de muros de contención.	Roca y piedras serán utilizados en la vía. Acceso existente y Además, mejorar
3	Cantera Km 6+700	6+700 LDV	10 m	32,000.00	Relleno para la sub-rasante. Para Subbase y base granular se requiere mezclar.	Acceso directo. Se requiere mejorar acceso de acuerdo con explotación.
4	Cantera Km 16+600 Rosaspata	16+600 LDV	10 m	48,500.00	Relleno para la sub-Rasante. Para Sub-base granular	Acceso directo. Se requiere mejorar Acceso de acuerdo con explotación
5	Cantera Ventilla	A 900 m de Rosaspata LIV	10 m	24,000.00	Relleno para la sub-rasante. Para Subbase y base granular se requiere mezclar.	Acceso directo. Se requiere mejorar acceso de acuerdo con explotación.
6	Cantera Río Guitarrane	A 10 km de proyecto	100 m	Ilimitada (varios tramos del río)	Para Concreto. Relleno para la sub-rasante, Para sub-base y base granular. Se requiere mezclar.	Material de río. Acceso directo, mejorar acceso de acuerdo con explotación.
7	Cantera Río Cabanillas	Juliaca - Cabanillas	-	Ilimitada (varios tramos del río)	Para Concreto	Material de río.

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Las canteras existentes en la zona, como: Asiruni (a 300 m del inicio de la vía) y Km 15+600 LIV, no reúnen características apropiadas; pero se pueden considerar como alternativas.

La cantera del río Cabanillas será obtenida como producto, para el uso de concreto. Será trasladada desde el distrito de (Juliaca - Cabanillas).

5.2.2 Resultados del estudio

En el cuadro resumen que a continuación se indica, se muestran las características geotécnicas de los materiales de las canteras más apropiadas que se consideran para la sub-base y base granular, con muestras promedio tomadas de 05 puntos de cada cantera (Los materiales muestreados fueron mezclados y seleccionados mediante cuarteo para los ensayos de laboratorio).

Tabla 36.

Características geotécnicas de los materiales de las canteras

Cantera :	Km 6+700 a 10 m Lado Der. Vía	Km 16+600 a 10 m Lado Der. Vía
Tamaño máximo	2"	2"
% Grava	50.78	55.00
% Arena	36.18	38.71
% pasa malla 200	13.04	6.29
Límite líquido (%)	30.60	16.15
Índice de plasticidad	8.30	1.09
Clasificación SUCS	GC	GP-GM
Clasificación AASHTO	A1-a (0)	A1-a (0)
Gravedad específica grava	2.58	2.59
Forma de grava	Sub-angulosa	Sub-angulosa
Potencia estimada	32,000 m ³	48,500 m ³



Cantera :	Ventilla (Rosaspata Ruta Tiquitiqui) LIV	Río Guitarrane Hormigón de río
Tamaño máximo	2"	2"
% Grava	51.23	57.62
% Arena	36.32	40.66
% pasa malla 200	12.45	1.72
Límite líquido (%)	27.40	NP
Índice de plasticidad	7.09	NP
Clasificación SUCS	GC	GW
Clasificación AASHTO	A1-a (0)	A1-a (0)
Gravedad específica grava	2.59	2.62
Forma de grava	Sub-angulosa	Sub-redondeada
Potencia estimada	24,000 m ³	Ilimitada

Los materiales de canteras utilizados para los estudios de suelos, es el promedio de 5 puntos de muestreo en cada cantera, determinados mediante cuarteo.

5.2.3 Materiales para Sub-base y Base.

Los materiales para la construcción de sub-base y base granular en el proyecto deben cumplir con las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013 (Manual de Carreteras).

El material de la cantera Km 16+600 es utilizable para la conformación de la sub base granular, el mismo que presenta las siguientes características geotécnicas:

Tabla 37.

Materiales para sub base y base.

Mezcla Canteras	Límite Líquido (%)	Índice Plástico (%)	Retiene Malla Nº 4	Pasa malla 200 (%)	SUC S	AASH TO
Km 16+600 LDV	16.25	1.09	55.00	6.29	GP- GM	A1-a (0)

Fuente: elaboración propia.

Se determinaron los ensayos de Proctor modificado, C.B.R. abrasión los ángeles y equivalente de arena, cuyos resultados son:

Tabla 38.

Ensayos de proctor modificado, C.B.R., abrasión los ángeles y equivalente de arena.

