

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA



**“EVALUACION GEOTECNICA DE LA CARRETERA
EMP. 3S (PUNO) – VILQUE – MAÑAZO – EMP. 34A
(HUATAQUITA)”**

TESIS

PRESENTADA POR:

WASHINGTON POMACOSI LARICANO

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2016

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA



**EVALUACION GEOTECNICA DE LA CARRETERA EMP.
3S (PUNO) – VILQUE – MAÑAZO – EMP. 34A
(HUATAQUITA)**

TESIS

PRESENTADA POR:
WASHINGTON POMACOSI LARICANO

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO GEÓLOGO

APROBADA POR:

PRESIDENTE

: 
M.Sc. FLAVIO ROSADO LINARES

PRIMER MIEMBRO

: 
ING. GEORGES F. LLERENA PEREDO

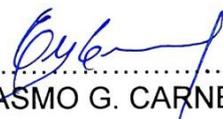
SEGUNDO MIEMBRO

: 
ING. MAURICIO PERALTA MOLINA

ASESOR

: 
M.Sc. LEONEL PALOMINO ASCENCIO

DIRECTOR

: 
Dr. ERASMO G. CARNERO CARNERO

ÁREA: INGENIERIA GEOTECNICA.

TEMA: GEOTECNIA DE CARRETERAS

PUNO – PERÚ

2016.

DEDICATORIA

El presente trabajo de Tesis dedico con todo cariño a mi padre Juan que en paz descansa y de Dios goce, mi madre Adela y mi tío Enrique, por todo el apoyo que me brindaron, a toda mi familia, que más quiero y amo en esta vida.

En especial a mi esposa Eulalia Paranco y mis hijas; Karen Evelyn, Katerine Lizbeth, Ximena Alba y Nadine Pilar, por su comprensión y ayuda en momentos difíciles y buenos en mi formación profesional, quienes me enseñaron a encarar las adversidades y no desfallecer en el intento, todo ello con una gran dosis de amor y cariño.

A mis hermanos(as) Rafael, Marcelina, Jesusa, José y Rene Reynaldo; a ellos por estar siempre a mi lado en todo momento, es sin duda mi referencia como muestra de mi eterno agradecimiento y aprecio por todo su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, padre celestial por darme la vida y la dicha de vivir en este mundo terrenal, asimismo esta gran oportunidad de dar este logro trascendental en mi vida.

Con la mayor gratitud por los esfuerzos realizados para que logre concluir mi Carrera Profesional, siendo para mí la mejor herencia. Agradezco a mi madre Adela, que es el ser más maravilloso de este mundo, por el cariño, comprensión y apoyo que desde niño me brindaste, por guiar mi camino y estar junto a mí en los momentos más adversos, a mi tío porque desde pequeño ha sido para mí un hombre maravilloso al que siempre he admirado.

A mi Esposa Eulalia e hijas; por su comprensión y confianza, esperando que comprendan que mis logros son también suyos e inspirados en ustedes hago de este, un triunfo y quiero compartirlo por siempre con ustedes.

A mis hermanos, de quienes la ilusión de su vida ha sido verme convertido en un hombre de provecho

A mis padres políticos, a quienes jamás encontrare la forma de agradecer su apoyo.

A mi alma mater, Universidad Nacional del Altiplano – Puno, por brindarme seguir mis estudios superiores en sus aulas y formarme como profesional.

A la Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica y todos los docentes por haberme impartido buenas y sabias enseñanzas, de la misma manera a todo el personal administrativos y compañeros en general.

Agradezco a mi Asesor y Director de Tesis, por brindarme la oportunidad de recurrir a su conocimiento, capacidad, dirección y aliento en los momentos difíciles durante la elaboración del presente trabajo, así también haberme tenido paciencia para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.

INDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
INDICE	iii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE TABLAS	xi
LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv

CAPITULO I
INTRODUCCION

1.1. CONSIDERACIONES GENERALES.	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	2
1.3. ANTECEDENTES.	3
1.4. JUSTIFICACIÓN.	4
1.5. HIPÓTESIS.	5
1.6. OBJETIVO.	5
1.6.1. OBJETIVO GENERAL.	5
1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	5
1.7. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.	5
1.7.1. TRABAJOS DE CAMPO.	5
1.7.2. ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS.	6
1.7.2.1. Ensayos en Terreno de Fundación.	7
1.7.2.2. Ensayos en Canteras.	7
1.7.3. TRABAJOS DE GABINETE.	7
1.7.4. INFORME FINAL.	8
1.7.5. INSTRUMENTOS UTILIZADOS.	8

CAPITULO II

MARCO TEORICO CONCEPTUAL

2.1. GEOTECNIA.	9
2.2. MECÁNICA DE SUELOS.	9
2.3. SUELO.	10
2.3.1. SUELOS GRANULARES.	11
2.3.2. SUELOS COHESIVOS.	12
2.3.3. SUELOS ORGÁNICOS.	13
2.4. TERRENO DE FUNDACIÓN.	13
2.5. ZONA DE PRÉSTAMO.	13
2.6. POZOS DE EXPLORACIÓN O CALICATAS.	14
2.7. MUESTREO Y ETIQUETA DE MUESTRAS DE SUELOS.	14
2.8. ENSAYOS DE LABORATORIO.	15
2.8.1. CUARTEO DE MUESTRAS EN LABORATORIO.	15
2.8.2. CONTENIDO DE HUMEDAD.	15
2.8.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO.	19
2.8.4. LÍMITES DE ATTERBERG O LÍMITES DE CONSISTENCIA.	21
2.8.4.1. Límite Líquido.	22
2.8.4.2. Límite Plástico.	23
2.8.4.3. Índice Plástico.	24
2.8.5. ENSAYO DE COMPACTACIÓN (PROCTOR MODIFICADO).	25
2.8.6. ENSAYO DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE (CBR).	28
2.9. CLASIFICACIÓN DE SUELOS.	29
2.9.1. CLASIFICACIÓN SUCS.	29
2.9.2. CLASIFICACIÓN AASTHO.	32
2.10. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS O IN SITU.	35
2.10.1. ENSAYOS DE VIGA BENKELMAN.	35
2.11. TERRAPLENES.	37
2.12. MECÁNICA DE SUELOS.	37
2.13. SUELOS.	38
2.14. ESTUDIO DE SUELOS.	38

CAPITULO III**CARACTERIZACION DEL AREA DE INVESTIGACION**

3.1. GENERALIDADES.	40
3.2. UBICACIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO.	40
3.3. ACCESO AL ÁREA DEL PROYECTO.	43
3.4. CLIMA Y VEGETACIÓN.	43
3.5. GEOLOGÍA LOCAL.	44
3.5.1. GRUPO CABANILLAS (SD-ca).	44
3.5.2. FORMACIÓN ANGOSTURAS (K-an).	44
3.5.3. CALIZAS AYABACAS (K-ay).	45
3.5.4. GRUPO PUNO (T-Pu).	45
3.5.5. GRUPO TACAZA (T-Ta).	46
3.5.6. GRUPO BARROSO.	46
3.5.6.1. Formación Umayo (T-u).	46
3.5.7. FORMACIÓN AZANGARO (TQ-az).	47
3.5.8. DEPÓSITOS ALUVIALES (Q-AL).	48
3.5.9. INTRUSIVOS.	48
3.6. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.	49
3.6.1. DISLOCACIONES PLICATIVAS.	50
3.6.2 DISLOCACIONES DISYUNTIVAS.	51
3.7. CARACTERIZACIÓN DE SUELOS.	51
3.7.1. TRABAJOS REALIZADOS.	51
3.7.1.1. Calicatas en Plataforma Existente.	51
3.7.1.2. Muestreo en Calicatas de Plataforma Existente.	53
3.7.1.3. Perfil Estratigráfico.	53
3.7.1.4. Capacidad de Soporte.	55
3.8. ESTUDIO DE CANTERAS.	55
3.8.1. TRABAJOS DE CAMPO.	55
3.8.1.1. Calicatas y Muestreo.	56

CAPITULO IV

EXPOSICION Y ANALISIS DE RESULTADOS

4.1. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA CARRETERA.	57
4.1.1. ENSAYOS DE LABORATORIO.	59
4.1.2. IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS.	59
4.1.3. CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR).	60
4.1.4. CRITERIOS DE IDENTIFICACIÓN DE SUELOS.	65
4.1.4.1. Suelos Inadecuados a Nivel de Subrasante.	66
a). Calidad de Subrasante (Clasificación).	66
b). Índice de Plástico.	66
c). Humedad Natural vs Humedad Optima.	67
d). Potencial de Expansión.	67
e). Estado de los Suelos al Momento de Evaluar (IC)	67
f). Capacidad de Soporte CBR.	68
g). Compresibilidad del Suelo (Índice de Compresibilidad).	69
4.1.4.2. Suelos Inadecuados a Nivel de Fundación de Terraplén.	69
a). Capacidad de Soporte.	69
b). Deformabilidad o Grado de Compresibilidad.	71
4.1.5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.	72
4.1.5.1. Tramo I: Km. 00+000 al Km. 08+500.	73
4.1.5.2. Tramo II: Km. 08+500 al Km. 10+500.	75
4.1.5.3. Tramo III: Km. 10+500 al Km. 19+200.	78
4.1.5.4. Tramo IV: Km. 19+500 al Km. 24+000.	81
4.1.5.5. Tramo V: Km. 24+000 al Km. 29+900.	84
4.1.5.6. Tramo VI: Km. 29+900 al Km. 33+500.	86
4.1.5.7. Tramo VII: Km. 33+500 al Km. 46+350.	88
4.1.5.8. Tramo VIII: Km. 46+350 al Km. 46+900.	91
4.1.5.9. Tramo IX: Km. 46+900 al Km. 55+000.	94
4.1.5.10. Tramo X: Km. 55+000 al Km. 56+108.	97
4.2. ESTUDIO DE CANTERAS Y MATERIALES DE PRÉSTAMO.	99
4.2.1. CALICATAS Y MUESTREO.	99
4.2.2. ENSAYOS DE LABORATORIO.	100
4.2.2.1. Clasificación de Suelos por Método SUCS y AASHTO.	100

4.2.2.2. Propiedades Mecánicas.	101
a). Ensayos de Próctor Modificado.	101
b). California Bearing Ratio – CBR.	101
c). Ensayo de Equivalente de Arena.	101
4.2.3. DESCRIPCIÓN DE CANTERAS.	102
4.2.3.1. Cantera Km. 10+400.	102
4.2.3.2. Cantera Sircuni Km. 12+820.	103
4.2.3.3. Cantera Km. 26+800.	104
4.2.3.4. Cantera Rio Vilque Km. 30+860.	105
4.2.3.5. Cantera Km. 31+460.	106
4.2.3.6. Cantera Quebrada Huayllani Km. 36+900.	107
4.2.3.7. Cantera Rio Mañazo Km. 40+280.	108
4.2.3.8. Cantera Rio Jatunmayo Km. 41+920.	109
4.2.3.9. Cantera Km. 46+400.	111
4.2.3.10. Cantera Rio Cabanillas Km. 268+000.	112
4.2.3.11. Cantera Rio Paxa Km. 20+740.	113
4.2.3.12. Cantera Quebrada Conduriri Km. 20+740.	114
4.2.4. TRABAJOS DE GABINETE.	115
4.2.5. PROPIEDADES DE CANTERAS.	116
CONCLUSIONES.	123
RECOMENDACIONES.	124
BIBLIOGRAFIA.	125
ANEXOS.	128