Cantera	Km 16+600 LDV
Densidad Máxima Seca (g/cc)	2.10
Contenido Optimo de Agua (%)	7.50
C.B.R. al 100% de la DMS (%)	70
Abrasión Los Ángeles (%)	39.26
Equivalente de Arena (%)	50.57

Fuente: Elaboración propia.

Se ejecutaron los diseños de mezclas correspondientes con los materiales de las canteras apropiadas para la Sub-base y Base granular.

Estas mezclas en las proporciones apropiadas (1:1) presentan las siguientes características Geotécnicas:

Tabla 39.

Diseño de mezclas

Mezcla Canteras	Límite Líquido (%)	Índice Plástico (%)	Retiene Malla N° 4	Pasa malla 200 (%)	SUCS GM	AASH TO A1-a (0)
Km 6+700 – Río Guitarrane	22.60	1.31	54.20	7.38	GW- GM	A1-a (0)
Ventilla – Río Guitarrane	19.50	1.25	54.42	7.09	GW- GM	A1-a (0)

Fuente: Elaboración propia.

5.2.4 Ensayos de soporte

Se han determinado los ensayos de Proctor modificado, C.B.R., Abrasión

Los Ángeles y Equivalente de arena, cuyos resultados son:

Tabla 40.

Ensayos de Proctor modificado, C.B.R., Abrasión Los Ángeles y Equivalente de arena.

Canteras (Proporción)	Mezcla Km 6+700 LDV (1) – Río Guitarrane (1)	Mezcla Ventilla (1) – Río Guitarrane (1)
Densidad M^áxima Seca (g/cc)	2.12	2.14
Contenido Optimo de Agua (%)	7.50	7.00
C.B.R. al 100% de la DMS (%)	74	76
Abrasión Los Ángeles (%)	38.18	34.11
Equivalente de Arena (%)	51.83	53.02

Fuente: Elaboración propia.

Dichos materiales están de acuerdo con los análisis geotécnicos, mecánicos y físicos lo cual cumplen con las especificaciones técnicas, para ser utilizados en la conformación de la estructura del pavimento como la capa sub-base y base.

5.2.5 Canteras de roca

Se han tomado muestras representativas de roca de las canteras en estudio.

La calidad de macizos rocosos en relación con el índice RMR de Bieniawski, se muestra en el cuadro siguiente:

Tabla 41.

Calidad de macizos rocosos en relación de índice RMR

Cantera de Roca	Km 1+800 LDV	Km 3+600 LIV
Clase	II	II
Calidad	Buena	Buena
Valoración RMR	69	68
Cohesión (kg/cm ²)	3 – 4	3 – 4
Angulo de fricción	35°- 45°	35° - 45°

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42.

Resistencia a la Abrasión de Roca

Cantera de Roca	Km 1+800 LDV	Km 3+600 LIV
Abrasión Los Ángeles (%)	38.87	36.78

Fuente: Elaboración propia.

5.2.6 Requerimientos de calidad para canteras

Conforme a las especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras (EG-2013) según el MTC, los ensayos fundamentales y sus frecuencias para los materiales de capa base y sub-base deberán cumplir con los son los siguientes requisitos:)

Tabla 43.

Requerimientos de calidad de los materiales de préstamo.

ENSAYO	NORMA	NORMA	NORMA	REQUERIMIENTO	
				<3000msn	>3000ms
Límite	MTC E 110	D 4318	T 89	25 % máx.	25% máx.
Índice	MTC E 111	D 4318	T 89	6 % máx.	4% máx.
Abrasión	MTC E 207	C 131	T 96	50 % máx.	50% máx.
C.B.R.	MTC E 132	D 1883	T 193	40 % min.	40 % min
Equiv. de	MTC E 114	D 2419	T 176	25 % min.	35 % min

Fuente: Manual de Carreteras EG-2013.

5.3 FUENTES DE AGUA

En el desarrollo del trazo se ha identificado varias fuentes de agua, por estar este recurso cerca al proyecto a ejecutar, siendo los principales:

N° 1 : Km 0+000 lado derecho de vía a 300 m (ubicado al inicio de Proyecto). Su característica es de flujo permanente y de tipo consumo.

N° 2 : Km 14+100 lado izquierdo de vía a 200 m. Su característica es de flujo permanente y de tipo consumo.