LISTA DE FIGURAS

N°	DESCRIPCION	Pg.
FIGURA N° 01.	Muestra la calicata aperturada en Suelos Granulares.	12
FIGURA N° 02.	Calicata Aperturada en Suelos Cohesivos.	12
FIGURA N° 03.	Muestra de Suelos Orgánicos.	13
FIGURA N° 04.	Cuarteo de Muestras en Laboratorio.	15
FIGURA N° 05.	Secado de Muestras para el Contenido de Humedad.	19
FIGURA N° 06.	Granulometría de Muestras en Laboratorio.	21
FIGURA N° 07.	Ensayo de Limite Líquido en Laboratorio.	23
FIGURA N° 08.	Ensayo de Limite Plástico en Laboratorio.	24
FIGURA N° 09.	Diagrama de Plasticidad.	25
FIGURA N° 10.	Ensayo de Proctor Modificado en Laboratorio.	27
FIGURA N° 11.	Ensayo de CBR en Laboratorio.	28
FIGURA N° 12.	Carta de Plasticidad de Casagrande.	30
FIGURA N° 13.	Ensayo de Deflexión (Viga Benkelman).	36
FIGURA N° 14.	Punto de Inicio de Obra.	41
FIGURA N° 15.	Punto Final de Obra.	41
FIGURA N° 16.	Mapa de Ubicación	42
FIGURA N° 17.	Dislocaciones que Muestra Pliegue Homoclinales.	50
FIGURA N° 18.	Perfil Estratigráfico Km. 07+000 L/Izq.	53
FIGURA N° 19.	Perfil Estratigráfico Km. 26+500 L/Der.	54
FIGURA N° 20.	Perfil Estratigráfico Km. 48+500 L/Izq.	54
FIGURA N° 21.	Clasificación de Suelos (SUCS) Tramo I – 1° Estrato.	74
FIGURA N° 22.	Clasificación de Suelos (AASHTO) Tramo I – 1° Estrato.	74
FIGURA N° 23.	Clasificación de Suelos (SUCS) Tramo I – 2° Estrato.	75
FIGURA N° 24.	Clasificación de Suelos (AASHTO) Tramo I – 2° Estrato.	75
FIGURA N° 25.	Clasificación de Suelos (SUCS) Tramo II – 1° Estrato.	76
FIGURA N° 26.	Clasificación de Suelos (AASHTO) Tramo II – 1° Estrato.	76
FIGURA N° 27.	Clasificación de Suelos (SUCS) Tramo II – 2° Estrato.	77
FIGURA N° 28.	Clasificación de Suelos (AASHTO) Tramo II – 2° Estrato.	77
FIGURA N° 29.	Clasificación de Suelos (SUCS) Tramo II – 3° Estrato.	78
FIGURA N° 30.	Clasificación de Suelos (AASHTO) Tramo II – 3° Estrato.	78
FIGURA N° 31.	Clasificación de Suelos (SUCS) Tramo III – 1° Estrato.	79
FIGURA N° 32.	Clasificación de Suelos (AASHTO) Tramo III – 1° Estrato.	79
FIGURA N° 33.	Clasificación de Suelos (SUCS) Tramo III – 2° Estrato.	80

FIGURA N° 34. Clasificación de Suelos (AASHTO) Tramo III – 2° Estrato.	80
FIGURA N° 35. Clasificación de Suelos (SUCS) Tramo III – 3° Estrato.	81
FIGURA N° 36. Clasificación de Suelos (AASHTO) Tramo III – 3° Estrato.	81
FIGURA N° 37. Clasificación de Suelos (SUCS) Tramo IV – 1° Estrato.	82
FIGURA N° 38. Clasificación de Suelos (AASHTO) Tramo IV – 1° Estrato.	83
FIGURA N° 39. Clasificación de Suelos (SUCS) Tramo IV – 2° Estrato.	83
FIGURA N° 40. Clasificación de Suelos (AASHTO) Tramo IV – 2° Estrato.	84
FIGURA N° 41. Clasificación de Suelos (SUCS) Tramo V – 1° Estrato.	84
FIGURA N° 42. Clasificación de Suelos (AASHTO) Tramo V – 1° Estrato.	85
FIGURA N° 43. Clasificación de Suelos (SUCS) Tramo V – 2° Estrato.	85
FIGURA N° 44. Clasificación de Suelos (AASHTO) Tramo V – 2° Estrato.	86
FIGURA N° 45. Clasificación de Suelos (SUCS) Tramo VI – 1° Estrato.	87
FIGURA N° 46. Clasificación de Suelos (AASHTO) Tramo VI – 1° Estrato.	87
FIGURA N° 47. Clasificación de Suelos (SUCS) Tramo VI – 2° Estrato.	88
FIGURA N° 48. Clasificación de Suelos (AASHTO) Tramo VI – 2° Estrato.	88
FIGURA N° 49. Clasificación de Suelos (SUCS) Tramo VII – 1° Estrato.	89
FIGURA N° 50. Clasificación de Suelos (AASHTO) Tramo VII – 1° Estrato.	89
FIGURA N° 51. Clasificación de Suelos (SUCS) Tramo VII – 2° Estrato.	90
FIGURA N° 52. Clasificación de Suelos (AASHTO) Tramo VII – 2° Estrato.	90
FIGURA N° 53. Clasificación de Suelos (SUCS) Tramo VII – 3° Estrato.	91
FIGURA N° 54. Clasificación de Suelos (AASHTO) Tramo VII – 3° Estrato.	91
FIGURA N° 55. Clasificación de Suelos (SUCS) Tramo VIII – 1° Estrato.	92
FIGURA N° 56. Clasificación de Suelos (AASHTO) Tramo VIII – 1° Estrato.	92
FIGURA N° 57. Clasificación de Suelos (SUCS) Tramo VIII – 2° Estrato.	93
FIGURA N° 58. Clasificación de Suelos (AASHTO) Tramo VIII – 2° Estrato.	93
FIGURA N° 59. Clasificación de Suelos (SUCS) Tramo VIII – 3° Estrato.	94
FIGURA N° 60. Clasificación de Suelos (AASHTO) Tramo VIII – 3° Estrato.	94
FIGURA N° 61. Clasificación de Suelos (SUCS) Tramo IX – 1° Estrato.	95
FIGURA N° 62. Clasificación de Suelos (AASHTO) Tramo IX – 1° Estrato.	95
FIGURA N° 63. Clasificación de Suelos (SUCS) Tramo IX – 2° Estrato.	96
FIGURA N° 64. Clasificación de Suelos (AASHTO) Tramo IX – 2° Estrato.	96
FIGURA N° 65. Clasificación de Suelos (SUCS) Tramo X – 1° Estrato.	97
FIGURA N° 66. Clasificación de Suelos (AASHTO) Tramo X – 1° Estrato.	98
FIGURA N° 67. Clasificación de Suelos (SUCS) Tramo X – 2° Estrato.	98
FIGURA N° 68. Clasificación de Suelos (AASHTO) Tramo X – 2° Estrato.	99

LISTA DE CUADROS

N°	DESCRIPCION	Pg.
CUADRO N° 01.	Ubicación del Inicio de Carretera.	41
CUADRO N° 02.	Ubicación del Final de Carretera.	41
CUADRO N° 03.	Rutas de Acceso.	43
CUADRO N° 04.	Columna estratigráfica.	49
CUADRO N° 05.	Ubicación de Calicatas Realizadas en Plataforma Existentes.	52
CUADRO N° 06.	Relación de Canteras Ubicadas.	56
CUADRO N° 07.	Clasificación de los Suelos y Profundidades.	61
CUADRO N° 08.	Cuadro de Resumen de Proctor y CBR.	63
CUADRO N° 09.	Resumen de Valores de CBR por Tramos.	64
CUADRO N° 10.	Cuadro de Identificación de Suelos Inadecuados.	70
CUADRO N° 11.	Clasificación de Materiales - Canteras.	101
CUADRO N° 12.	Rendimiento de Canteras.	115
CUADRO N° 13.	Resultados y especificaciones de la cantera Km. 10+400.	116
CUADRO N° 14.	Resultados y especificaciones de la Cantera Sircuni.	117
CUADRO N° 15.	Resultados y especificaciones de la Cantera Km. 26+800.	117
CUADRO N° 16.	Resultados y especificaciones de la Cantera Rio Vilque.	118
CUADRO N° 17.	Resultados y especificaciones de la Cantera Km. 31+460.	118
CUADRO N° 18.	Resultados y especificaciones de la Cantera Qda Huayllani.	119
CUADRO N° 19.	Resultados y especificaciones de la Cantera Rio Mañazo.	119
CUADRO N° 20.	Resultados y especificaciones de la Cantera Rio Jatunmayo.	120
CUADRO N° 21.	Resultados y especificaciones de la Cantera Km. 46+400.	120
CUADRO N° 22.	Resultados y especificaciones de la Cantera Km. Rio Cabanillas.	121
CUADRO N° 23.	Resultados y especificaciones de la Cantera Rio Paxa.	121
CUADRO N° 24.	Resultados y especificaciones de la Cantera Qda. Conduriri.	122

LISTA DE TABLAS

N°	DESCRIPCION	Pg.
TABLA N° 01.	Cantidad de Muestra Mínimo para Ensayos Según Tamaño Máximo.	17
TABLA N° 02.	Tamaño de las Partículas en Suelos más Comunes.	19
TABLA N° 03.	Consistencia de los Suelos Finos con la Humedad.	22
TABLA N° 04.	Método Modificado para Determinar la Relación Humedad - Densidad.	26
TABLA N° 05.	Tipo de Suelos y Símbolos.	29
TABLA N° 06.	Propiedades y Características Físicas (SUCS).	31
TABLA N° 07.	Valoración del Índice de Grupo para Subrasante.	33
TABLA N° 08.	Clasificación de Suelos AASHTO.	33
TABLA N° 09.	Propiedades y Características Físicas (AASHTO).	34
TABLA N° 10.	Utilización de Suelos de Fundación en Carreteras.	55
TABLA N° 11.	Potencial de Expansión Según Propiedades Índice del Suelo.	67
TABLA N° 12.	Índice de Consistencia y Resistencia a la Compresión no Confinada.	68
TABLA N° 13.	Grado de Compresibilidad de un Suelo.	69

LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS

AASHTO	: Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte.
ASTM	: Sociedad Americana para Ensayos y Materiales.
Cc	: Índice de Compresibilidad.
EG-2000	: Especificaciones Técnicas Generales de Carreteras.
EM-2000	: Manual de Ensayo de Materiales.
EMP	: Empalme.
Dv	: Desvio.
IG	: Índice de Grupo.
IC	: Índice de Consistencia.
INGEMMET	: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
MDS	: Máxima Densidad Seca.
MTC	: Ministerio de Transportes de Comunicaciones.
SUCS	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
CH	: Arcilla Inorgánica de Alta Plasticidad.
CL	: Arcilla Inorgánica de Baja Plasticidad.
GC	: Grava Arcillosa.
GM	: Grava Limosa.
GP	: Grava Mal Gradada.
GW	: Grava Bien Gradada.
LD	: Lado Derecho.
LI	: Lado Izquierdo.
ML	: Limo Inorgánico de Baja Plasticidad.
SC	: Arena Arcillosa.
SM	: Arena Limosa.
SP	: Arena Mal Gradada.

RESUMEN

El presente trabajo denominado Evaluación Geotécnica de la Carretera Emp. 3S (Puno) – Vilque – Mañazo – Emp. 34A (Huataquita), está ubicado en la región de Puno, provincias de Puno y San Roman; distritos de Puno, Tiquillaca, Vilque, Mañazo y Cabanillas; los objetivos de la evaluación son determinar las características geotécnicas de los suelos de fundación y el estudio de canteras y posibles soluciones que requiera el proceso constructivo. La metodología propuesta permitió realizar el replanteo topográfico y el reconocimiento de la geología a lo largo de la plataforma existente. La recolección de muestras y posteriores ensayos de laboratorio de mecánica de suelos logró determinar que los segundos estratos en un 75% son suelos finos, conformados por arcillas inorgánicas (CL) y limos inorgánicos (ML) que requieren ser mejorados con material que tenga mayor capacidad de soporte; el 25% restante está conformado por mezclas de gravas y arenas limo-arcillosas (GM, GC, SM y SC), que son considerados de regular a bueno como terreno de fundación. En cuanto a la capacidad de soporte CBR los suelos finos tienen un valor promedio de CBR 4.6%, resultando ser pobres a malos como terreno de fundación; para el caso de suelos granulares el promedio es de 16.5%, siendo buenos como terreno de fundación. Los suelos finos inadecuados tienen valores de índice de consistencia menores a 1.00, el índice de compresibilidad menores a 0.19 y el potencial de expansión tiene límite líquido mayor a 35%, por lo cual dichos suelos requieren mejoramiento como terreno de fundación.

Asimismo cabe precisar que en el presente trabajo se tiene un estudio de canteras utilizadas en las diferentes capas de la carretera durante el proceso constructivo, y así mejorar las características físico-mecánicas de los terraplenes, son 12 canteras, cuyas clasificaciones AASHTO varían de A-1-a(0), A-1-b(0) a A-2-4(0).

PALABRAS CLAVE: Capacidad de Soporte, Compresibilidad, Fundación, Geomecánica, Terraplén.

ABSTRACT

The present work denominated Geotechnical Evaluation of the Road Emp. 3S (Puno) - Vilque - Mañazo - Emp. 34A (Huataquita), is located in the Puno of region, provinces of Puno and San Roman; Districts of Puno, Tiquillaca, Vilque, Mañazo and Cabanillas; The objectives of the evaluation are to determine the geotechnical characteristics of the foundation soils and the study of quarries and possible solutions required by the construction process. The proposed methodology allowed to perform the topographical refraining and the recognition of the geology along the existing platform. The collection of samples and subsequent laboratory tests of soil mechanics was able to determine that the second strata in 75% are fine soils, formed by inorganic clays (CL) and inorganic silts (ML) that need to be improved with material that has greater capacity of support; The remaining 25% is made up of mixtures of gravel and silty-loamy sands (GM, GC, SM and SC), which are considered from regular to good as foundation ground. As for the capacity of support CBR the fine soils have an average value of CBR 4.6%, turning out to be poor to bad like foundation ground; For the case of granular soils the average is 16.5%, being good as foundation ground. Inadequate fine soils have consistency index values lower than 1.00, compressibility index less than 0.19, and the expansion potential has a liquid limit greater than 35%, whereby such soils require improvement as foundation ground.

It should also be noted that in the present work there is a study of quarries used in the different layers of the road during the construction process, and thus improve the physical-mechanical characteristics of the embankments, are 12 quarries, whose AASHTO ranks vary from A- 1-a (O), A-1-b (O) to A-2-4 (O).

KEY WORDS: Support Capacity, Compressibility, Foundation, Geomechanics, Embankment.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. CONSIDERACIONES GENERALES

El presente trabajo consiste en caracterizar geotécnicamente la carretera: “Empalme. 3S (Puno) – Tiquillaca – Vilque – Mañazo – Empalme. 34A (Huataquita)” que consta de una longitud total de 56,108 kilómetros.

La evaluación geotécnica comprende realizar prospecciones de los diferentes tipos de suelos que se presenten a lo largo del trazo de la carretera, estas prospecciones se realizan mediante la excavación o apertura de calicatas a cielo abierto, para luego obtener muestras representativas de los distintos horizontes que presentan las zonas donde se realizó la apertura de cada calicata, y posteriormente puedan ser enviadas al laboratorio de mecánica de suelos y así establecer las características geotécnicas y geomecánicas de acuerdo a normas internacionales, para luego sectorizar el terreno de fundación, y determinar los sectores inestables a lo largo del tramo de la carretera en construcción.

Así mismo, el trabajo de evaluación geotécnica no solo se aboca al terreno de fundación, si no también ubicar los materiales de préstamo que intervienen en la construcción de la carretera; dichos materiales deben cumplir con las especificaciones generales de construcción de carreteras normadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Es importante considerar los conceptos básicos de la mecánica de suelos, mecánica de rocas y la aplicación de la geología en la construcción de obras

viales, como también las características mecánicas de capacidad de soporte de los suelos de fundación, con fines de cimentar el terraplén para no tener problemas estructurales posteriormente.

Estos trabajos de evaluación geotécnica nos determinan las medidas correctivas adecuadas que se deben adoptar, para garantizar una buena construcción de la carretera; con una evaluación geotécnica detallada se puede tener una mejor interpretación y zonificación de sectores que requieren mejoramiento de todo el tramo de la carretera en construcción, y así optimizar, garantizar la vida útil con la que se diseñó la infraestructura vial.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Es necesario realizar programas de prospección y exploración encaminadas a descubrir y evaluar los materiales, usando métodos directos e indirectos y por ende la posibilidad de poder establecer nuevos modelos geotécnicos, que son de suma importancia en una etapa de exploración geotécnica para la construcción de la Infraestructura Vial.

En la Región de Puno por la falta de vías de comunicación de nivel departamental e interdistrital y por la importancia que tiene dicho tramo de vía, para una mejor salida hacia la ciudad de Arequipa, es que se prioriza realizar los estudios para su posterior ejecución.

Así mismo, el tramo de carretera en estudio por el descuido del mantenimiento de la infraestructura vial, se encuentra abandonado y en mal estado, con presencia de ahuellamientos y presenta una superficie encalaminada.

Los pobladores del distrito de Mañazo y aledaños, hacen los modos posibles para comercializar su producción de leche y otros productos agrícolas y pecuarios necesitando la optimización de las vías de comunicación para así mejorar su condición y nivel de vida.

Además las vías de comunicación de nivel departamental en nuestra Región de Puno no presentan una superficie mejorada con pavimentos asfálticos económicos, debido a que las autoridades no se preocupan en las

construcciones de vías de comunicación de nivel departamental, ya que nuestra región cuenta con gran cantidad de recursos agrícolas y pecuarios los cuales debemos aprovechar, realizando construcciones de vías de comunicación con pavimentos económicos para mejorar la calidad de vida de los pobladores de la región. Teniendo en consideración la problemática planteada, se formula las siguientes interrogantes:

- ¿Cuáles son las características geotécnicas del terreno de fundación para la construcción de la carretera Puno – Vilque – Mañazo – Huataquita?.
- ¿Cuáles son las características geomecánicas que presentan los materiales que intervienen en la construcción de la carretera en evaluación?.

1.3. ANTECEDENTES

El presente proyecto materia de la investigación, por su naturaleza se enmarca dentro de los lineamientos de política sectorial del Gobierno Regional, ha sido priorizada en el Plan Vial Departamental Participativo del Gobierno Regional de Puno.

Asimismo, de acuerdo a la actualización del Clasificado de Rutas, aprobado por Decreto Supremo N° 044-2008-MTC, el proyecto para la “Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera EMPALME (EMP.) PE-3S (PUNO) - VILQUE – MAÑAZO – EMPALME (EMP.) PE-34A (HUATAQUITA), forma parte de la ruta departamental N° PU-122 con trayectoria: Empalme PE-34 A (Dv. Mañazo) – Mañazo – Vilque – Tiquillaca – Empalme PE-3S (Dv. Totorani).

A través del Informe N° 411-2010-MTC/09.02 la Dirección de Inversiones de la Oficina General de Planeamiento y Presupuesto del Ministerio de Transporte luego de haber revisado, analizado y evaluado el estudio de Factibilidad del proyecto de “Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera EMP. PE-3S (PUNO) - VILQUE – MAÑAZO – EMP. PE-34A (HUATAQUITA), aprueba el proyecto de Factibilidad, recomendando que el estudio definitivo debe ceñirse estrictamente al diseño de la alternativa recomendada, con el fin de no afectar la rentabilidad del proyecto.

A su vez, contando con la aprobación de la etapa de pre inversión a nivel de Factibilidad e identificado con código BP 3280 del presente proyecto, la Dirección Ejecutiva de PROVÍAS DESCENTRALIZADO, determinó la elaboración del estudio definitivo para la “Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera EMP. PE-3S (PUNO) - VILQUE – MAÑAZO – EMP. PE-34A (HUATAQUITA), bajo la modalidad de administración directa a través de la Unidad Gerencial de Estudios.

La última etapa de validación del expediente técnico se llevó a cabo por la supervisión externa (JNR Consultores S.A.) y las empresas contratistas (Consortio Huataquita) en primera instancia; (Consortio Mañazo) en segunda instancia. Con los estudios obtenidos en las diferentes etapas de proyecto, así mismo como última instancia se realizó una caracterización geotécnica y la realización de los ensayos de laboratorio con la colaboración del laboratorio de GEOPOL EIRL es que se realiza el presente proyecto de tesis.

1.4. JUSTIFICACION

El motivo del presente trabajo de investigación de tesis tiene la finalidad de poder brindar datos para la caracterización geotécnica del terreno de fundación y de los materiales que intervienen en la construcción del tramo de carretera en evaluación. Además tiene la finalidad de determinar el comportamiento geomecánico de los suelos existentes a lo largo del eje de la infraestructura vial.

Por la necesidad de mejorar las vías de comunicación inter distrital e interprovincial en la región de Puno y mejorar el nivel de vida de la población dedicada principalmente a la actividad agrícola, agropecuaria y la producción de algunos lácteos, es que se prioriza la construcción de la carretera en mención por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, a través de Provias Descentralizado, y ejecutados por las empresas contratistas Consortio Huataquita y Consortio Mañazo.

Realizar la evaluación y determinar las características físico-mecánicas de los materiales que intervienen en la construcción de la vía, provee la seguridad necesaria para que el proyecto permanezca en el tiempo establecido

de vida útil; así como, la evaluación del comportamiento de los suelos de fundación de la infraestructura vial en construcción.

1.5. HIPOTESIS

Es posible que los terrenos de fundación de la carretera Emp. 3S (PUNO) – Vilque – Mañazo – Emp. 34A (HUATAQUITA), son adecuados para la construcción, por sus características geomecánicas de los suelos de fundación y materiales de préstamo.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. 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).

1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los parámetros geológicos y geomecánicos que presentan los suelos de fundación a lo largo del eje del trazo de la carretera.
- Determinar el comportamiento geológico y geomecánico de los materiales de préstamo.

1.7. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

La presente evaluación es una investigación de tipo descriptivo y analítico en la búsqueda del mejoramiento de vías de comunicación de nivel departamental, de las provincias del altiplano puneño, para lo cual se desarrollaron las siguientes actividades:

1.7.1. TRABAJO DE CAMPO

En esta etapa se realiza el reconocimiento de la plataforma existente de todo el tramo de carretera en construcción; asimismo se realiza el replanteo

topográfico a lo largo del tramo, con la ubicación y monumentación de los BMs, con la colocación y pintado de progresivas cada veinte (20) metros en las tangentes y a cada diez (10) metros en curvas.