VI. CONCLUSIONES

- La carretera Asiruni - Rosaspata presenta las siguientes características físico-mecánicas del terreno de fundación, en el cual presentan suelos: arcillas arenosas, gravas arcillosas, gravas limosas, limos arcillosos, arenas arcillosas, arenas limosas, en la clasificación SUCS como: CL, GC, GM, ML, SC, SM y en la clasificación AASHTO como: A-2-4(0), A-4(1), A-1(b), A-2-6(0), A-4(0), A-4(4), A-4(8), A1-b(0), A1-a(0), A-4(3), A-4(6), A-6(8), A-6(9), A-6(7), A-4(5), A-7-6(19), con un LL de 16.35% a 42.92% y LP de 1.3% a 22.42%.
- Las propiedades físico-mecánicas de los materiales de cantera son: **cantera km 6+700** clasificación SUCS de GC y AASHTO A1-a (0) relleno para la sub-rasante. **Cantera km 16+600** clasificación SUCS de GP – GM y AASHTO A1-a(0) para sub-base granular, **cantera ventilla(Rosaspata ruta tiquitiqui)** clasificación SUCS de GC y AASHTO A1-a(0) relleno para la sub-rasante, **cantera rio guitarrane** clasificación SUCS de GW y AASHTO A1-a(0) par concreto y relleno para la sub-rasante.



VII. RECOMENDACIONES

- Para la mejor evaluación del terreno de fundación de la carretera Asiruni – Rosaspata deben realizarse calicatas a cada 250 m.
- Verificar las características de acuerdo con la normatividad de frecuencia de ensayos y volúmenes explotados en las canteras.



VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Andreu García, C. (2015). Estudio hidráulico y geotécnico sobre las características de cimentación del puente del acceso norte a Alcasser sobre el barranco de Picassent (Valencia) de la Confederación hidrográfica del Júcar. Cálculo estructural y estudio económico (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Bocanegra Villanueva, D., & Flores Bartra, C. J. (2021). Evaluación geológica y geotécnica y su relación con una propuesta de mejoramiento de suelos reforzados en la carretera yurimaguas–munichis, provincia de alto amazonas, departamento de loreto.
- Cebrián Sánchez, P. (2016). Estudio de acondicionamiento del tramo de la carretera N-232 entre los P. Ks 88.200 y 106.450 (Teruel). Estudio Geotécnico (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Choque, H., & Placido, F.(2014) Evaluacion geologica y geotecnica de la construccion Presa Aricoma–Crucero–Carabaya-Puno.
- Fabra Beneito, J. J. (2018). Estudio de alternativas para el acondicionamiento de la CV-345 a su paso por los municipios de Higuieruelas y La Yesa (Valencia) (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Fabra Beneito, J. J. (2020). Estudio de alternativas para la ampliación y mejora del Puerto de Sagunto: establecimiento de una conexión ferri (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Garrido Montaner, A. (2018). Estudio del trazado del Tren de la Costa a su paso por Oliva y el Verger, entre los PK 10+ 320 y PK 13+ 000 (Valencia y Alicante). Geología



y Geotecnia, Estudio de Impacto Ambiental, Expropiaciones y Valoración estimada (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

Jiménez Ricalde, D. W. Estudio geotécnico para determinación de capacidad de soporte de subrasante para mejoramiento de serviciabilidad en carretera rural-provincia de Andahuaylas, Apurímac. SUNEDU.

Jurado, B., & Wilder, R. (2018). Evaluación geotécnica en el mejoramiento de la carretera departamental Palca-Tapo-Ricran-Yauli-Jauja-región Junín.

Niño, J. (2015). Estudio de suelos y análisis geotécnico del sector ubicado en el k4+180 de la vía Puente Reyes-Gameza (Tesis de Pregrado), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Sogamoso, Colombia.

Ochoa, M. (2014). Estudio Geotécnico de Suelos para Diseñar la Estructura del Pavimento en la Carretera Ticaco - Candarave, Tramo Aricota – Quilahuani (km 146+500 – km 151+500) (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.

Pari Humpiri, S. (2018). Evaluación geológica y geotécnica del terreno de fundación para la construcción del edificio archivo Regional Puno.

Pomacosi Laricano, W. (2016). Evaluación geotécnica de la carretera emp. 3s (puno)– Vilque–Mañazo–emp. 34a (Huataquita).

Suárez Rosagaray, A. (2017). Caracterización de la ripabilidad en materiales andesíticos del túnel de Bombolí, en la localidad de Tandapi (Ecuador) (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).



ANEXOS

Anexo 1: Certificados de ensayos de laboratorio

Anexo 2: Panel fotográfico

Anexo 3: Planos

Anexo 4: Perfil estratigráfico