De igual manera en esta etapa de trabajos de campo se realiza el reconocimiento para la ubicación de los lugares donde se apertura las calicatas a cielo abierto de acuerdo a los diferentes tipos de suelos para su posterior muestreo en cantidades suficientes.

En las calicatas aperturadas se realiza la descripción detallada de manera visual del perfil estratigráfico que presenta en cada una de ellos, también si se tiene presencia de material orgánico, nivel freático, humedad natural, etc.

Las muestras obtenidas fueron disturbadas o alteradas en cantidades suficientes, para ser enviadas al laboratorio de mecánica de suelos y realizar los ensayos correspondientes para determinar sus características físico-mecánicas.

Asimismo se realizó el reconocimiento de los sectores donde se tomaran como materiales de préstamo; y su respectiva apertura de calicatas y muestreo de materiales, para su posterior envío al laboratorio de suelos para la realización de sus ensayos.

1.7.2. ENSAYO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

En esta etapa de trabajo consiste en realizar y procesar las muestra disturbadas o alteradas, dichos ensayos se realizan en el Laboratorio de GEOPOL E.I.R.L. de nuestra ciudad de Puno.

Los ensayos de laboratorio que se realizaron son de acuerdo a normas nacionales e internacionales como son las normas del Ministerio de transporte y comunicaciones (MTC), Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM) y Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte (AASHTO); los cuales son los siguientes:

1.7.2.1. Ensayos en 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 plástico. MTC E – 111
- Proctor modificado. MTC E – 115
- CBR de suelos. MTC E – 132

1.7.2.2. Ensayos en Canteras

- Análisis granulométrico por tamizado. MTC E – 107
- Determinación del límite líquido del suelo. MTC E – 110
- Determinación del límite plástico e índice plástico. MTC E – 111
- Proctor modificado. MTC E – 115
- CBR de suelos. MTC E – 132
- Abrasión Los Angeles. MTC E – 207
- Equivalente de arena. MTC E – 114
- Caras fracturadas. MTC E – 210
- Partículas chatas y alargadas. MTC E – 223

Ensayos especiales que se requieren para conocer las características físico mecánicas de los suelos que intervendrán en la construcción de la carretera.

1.7.3. TRABAJOS DE GABINETE

De acuerdo a los resultados de campo y obtenidos en laboratorio, se ha evaluados y clasificados de todos los estratos existentes en cada una de las calicatas, con los cuales posteriormente se zonificaran en sub tramos.

En esta etapa de gabinete, por su clasificación y demás características, se zonifico por correlación en varios sub tramos, para el mejor entendimiento y planificación en el movimiento de tierras, y los sectores que requieren mejoramiento, con lo cual se determinó las profundidades necesarias para mejorar su capacidad de soporte de los suelos de fundación.

Así mismo con los resultados de campo y laboratorio de suelos, se realizó los perfiles estratigráficos de las 42 calicatas realizadas, y su descripción correspondiente.

También se realizó el reconocimiento de las canteras proyectadas y reconocimiento de otras calicatas que no están en proyecto, los cuales satisfacen las especificaciones técnicas generales de carreteras EG – 2000; una de las canteras también fue desestimada por no cumplir las exigencias de la EG – 2000.

1.7.4. INFORME FINAL

Comprende el procesamiento de los resultados producto de los ensayos de laboratorio; con estos datos se efectúa la redacción del informe final, que consta de 4 capítulos y sus respectivas conclusiones y recomendaciones, así mismo se presentan los anexos de ensayos de laboratorio y otros.

1.7.5. INSTRUMENTOS UTILIZADOS

En el presente trabajo de investigación “evaluación geotécnica de la carretera Emp. 3S (Puno) – Vilque – Mañazo – Emp 34A (Huataquita)”, se han utilizado los siguientes equipos e instrumentos.

- Brújula Brunton.
- Wincha (flexometro).
- Martillo de geólogo.
- Sistema de posicionamiento global (GPS).
- Estación total, con sus accesorios, para levantamiento topográfico.
- Equipos de laboratorio mecánica de suelos y roca como son: tamices estándares, equipo Cuchara Casagrande, Equipo de Proctor Modificado, Equipo de CBR, Prensa de CBR, horno eléctricos, balanzas electrónicas, entre otros formatos y registros.
- Equipo de cómputo para la digitalización de los certificados de ensayos de laboratorio.

CAPITULO II

MARCO TEORICO CONCEPTUAL

2.1. GEOTECNIA

Es la ciencia dedicada a la investigación, estudio y solución de problemas relacionados con las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles que surgen como resultado de la interacción entre la geología, las obras y actividades del hombre, así como la predicción y desarrollo de medidas para la prevención o remediación de peligros geológicos.

La geotécnica podríamos definir como una ciencia que se ocupa del conocimiento, estudio de las características y comportamiento del terreno, (suelos y rocas) relacionados con su aplicación práctica de los productos de construcción de obras civiles y mineras.

Según Martínez, A (1990), la Geotécnica es la ciencia y la práctica de aquella parte de la ingeniería civil que involucra la interrelación del medio ambiente, geológico y los trabajos del hombre.

2.2. MECANICA DE SUELOS

Es la ciencia que estudia las propiedades físicas de los suelos y su comportamiento ante los diferentes tipos de esfuerzos. Es una ciencia muy útil en Ingeniería Civil (puentes, carreteras, edificios, etc.) y otras ingenierías afines.

Según Terzaghi (en Juárez, B. E. & Rico, R. A. 1996), la mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los

problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o la descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no materia orgánica.

La mecánica de suelos incluye:

- a) Teorías sobre el comportamiento de los suelos sujeto a cargas, basado en simplificaciones necesarias dado el estado actual de la teoría.
- b) Investigación de las propiedades físicas de los suelos.
- c) Aplicación del conocimiento teórico y empírico de los problemas prácticos.

En la mecánica de suelos es importante el tratamiento de las muestras inalteradas y alteradas. La mecánica de suelos desarrolló los sistemas de clasificación de suelos según el color, olor, texturas, distribución de tamaños, plasticidad. El muestreo y la clasificación de los suelos son dos requisitos previos indispensables para la aplicación de la mecánica de suelos a los problemas de diseño.

Terzaghi en 1925, presenta en Viena el tratado ERDBAUMECHANIK que hace de la Mecánica de Suelos una rama autónoma de la Ingeniería. El científico de Praga, Karl Terzaghi, es el padre de la Mecánica de Suelos. La mecánica de suelos es la rama de la geotécnica que se ocupa del comportamiento de los suelos bajo la acción de las cargas.

2.3. SUELO

Llamamos suelos a agregados naturales de granos minerales (con o sin componentes orgánicos) que pueden separarse por medios mecánicos sencillos o que se presentan disgregados.

Tradicionalmente, el suelo ha sido definido como un “agregado de partículas minerales, parcialmente cimentadas”. Si nos adentramos en el campo de la ciencia y de la técnica esta definición se difumina, adoptando una significación distinta dependiendo de la disciplina que lo estudie. Así para un ingeniero geotécnico, el suelo es un material natural que, a diferencia de la roca, presenta una marcada modificación de sus propiedades en presencia de

agua; para el constructor no es más que todo aquel material que puede ser excavado sin emplear explosivos.

En cualquier caso, el suelo es el soporte último de todas las obras de infraestructura, por lo que es necesario estudiar su comportamiento ante la perturbación que supone cualquier asentamiento antrópico, en nuestro caso una carretera.

De acuerdo a Juárez, B. E. (1996), la palabra Suelo presenta todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio, hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves.

Suelo, es todo material suelto, desintegrado, que se encuentra en la corteza terrestre, como: guijarros, piedras, granzones, arenas, limos, arcillas, materiales turbosos y mezcla de estos materiales. La capa superficial de la tierra, rica en materia orgánica, se designa con el nombre de "capa vegetal". (Valle R. R. 1976)

En conclusión, para el ingeniero el suelo se define como cualquier material no consolidado compuesto de distintas partículas sólidas con gases o líquidos incluidos.

2.3.1. SUELOS GRANULARES

Este tipo de suelos está formado por partículas agregadas y sin cohesión entre ellas, dado el gran tamaño de las mismas. Su origen obedece fundamentalmente a procesos de meteorización física. El tipo de transporte condiciona en buena medida sus características granulométricas (Bañon, B. L. 1998).

Dentro de esta clase de suelos se distinguen dos grandes grupos; el de las gravas y el de las arenas. El límite entre ambos grupos viene dado por su granulometría, considerándose arena la fracción de suelos de tamaño inferior a 2 mm. (Bañon, B. L. 1998).



FIGURA N° 01: Muestra la calicata aperturada en suelos granulares.

2.3.2. SUELOS COHESIVOS

A diferencia de los anteriores, esta categoría de suelos se caracteriza por un tamaño más fino de sus partículas constituyentes (inferior a 0.074 mm.), lo que les confiere unas propiedades ciertamente importantes. Esto se debe a que la superficie específica – relación entre la superficie y el volumen de dichas partículas es más que considerable. Dentro de los suelos cohesivos también puede establecerse una subdivisión en dos grandes grupos: los limos formado por partículas de grano muy fino (entre 0.074 – 0.002 mm.) y las arcillas, compuestas por un agregado de partículas microscópicas procedentes de la meteorización química de las rocas (Bañón, B. L. 1998).



FIGURA N° 02: Calicata aperturada en suelos cohesivos.

2.3.3. SUELOS ORGANICOS

Dentro de esta categoría se engloban aquellos suelos formados por la descomposición de restos de materia orgánica de origen animal o vegetal – predominando esta última – y que generalmente cubren los primeros metros de la superficie. Se caracterizan por su baja capacidad de soporte, alta compresibilidad y mala tolerancia del agua, a lo que debe unirse la existencia de procesos orgánicos que pueden reducir sus propiedades resistentes (Bañon, B. L. 1998).



FIGURA N° 03: Muestra de suelos orgánicos.

2.4. TERRENO DE FUNDACION

Estructura donde se proyecta realizar la construcción de una determinada obra civil, y está compuesto de estratos de suelos con presencia del nivel freático en algunos lugares del tramo carretero.

Además los terrenos de fundación son también denominados suelos existentes, que de manera natural se presentan en la zona de estudio; estos suelos son formados por la sedimentación tanto aluvial, coluvial o eluvial, dependiendo de la zona donde estén ubicados, a lo largo del eje de la vía.

2.5. ZONA DE PRESTAMO

Son materiales (canteras) seleccionados para la construcción de autopistas, carreteras, vías urbanas o pistas de aterrizaje, es necesario conocer la clase o clases de suelos existentes en dichas zonas, así como el volumen

aproximado del material o materiales que puede ser excavables, removibles y utilizables.

Para explorar una “zona de préstamo”, en terrenos llanos o semiplanos, es preferible escavar o abrir zanjas, extrayendo el material que se desea analizar. En el caso de colinas o terrenos accidentados es aconsejable hacer cortes, excavaciones o sondeos a profundidad.

2.6. POZOS DE EXPLORACION O CALICATAS

El método más comúnmente utilizado para investigar las características del subsuelo consiste en perforar una cavidad en el terreno, de cuyo fondo se extraen muchas veces para examen visual y para efectuar ensayos de laboratorio. (Delgado, V. M. 1996).

Los pozos de exploración o también denominado calicatas, son para la descripción visual del suelo existente, para la elaboración de perfiles estratigráficos, la visualización de la estructura y la compacidad del suelo existente, así luego comparar con los resultados de laboratorio, en la clasificación SUCS y AASHTO y sus propiedades físico-mecánicas.

Estas calicatas se pueden realizar, con herramientas manuales tales como picos, palas y barretas o con maquinarias tales como retroexcavadoras y excavadoras hidráulicas.

2.7. MUESTREO Y ETIQUETADO DE MUESTRAS DE SUELOS

Luego de la apertura de la calicata, se procede a la recolección de las muestras en cantidades suficientes para la realización de los ensayos correspondientes para cada muestra, estas muestra deben de tener su tarjeta de identificación, el cual debe constar de la ubicación exacta, la profundidad a la que fue tomada y considerar el número de estrato al que pertenece.

Además se debe tomar una pequeña cantidad de muestra y guardar en un frasco o bolsa de cierre hermético para la determinación del contenido de humedad natural y así se evite la pérdida de la humedad.

2.8. ENSAYOS DE LABORATORIO

Luego de recibir las muestras enviadas de campo, se procede a realizar los ensayos estándares de laboratorio y ensayos especiales que se requieren en la construcción de carreteras de acuerdo al manual de especificaciones generales de carreteras (EG – 2000) y el manual de ensayos de materiales (EM – 2000), los cuales se describen a continuación:

2.8.1. CUARTEO DE MUESTRAS EN LABORATORIO

El objetivo es establecer los procedimientos para obtener en el laboratorio, la muestra necesaria para realizar los ensayos correspondientes, de forma que sea representativa de la muestra recibida.

El cuarteo se hace principalmente para obtener la menor cantidad de muestra que sea representativa del global enviada al laboratorio, para realizar el ensayo de análisis granulométrico, de tal manera que tengamos resultados confiables.

Este ensayo se realiza de acuerdo a la norma internacional del ASTM C 702, concordante con las normas peruanas del MTC E – 103, que se muestran en el manual de ensayos de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.



FIGURA N° 04: Cuarteo de muestras en laboratorio.

2.8.2. CONTENIDO DE HUMEDAD

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.

APARATOS

- Horno de secado.- Horno de secado termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Balanzas.- De capacidad conveniente y con las siguientes aproximaciones: de 0.1 g para muestras de menos de 200 g de 0.1 g para muestras de más de 200 g.
- Recipientes.- Recipientes apropiados fabricados de material resistente a la corrosión, y al cambio de peso cuando es sometido a enfriamiento o calentamiento continuo, exposición a materiales de pH variable, y a limpieza.
- Utensilios para manipulación de recipientes.- Se requiere el uso de guantes, tenazas o un sujetador apropiado para mover y manipular los recipientes calientes después de que se hayan secado.
- Otros utensilios.- Se requiere el empleo de cuchillos, espátulas, cucharas, lona para cuarteo, divisores de muestras, etc.

MUESTRAS

Las muestras serán preservadas y transportadas de acuerdo a la Norma ASTM D-4220, Grupos de suelos B, C ó D. Las muestras que se almacenen antes de ser ensayadas se mantendrán en contenedores herméticos no corrosibles y en un área que prevenga el contacto directo con la luz solar. Las muestras alteradas se almacenarán en recipientes de tal manera que se prevenga ó minimice la condensación de humedad en el interior del contenedor. La determinación del contenido de humedad se realizará tan pronto como sea posible después del muestreo, especialmente si se utilizan contenedores corrosibles (tales como tubos de acero de pared delgada, latas de pintura, etc.) ó bolsas plásticas.

ESPECIMEN DE ENSAYO

Para los contenidos de humedad que se determinen en conjunción con algún otro método ASTM, se empleará la cantidad mínima de espécimen especificada en dicho método si alguna fuera proporcionada. La cantidad

mínima de espécimen de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total, si no se toma la muestra total, será de acuerdo a la siguiente tabla:

TABLA N° 01: Cantidad de muestra mínima para ensayos según tamaño máximo de agregados. (Juárez B. E. 2004)

Tamaño Máximo de Partícula	Tamaño de Malla Estándar	Peso Mínimo de Espécimen de Ensayo
2 mm o menos	2.00 mm (N° 10)	20 g.
4.75 mm	4.760 mm (N° 4)	20 g.
9.5 mm	9.525 mm (3/8")	50 g.
19.0 mm	19.050 mm (3/4")	250 g.
37.5 mm	38.100 mm (1 1/2")	1000 g.
75.0 mm	76.200 mm (3")	5000 g.

PROCEDIMIENTO

- Determinar y registrar la masa de un contenedor limpio y seco (y su tapa si es usada).
- Seleccionar especímenes de ensayo representativos de acuerdo lo indicado en la Tabla anterior.
- Colocar el espécimen de ensayo húmedo en el contenedor y, si se usa, colocar la tapa asegurada en su posición. Determinar el peso del contenedor y material húmedo usando una balanza (véase aparatos) seleccionada de acuerdo al peso del espécimen. Registrar este valor.
- Remover la tapa (si se usó) y colocar el contenedor con material húmedo en el horno. Secar el material hasta alcanzar una masa constante. Mantener el secado en el horno a 110 ± 5 °C a menos que se especifique otra temperatura. El tiempo requerido para obtener peso constante variará dependiendo del tipo de material, tamaño de espécimen, tipo de horno y capacidad, y otros factores. La influencia de estos factores generalmente puede ser establecida por un buen juicio, y experiencia con los materiales que sean ensayados y los aparatos que sean empleados.

- Luego que el material se haya secado a peso constante, se removerá el contenedor del horno (y se le colocará la tapa si se usó). Se permitirá el enfriamiento del material y del contenedor a temperatura ambiente o hasta que el contenedor pueda ser manipulado cómodamente con las manos y la operación del balance no se afecte por corrientes de convección y/o esté siendo calentado. Determinar el peso del contenedor y el material secado al horno usando la misma balanza usada en al inicio del ensayo. Registrar este valor. Las tapas de los contenedores se usarán si se presume que el espécimen está absorbiendo humedad del aire antes de la determinación de su peso seco.

CALCULOS.

El contenido de humedad de un suelo es la cantidad de agua (en peso) presente en la masa de suelo con respecto al peso de los sólidos del mismo.

$$w = \frac{W_w}{s}$$

Dónde:

w = Contenido de humedad

W_w = Peso del agua

s = Peso seco del material

Usualmente se la representa en porcentaje

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

Este ensayo se realiza de acuerdo a la norma internacional del ASTM D 2216, concordante con las normas peruanas del MTC E – 108, que se muestran en el manual de ensayos de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.



FIGURA N° 05: Secado de muestras para el contenido de humedad.

2.8.3. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

Este ensayo se realiza para determinar cuantitativamente la distribución de las partículas de suelo, con la utilización de distintos tamices que sean necesarios de acuerdo a las especificaciones técnicas que se requieran para la construcción de carreteras. Con este ensayo se determina 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).

TABLA N° 02: Tamaño de las partículas en suelos más comunes. (Juárez B. E. 2004).

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

PREPARACION DE LA MUESTRA PARA EL ENSAYO

Una vez recibido la muestra de suelo después del cuarteo y secado en estufa o cocina, se procede al pesado de la muestra y registrar dicho peso, para luego realizar el tamizado por las mallas que se requieran en las especificaciones y así obtener el peso del material retenido en cada uno de los tamices utilizados.

CALCULOS

Para calcular la distribución granulométrica se siguen los siguientes pasos:

- Se calcula los pesos retenidos en cada tamiz con que se utiliza para la granulometría, utilizando la siguiente formula.

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso Retenido en el Tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

- Luego se calcula el porcentaje retenido acumulado de cada tamiz, el cual se determina con la suma sucesiva de los porcentajes retenidos de cada tamiz con el porcentaje acumulado de cada tamiz.
- Finalmente se calcula el porcentaje pasante de cada tamiz con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}$$

Este ensayo se realiza de acuerdo a la norma internacional del ASTM D 422, concordante con las normas peruanas del MTC E – 107, que se muestran en el manual de ensayos de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.



FIGURA N° 06: Granulometría de muestras en laboratorio.

2.8.4. LIMITES DE ATTERBERG O LIMITES DE CONSISTENCIA

Los límites corresponden a la humedad, o sea, al porcentaje de agua respecto al peso de los sólidos en que los finos de los materiales pasan de una consistencia a otra, para conocer la sensibilidad de los finos al cambiar sus características de consistencias en presencia del agua, se realizan pruebas de plasticidad, pueden estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia definidos por Atterberg.

Estado Líquido, con las propiedades y apariencia de una suspensión.

Estado semilíquido, con las propiedades de un fluido viscoso.

Estado Plástico, en que el suelo se comporta plásticamente.

Estado Semisólido, en el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aun disminuye de volumen al estar sujeto al secado.

Estado Sólido, en el que volumen del suelo no varía con el secado. (Valle R. R. 1997).

TABLA Nº 03: Consistencia de suelos finos con la humedad (en Juárez B. E. 2004).

CONSISTENCIA	HUMEDAD	DESCRIPCION
Solida	Suelo Seco	Frágil, no acepta deformaciones
Semi Solida		Se agrieta ante las deformaciones
Plástica		Se deforman sin manifestaciones elásticas variación de volumen ni agrietamientos
Fluido viscosa	Suelo suspendido	Deformación indefinida ante un esfuerzo
Líquido		Comportamiento fluido

2.8.4.1. Limite Líquido

La definición del límite líquido dado por la Sociedad estadounidense de ingenieros civiles, es la siguiente

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 Nº 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. (Gonzales de V. L. 2002).

CALCULOS

Para determinar el límite líquido para cada espécimen el contenido de humedad usando la siguiente ecuación:

$$LL = W^n \left[\frac{N}{25} \right]^{0,121}$$

Donde:

LL : Limite Líquido

N : Numero de golpes

Wn : Contenido de humedad del suelo.

Este ensayo se realiza de acuerdo a las normas internacionales del ASTM D 4318, concordante con las normas peruanas del MTC E – 110, que se muestran en el manual de ensayos de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.



FIGURA N° 07: Ensayo de límite líquido en laboratorio.

2.8.4.2. Límite Plástico

Por plasticidad se entiende aquella propiedad que tiene el suelo de deformarse sin romperse, es el contenido de humedad más baja que tiene un suelo en el momento de pasar del estado plástico al semisólido, con la que se puede formarse barritas de un suelo de unos 3 mm de diámetro, aproximadamente, rodando con la palma de la mano y una superficie plana lisa (vidrio esmerilado) sin que se presente signos de rotura. (Gonzales de V. L. 2002).

CALCULOS

El límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones; se expresa como porcentaje de humedad, con aproximación a un entero y se calcula así:

$$\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso del Agua}}{\text{Peso del Suelo Seco al Horno}} \times 100$$

Este ensayo se realiza de acuerdo a las normas internacionales del ASTM D 4318, concordante con las normas peruanas del MTC E – 111, que se muestran en el manual de ensayos de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.



FIGURA N° 08: Ensayo de límite plástico en laboratorio.

2.8.4.3. Índice de Plasticidad

Se ha generalizado mucho el uso I.P. que no es sino el valor numérico de la diferencia entre el Límite Líquido (LL) y el Límite Plástico (LP).

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP= índice de plasticidad del suelo, %

LL = límite líquido del suelo, %; y

LP = límite plástico del suelo, %.

Un índice de plasticidad elevado, indica mayor plasticidad cuando un material no tiene plasticidad (por ejemplo, arena), se considera un índice de plasticidad como cero y se indica IP=NP (no plástico). (Gonzales de V. L. 2002).

En suelos no plásticos, no es posible determinar el Índice de plasticidad. El diagrama de plasticidad indicada en la Figura N° 09, según los Límites de Atterberg, permite diferenciar - el índice de plasticidad de limos y arcillas, en función del Límite Líquido. y del contenido normal de húmeda.

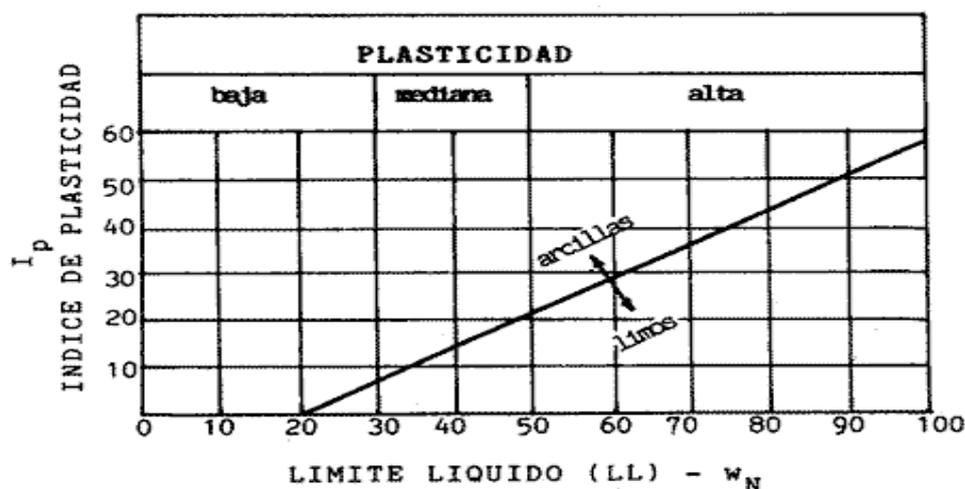


FIGURA N° 09: Diagrama de plasticidad (en: Juárez B. E. 2004).

2.8.5. ENSAYO DE COMPACTACION (PROCTOR MODIFICADO)

Este ensayo nos permite conocer la relación entre el contenido de humedad y la densidad de los suelos compactados; que se realiza 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 contenido de humedad y densidad del suelo, permite conocer que, un suelo que humedad 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 quedara reducidos a un mínimo.

TABLA Nº 04: Método modificado para determinar la relación humedad-densidad de los suelos. (Juárez B. E. 2004).

METEDO	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

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 densidad máxima 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. (Juárez B. E. 2004).

CALCULOS

El proctor modificado es para obtener la máxima densidad seca (MDS) y el óptimo contenido de humedad (OCH) y se calcula así:

Calculo de la densidad húmeda:

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

Donde:

γ_h : Densidad Húmeda.

P_m : Peso de Molde.

P_{mh} : Peso de Muestra Húmeda.

V : Volumen de molde

Calculo de la humedad:

$$\%w = \frac{Pmh - Pms}{Pms} \times 100$$

Donde:

%w : Contenido de Humedad.

Pms : Peso de Muestra Seca.

Pmh : Peso de Muestra Húmeda.

Calculo de la densidad seca:

$$\gamma_s = \frac{\gamma_h}{\%w + 100} \times 100$$

Donde:

γ_s : Densidad Seca.

γ_h : Densidad Húmeda.

%w : Contenido de Humedad.

Este ensayo se realiza de acuerdo a la norma internacional del ASTM D 1557, concordante con las normas peruanas del MTC E – 115, que se muestran en el manual de ensayos de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.



FIGURA N° 10: Ensayo de proctor modificado en laboratorio.

2.8.6. ENSAYO DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE (CBR)

El ensayo de California Bearing Ratio (CBR), nos permite a conocer el valor de capacidad de soporte del terreno de fundación o suelo existente, donde se cimentara la estructura del pavimento; con estos resultados se zonificara 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 realiza 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.

Este ensayo se realiza de acuerdo a la norma internacional del ASTM D 1883, concordante con las normas peruanas del MTC E – 132, que se muestran en el manual de ensayos de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.



FIGURA N° 11: Ensayo de CBR en laboratorio.

2.9. CLASIFICACION DE SUELOS

La determinación y cuantificación de las diferentes propiedades de un suelo, efectuados mediante los ensayos vistos anteriormente, tiene como objetivo último el establecimiento de una división sistemática de los diferentes tipos de suelos existentes atendidos a la similitud de sus características físicas y sus propiedades geomecánicas.

Una adecuada y rigurosa clasificación permite al ingeniero de carreteras tener una primera idea acerca del comportamiento que cabe esperar de un suelo como cimiento del firme, a partir de propiedades de sencilla determinación; normalmente suele ser suficiente conocer la granulometría y la plasticidad de un suelo para predecir su comportamiento mecánico. Además, facilita la comunicación e intercambio de ideas entre profesionales del sector, dado su carácter universal.

2.9.1. CLASIFICACION SUCS

Este sistema de clasificación de suelos, inicialmente fue propuesto por A. Casagrande en 1942, luego revisado y adoptado por el Bureau of Reclamation de Estados Unidos y por el cuerpo de Ingenieros. Este sistema de clasificación se usa en todo trabajo de geotecnia.

Dicha 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. En el siguiente cuadro se muestra dichos símbolos y su significación:

TABLA Nº 05: Tipo de suelos y simbolos. (Juárez B. E. 2004).

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

En función a estos símbolos, pueden establecerse diferentes combinaciones que definen uno u otro tipo de suelo.

Tras un estudio experimental de diferentes muestras de suelos de grano fino, Casagrande consigue ubicarlos 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:

$$\text{Línea A: } IP = 0.73 * (LL - 20)$$

$$\text{Línea B: } LL = 50$$

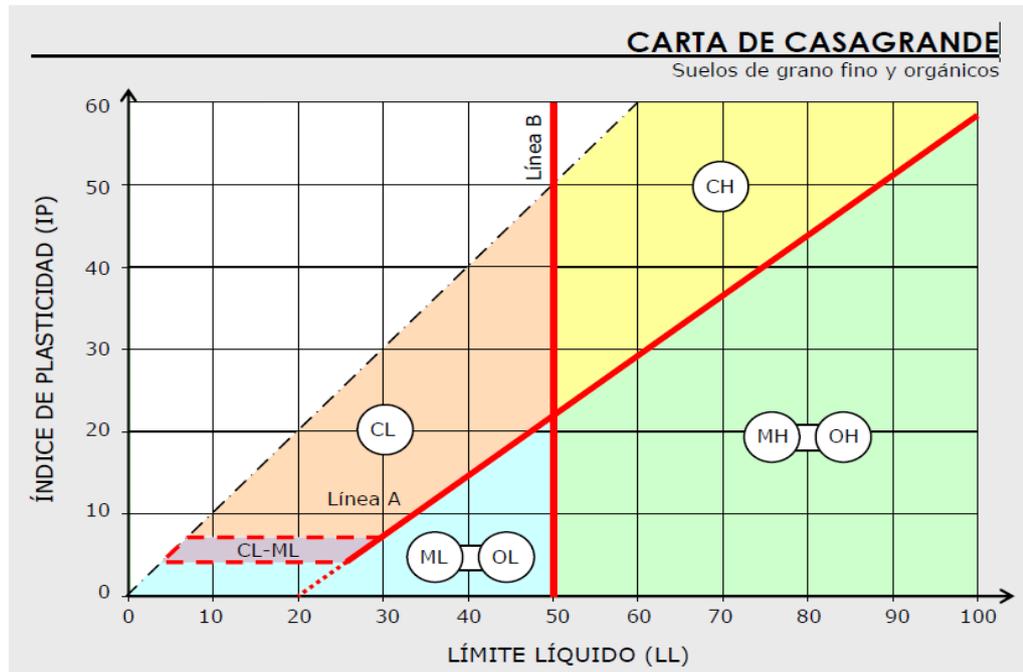


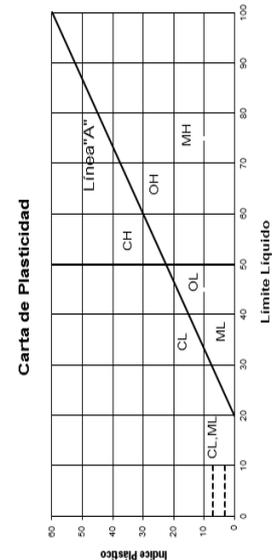
FIGURA N° 12: Carta de plasticidad de Casagrande (Bañón B. L. 1998).

De la Figura N° 12, se puede concluir en lo siguiente: la Línea A separa los limos y las arcillas; 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 baja plasticidad y suelos de alta plasticidad que son representados por el límite líquido.

Tabla N° 06: Propiedades y características físicas SUCS. (Valle R. R. 1963).

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS				CRITERIOS PARA LA CLASIFICACION DE LABORATORIO	
PROCEDIMIENTOS PARA LA IDENTIFICACION DE CAMPO (SE EXCLUYE LAS PARTICULAS MAYORES DE 3", LAS FRACCIONES DEL MATERIAL SE LAS REFIERE A LOS PESOS)		GRUPOS SIMBOLOS	NOMBRES TIPICOS	INFORMACION REQUERIDA PARA LA IDENTIFICACION DE SUELOS	
SUELOS GRANULARES (MAS DEL 50% PASA EL TAMIZ Nº 200)	GRÁVILAS	(Mas de la mitad de la fracción de material grueso pasa el tamiz Nº 4)	Gravas bien graduadas; mezclas de gravas y arenas, con poco o nada de material fino.	Indique el nombre típico; indique aproximadamente los porcentajes de arena y grava, tamaño máximo y angularidad de las partículas, condición superficial y dureza de las partículas gruesas; nombre local o nombre geológico y otras informaciones descriptivas pertinentes y el símbolo del suelo y entre paréntesis. Para suelos "materiales" añadir información sobre estratificación, grado de compactación, cementación, condiciones de humedad y características de drenaje. Ejemplo: Arena limosa, con grava; cerca del 20% de partículas duras y angulares de grava de 1/2" de tamaño máximo; arena gruesa a fina de partículas redondeadas a subangulares, alrededor del 15% de material fino sin plasticidad, con poca resistencia cuando seco; la sítu se halla húmedo y bien compacto; arena aluvional (SM).	$C_u = \frac{D_{30}}{D_{10}}$ Mayor que 4. $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Entre 1 y 3. Los límites de Atterberg quedan debajo de la línea "A" o los Ip son menores que 4. Los límites de Atterberg quedan encima de la línea "A" o los Ip son menores que 7. $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Mayor que 6. $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Entre 1 y 3. Los límites de Atterberg quedan debajo de la línea "A" o los Ip son menores que 4. Los límites de Atterberg quedan encima de la línea "A" o los Ip son menores que 7.
	ARENAS	(Mas de la mitad de la fracción de material fino en proporción apreciable)	Gravas mal graduadas; mezclas mal graduadas de grava, arenas y limo. Gravas arcillosas; mezclas mal graduadas de grava, arenas y arcillas. Arenas bien graduadas; arenas gravosas, con poco o nada de material fino. Arenas mal graduadas; arenas gravosas, con poco o nada de material fino. Arenas limosas; mezclas mal graduadas de arenas y limo. Arenas arcillosas; mezclas mal graduadas de arenas y arcillas.		
SUELOS DE GRANULOMETRIA FINA (MAS DEL 50% PASA EL TAMIZ Nº 200)	LIMOS Y ARCILLAS	Resistencia del material (características a la intubación). Nula a pequeña. Mediana a grande. Pequeña a mediana. Pequeña a mediana. Grande a muy grande. Mediana a muy grande.	Limos inorgánicos muy finos; polvo de roca, arenas muy finas; limosas o arcillosas, con baja plasticidad. Arcillas inorgánicas de baja a mediana plasticidad; arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas y arcillas poco plásticas. Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad. Limos inorgánicos; suelos limosos y arcillosos, limos elásticos. Arcillas inorgánicas muy plásticas. Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada.	Use la curva granulométrica para identificar las fracciones previamente identificadas en el campo. Determine el porcentaje de material fino (fracción que pasa el tamiz Nº 200), los suelos granulares se clasifican como sigue: Menos del 5% GM, GP, SW, SP. Más del 12% GM, GC, SM, SC. Del 5% al 12%	Use la curva granulométrica para identificar las fracciones previamente identificadas en el campo. Indique el nombre típico; indique características plásticas; cantidad, tamaño máximo de las partículas gruesas; color en estado húmedo, olor; nombre local o nombre geológico; otras informaciones descriptivas pertinentes y el símbolo del suelo entre paréntesis. Para suelos "materiales" añadir información sobre la estructura, estratificación, consistencia de los estados: "inalterado" y "remoldeado"; condiciones de humedad y de drenaje. Ejemplo: Limo arcilloso, color marrón, ligeramente plásticos, pequeño porcentaje de arena gruesa, numerosas cañales; firme, seco in situ, limo inorgánico (ML).



2.9.2. CLASIFICACION AASHTO

Ha sido en Estados Unidos donde se ha desarrollado la mayor parte de clasificaciones empíricas de suelos. Una de las más populares en carreteras es la empleada por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), y que fue originalmente desarrollada por los ilustres geotécnicos Terzaghi y Hogentogler para el Bureau of Public Roads norteamericano.

Inspirada 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 sub grupos.

Los únicos ensayos necesarios para encuadrar un suelo dentro de un grupo u otro son el análisis granulométrico y los límites de Atterberg. Si queremos determinar su posición relativa dentro del grupo, es necesario introducir el concepto de índice de grupo (IG), expresado como un numero entero con un valor comprendido entre 0 y 20 en función del porcentaje de suelo que pasa a través del tamiz # 200 ASTM.

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

Donde:

- a. es el porcentaje de suelos, pasante del tamiz # 200, comprendidos entre 35 % a 75 %. Se expresa como numero 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 numero entero con un valor entre 0 a 40.
- c. Es el valor de Limite Liquido comprendido entre el 40 a 60. Se expresa como un numero entero con un valor entre 0 a 20.
- d. Es el valor de Índice Plástico comprendido entre 10 a 30. Se expresa como un numero entero con un valor entre 0 a 20.

El índice de grupo es un valor entero positivo, comprendido entre 0 y 20. Cuando el IG calculado es negativo, se reporta como cero. Un índice cero

significa un suelo muy bueno y un índice igual o mayor a 20, un suelo no utilizable para carreteras.

TABLA Nº 07: Valoración del índice de grupo para subrasante. (En: Manual de diseño de carreteras de bajo Volumen de transito 2008).

Indice de grupo	Suelo de subrasante
IG>9	Muy pobre
IG entre 4 a 9	Pobre
IG entre 2 a 4	Regular
IG entre 1 a 2	Bueno
IG entre 0 a 1	Muy bueno

En el siguiente cuadro se muestra la tabla de clasificación de suelos AASHTO, en la que se recogen todas las características exigibles a cada grupo y subgrupo, de los suelos existentes.

TABLA Nº 08: Clasificación de suelos AASHTO. (Valle R. R. 1963).

DIVISION GENERAL	Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM # 200)							Materiales Limo - Arcillosos (pasa más del 35% por el tamiz ASTM # 200)				
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7	
GRUPO	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Subgrupo	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5	A-7-6
ANALISIS GRANULOMETRICO (% que pasa por cada tamiz)												
Serie ASTM	# 10	50 max.										
	# 40	30 max.	50 max.	51 min.								
	# 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fraccion de suelo que pasa por el tamiz ASTM # 40)												
Limite Liquido			NP	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	
	Indice Plastico			6 max.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
INDICE DE GRUPO	0		0	0		4 max.		8 max.	12 max.	16 max.	20 max.	
TIPOLOGIA	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena Fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos rcillosos		
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA					

Para la clasificación de A-7-5: se tiene que tener en cuenta de IP<LL-30
 Para la clasificación de A-7-6: se tiene que tener en cuenta de IP>LL-30

TABLA N° 09: Propiedades y características físicas AASHTO. (Valle R. R. 1963).

	GRUPOS	DESCRIPCION DEL MATERIAL	SUBGRUPOS	DESCRIPCION DEL MATERIAL	PERMEABILIDAD	CAPILARIDAD	ELASTICIDAD	CAMBIOS DE VOLUMEN	PARA SUB BASE	(3) PARA BASE	(1) COMO TERRENO DE FUNDACION	PARA TERRAPLENES
SUELOS GRANULARES (Menos del 35 % pasa el tamiz N° 200)	A-1	Mezclas bien gradadas compuestas de fragmentos de piedra, grava, arena y material ligante poco plastico. Se incluye también aquellas mezclas bien gradadas que no tienen material ligante.	A-1-a - A-1-b	Mezclas de piedra o grava con o sin material fino ligante bien graduado. Mezcla de arena gruesa con o sin material fino ligante bien graduada	Baja.	Baja.	Muy baja.	Muy pequeños.	Bueno a excelente.	Bueno a excelente.	Bueno a excelente.	Bueno a excelente.
	A-2	Mezclas mal proporcionadas de grava, arena, limo y arcilla. Tienen material fino (limo y arcilla) en exceso a los límites establecidos por los suelos A-1 y A-3.	A-2-4 y A-2-5 - A-2-6 y A-2-7	Suelos A-2, cuya fracción que pasa el tamiz N° 40, tiene las características de un suelo A-6 o A-7 respectivamente. Suelos A-2, cuya fracción que pasa el tamiz N° 40, tiene las características de un suelo A-4 o A-5 respectivamente.	Baja a mediana.	Mediana. A veces perjudicial. Baja.	Baja a elevada para A-2-4 a A-2-5. - Elevada y a veces perjudicial para A-2-5 a A-2-7.	Medianos a elevados.	Regular.	Malo a regular.	Bueno a excelente.	Regular a bueno.
	A-3	Arenas finas de playa y arenas con poco o nada de material fino (limo y arcilla). Además, mezclas de arena fina mal graduada con cantidades limitadas de arena gruesa y gravas.	-	-	Mediana a elevada.	Baja.		Muy pequeños.	Regular a excelente.	Regular a excelente.	Bueno a excelente.	Regular a bueno.
SUELOS FINOS (Más del 35 % pasa el tamiz N° 200)	A-4	Suelos limosos sin plasticidad o poco plasticos, en los cuales el 75% o más pasa el tamiz N° 200. Además, suelos finos limosos que contengan hasta un 64 % de arena y grava.	-	-	Baja a mediana.	Elevada . A veces perjudicial.	Baja a mediana.	Pequeños a elevados. Perjudiciales en épocas de heladas.	Malo a regular.	Malo a regular.	Malo a regular.	Malo a bueno.
	A-5	Material limoso, semejante al A-4, generalmente de carácter micáceo a diatomáceo. Tienen mayor elasticidad.	-	-	Baja a mediana.	Regular a elevada. A veces perjudicial.	Mediana a elevada.	Regulares a elevadas.	Malo.	Pésimo.	Malo a pésimo.	Malo a pésimo.
	A-6	Arcillas plásticas, en las cuales el 75% o más pasa el tamiz N° 200. Además , suelos finos arcillosos que contengan hasta un 64% de arena y grava. Presenten generalmente grandes cambios de volumen cuando absorben agua.	-	-	Baja a prácticamente impermeable.	Regular a elevada.	Pequeña a mediana.	Medianas a elevadas.	Regular a pésimo.	Malo a pésimo.	Regular a bueno.	Malo a regular.
	A-7	Terrenos arcillosos, semejantes a los A-6, pero con límites líquidos elevados como los del grupo A-5.	A-7-5 A-7-6	Suelos A-7 con índices de plasticidad relativamente bajos en relación a sus límites líquidos. Pueden ser muy elásticos y experimentar grandes cambios volumen. Suelos A-7 con índices de plasticidad elevados en relación a sus límites líquidos. Experimentan grandes cambios de volumen.	Baja.	Regular a elevada.	Mediana a elevada.	Medianos a elevados.	Regular a pésimo.	Malo a pésimo.	Regular a bueno.	Malo a pésimo.

2.10. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS O IN SITU

Los ensayos no destructivos o in situ, son aquellos que no requieren alterar ni roturar el terreno de fundación y realizar dichos ensayos como se encuentra en el campo donde se trazó el eje de la carretera en construcción, solo requiere un perfilado simple para uniformizar la superficie de la plataforma existente.

2.10.1. ENSAYOS DE VIGA BENKELMAN

Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por acción de cargas vehiculares, pueden ser determinadas haciendo uso de deflectómetros tales como el denominado "Viga Benckelman". Llamado así en honor al Ing. A.C. Benckelman, quién la desarrollo en 1953 como parte del programa de ensayos viales de la ASSHO Road Test. Desde entonces su uso se ha difundido ampliamente en proyectos de evaluación estructural de pavimentos flexibles, tanto por su practicidad como por la naturaleza directa y objetiva de los resultados que proporciona.

2.10.1.1. Esquema y operación de la Viga Benckelman

El deflectómetro Benckelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza, la viga consta esencialmente de dos partes:

- (1) Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B").
- (2) Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto "D") y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto "E").
- (3) Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas, como se verá más adelante.

- (4) El extremo "D" o "punta de la viga" es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia del cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto "D" se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del extensómetro.
- (5) La operación expuesta representa el "principio de medición" con la Viga Benckelman. Lo que se hace después son sólo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto "D" de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto "D" al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro (EE') no están en escala real sino que dependen de la relación de brazos existentes.



FIGURA N° 13: Ensayo de deflexiones (viga benckelman).

2.11. TERRAPLENES

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.

Es lógico pensar que en un terraplén la distribución tensional de cada uno de sus puntos varía con la profundidad, debido sin duda 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 (Bañon, B. L. 1998).

2.12. MECANICA DE SUELOS

Los suelos son el material más viejo de construcción y el más complejo. Su variedad es enorme y sus propiedades, variables en el tiempo y en el espacio, son difíciles de entender y de medir. A pesar de esto, antes del siglo XX no se hizo un esfuerzo serio para abordar científicamente el estudio de la mecánica de los suelos. Sería injusto, sin embargo, desconocer la actuación aislada de hombres de gran sensibilidad e inspiración que merecen el título de precursores de la Mecánica de Suelos. Un ejemplo brillante es Alexandre Collin, quien en 1846 publicó sus *Recherches Expérimentales sur les Glissements Spontanés des Terrains Argileux* que parece ser la primera obra sobre este tema con filosofía moderna y con notable perspicacia experimental. El esfuerzo aislado de Collin, sin embargo, no encontró el clima adecuado y su labor fue apreciada y redescubierta hasta hace pocos años.

La llamada precisamente “Mecánica de Suelos” 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, un hombre de auténtico y genio, 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 (Juárez B. E. 1996).

2.13. SUELOS

La acción antrópica, en un entorno geográfico concreto, altera las condiciones del medio natural al realizarse excavaciones, explanaciones, aplicaciones de cargas al terreno, etc. La respuesta del terreno frente a esa alteración depende de su constitución y características, de los condicionantes geológicos del entorno, de las propiedades que están relacionados con las actuaciones humanas y de la acomodación de la obra realizada al entorno natural.

La respuesta del terreno, por lo tanto es compleja, dependiendo en primer lugar del material o materiales preexistentes en la zona y del tipo de acciones a que se le someta. Si el terreno es un macizo rocoso esa respuesta vendrá condicionada por la resistencia de la roca, la presencia de zonas alteradas, discontinuidades, etc. Pero si se trata de suelos, es decir, materiales sueltos fruto de la erosión ejercida sobre rocas preexistentes y depositadas por acción del agua o del aire, la respuesta cambia sustancialmente (Gonzales de V. L. 2002).

2.14. ESTUDIO DE SUELOS

El estudio del sitio donde se proyecta construir un puente, una carretera, etc. Y 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 pasara una carretera, o donde se levantara un terraplén, sino que debe comprender toda la circunvencia. 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.
- El agua.
- La topografía del lugar.
- El clima de la región.
- La temperatura.
- Los organismos existentes.
- El ser humano.

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

Las principales características de los suelos son los siguientes:

- Su composición química y mineralógica.
- El tamaño de sus partículas.
- Su peso específico.
- Su contenido de humedad.
- La estructura de su masa.

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 (Valle R. R. 1997).

CAPITULO III

CARACTERIZACION DEL AREA DE INVESTIGACION

3.1. GENERALIDADES

El presente trabajo de Evaluación Geotécnica corresponde a la ejecución del proyecto “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Emp. 3S (PUNO) – Vilque – Mañazo – Emp. 34A (HUATAQUITA)”. El que se ha desarrollado dentro de los lineamientos básicos que establecen las normas técnicas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones por intermedio de Provias Descentralizado. El área de la presente evaluación abarca a lo largo de todo el eje de la carretera, ubicada en los distritos de Tiquillaca, Vilque, Mañazo y Cabanillas; Provincias de Puno y San Román; Departamento de Puno.

3.2. UBICACIÓN DEL AREA DEL PROYECTO

El presente trabajo de evaluación geotécnica de la carretera Emp. 3S (Puno) – Vilque – Mañazo – 34A (Huataquita), políticamente se encuentra ubicada en:

Región	: Puno
Provincias	: Puno y San Román
Distritos	: Puno, Tiquillaca, Vilque, Mañazo y Cabanillas

Teniendo como punto de inicio en el Centro Poblado de Alto Puno – Yanamayo, en el Empalme con la carretera Puno - Juliaca y como punto final del tramo carretero en la Comunidad de Huataquita, empalmado a la carretera Juliaca - Arequipa. Con las siguientes coordenadas UTM.

CUADRO N° 01: Ubicación del inicio de carretera.

INICIO	PROGRESIVA	COORDENADAS		ALTITUD EN m.s.n.m.
		Norte	Este	
EMP. PE-3S (PUNO)	000 + 000	8251173.3	389384.14	4,032.67



FIGURA N° 14: Punto de inicio de obra.

CUADRO N° 02: Ubicación del final de carretera.

FIN	PROGRESIVA	COORDENADAS		ALTITUD EN m.s.n.m.
		Norte	Este	
EMP. PE-34A (HUATAQUITA)	56 + 108	8267542.49	353405.1	3,936.64



FIGURA N° 15: Punto final de obra.



FIGURA Nº 16: Mapa de ubicación.

3.3. ACCESO AL AREA DEL PROYECTO

La accesibilidad a la zona del presente estudio, es por vía terrestre desde la ciudad de Puno, en dos rutas, una ruta corta que es de Puno al Centro Poblado de Alto Puno y la ruta larga es el ingreso por el final del tramo que es pasando por la ciudad de Juliaca, para así llegar a la comunidad de Huataquita que es el final del tramo; el cual se detalla en los siguientes cuadros de rutas y distancias.

CUADRO Nº 03: Rutas de acceso

RUTA 01: CORTA

CARRETERA	TRAMO		KM.	Tiempo	Tipo de vía
Puno – Juliaca	Puno	C. P. Alto Puno (Inicio de Tramo)	03	10 min.	Asfaltada

RUTA 02: LARGA

CARRETERA	TRAMO		KM.	Tiempo	Tipo de vía
Puno – Juliaca	Puno	Juliaca	45	50 min.	Asfaltada
Juliaca – Arequipa	Juliaca	Huataquita (Fin de Tramo)	35	30 min.	Asfaltada

3.4. CLIMA Y VEGETACION.

El clima y la vegetación del área de influencia de la carretera en mención, varía básicamente con la altitud y topografía de la zona, está caracterizada por la presencia de fuertes lluvias entre los meses de Diciembre a Marzo, cuya fluctuación media está entre los 700 y 1400 mm. Entre los meses de abril a noviembre predomina la ausencia de lluvias (periodo de estiaje).

El clima es frígido y seco la mayor parte del tiempo (Abril a Noviembre); y lluvioso los meses de Diciembre a Marzo, con temperaturas que descienden algunas veces hasta -12°C y con una gran amplitud térmica, ya que las temperaturas máximas pueden alcanzar en épocas de invierno hasta los 16°C . La variación de la temperatura entre el día y la noche puede llegar hasta 20°C ;

por lo tanto, la consistencia de las rocas superficiales es afectada por estas oscilaciones térmicas (intemperismo físico).

La vegetación está sujeta a las variaciones de temperatura y altitud, la zona presenta una vegetación típica del altiplano que consta de pastos naturales, ichu, chilligua y algunos tolares, que sirven de alimento para los animales existentes que tienen los pobladores, que consta de ganado vacuno y ovino generalmente.

3.5. GEOLOGIA LOCAL

3.5.1. GRUPO CABANILLAS (SD-ca)

Descrita por Laubacher en el Boletín N° 42 INGEMMET (1978), la sección tipo fue definida por Newell (1949) en el área de Cabanillas a 40 Km. Al SO de Juliaca. Los afloramientos del Grupo Cabanillas se presentan, en los Cerros: Yana Orco, Arco Punco, Sinicachi y en los alrededores de final del tramo de la carretera en estudio, en los valles de Cabanillas. Este grupo litológicamente está conformado por lutitas de color gris a negro, que contienen concreciones ferruginosas; en parte, está intercalada con cuarcita y areniscas de grano fino a medio.

En el área de estudio, el Grupo Cabanillas aflora en pequeñas extensiones en la localidad de Huataquita – Cabanillas, al lado derecho del eje de carretera, entre las progresivas Km.55+000 al Km. 56+108.

El Grupo Cabanillas tiene un origen marino, que está representado por un facie nerítico.

El contenido de fósiles y su posición estratigráfica permite asignar a este grupo una edad silúrico – devoniana inferior a medio.

3.5.2. FORMACIÓN ANGOSTURA (K-an)

Esta formación se describe por primera vez en el estudio integrado del sur Boletín N° 42; aflora en los cuadrángulos de Lagunillas, Juliaca y Puno, la sección tipo tiene un buzamiento más o menos al oeste, está en el valle del Río Angostura, ubicado en el sector Oeste del Cuadrángulo de Juliaca.

Existen numerosos afloramientos de Areniscas Angostura que yacen en discordancia con el Grupo Cabanillas en el Valle mismo de Cabanillas, donde la Formación llega a tener entre 45 a 100 m. Newell (1949), estos afloramientos son los más accesibles en toda la región. Las areniscas son cuarzosas de grano medio a grano grueso, ligeramente ferruginosas de color ocre a marrón rojizo generalmente bien cementadas, siendo localmente sacaroideas. Contienen guijarros sub redondeados a bien redondeados hasta de 12 cm. de diámetro de cuarcitas.

En el tramo de la carretera esta formación se puede encontrar al lado derecho entre las progresivas Km. 52+200 al Km. 52+400 a unos metros del eje de carretera.

3.5.3. CALIZAS AYABACAS (K-ay)

Descritas por Cabrera y Petercen (Boletín N° 42 INGEMMET 1936), su nombre deriva de la localidad de Ayabacas, ubicado entre los distritos de Juliaca y Saman. Son sedimentos de ambiente marino acumulados durante una transgresión en el cretáceo medio a superior, los depósitos tienen una secuencia de calizas, margas, lutitas limolíticas. La mayor parte de las calizas parece descansar concordante mente sobre una secuencia delgada de transición que yace sobre las areniscas angostura en el final del tramo de carretera y la mayor parte sobre el Grupo Cabanillas.

La parte superior esta esta intemperizada y diaclasada, transformándose en suelo residual. Las calizas son arcillosas y margosas de color gris blanquecino a gris amarillento, con presencia de vetillas de calcita y dolomitas con espesores de 1 a 3 cm. Con estratificación oscura regular y de aspecto caótico en el área del presente estudio aflora al lado derecho del eje de carretera entre las progresivas Km. 51+300 al 51+500.

3.5.4. GRUPO PUNO (T-Pu)

Varios autores lo describieron como Formación; pero Newell (Boletín N° 42 INGEMMET en 1949), lo definió como Grupo. En su mayor parte son sedimentos arcósicos de facies continental de color rojiza y mal clasificados, la

deposición fue en cuencas de subsidencia rápida durante el Cretáceo Superior al Terciario Inferior, la potencia de los sedimentos es de 300 a 700 m.

Localmente, en el área de estudio se subdivide en dos horizontes bien definidos que se muestran entre las progresivas Km. 28+600 al Km. 29+300 y Km. 46+400 al Km. 46+800, en corte cerrado; compuestos por intercalaciones de conglomerados, estratos finos de lutitas y areniscas, las areniscas son arcósicas de color pardo rojizo a chocolate; tienen un rumbo de SW a NE, con un buzamiento de 25° a 60°.

3.5.5. GRUPO TACAZA (T-Ta)

El término Volcánico 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.

El Grupo Tacaza ocupa un pequeño sector al lado derecho del eje de carretera, en el Km. 14+200, descansa en contacto paralelo sobre el Grupo Puno, este es a su vez superpuesto por varios volcánicos del Cenozoico o rocas volcanoclasticas que se extienden desde las ignimbritas del Grupo Palca hasta las lavas del Grupo Ambo.

El Grupo Tacaza es un grupo diverso con rocas volcánicas andesíticas, teniendo en gran parte hasta un 50% de sedimentos terrestres. Las lavas son de olivino y/o augita porfírica y se caracterizan por la poca presencia de cobre diseminado, principalmente malaquita, en juntas y superficie de fracturas, rellenando (Boletín N° 42 INGEMMET).

Hay pocos sectores de afloramiento de este grupo, en el tramo se tiene escasos afloramientos y alejados del eje de carretera hacia el noroeste.

3.5.6. GRUPO BARROSO

3.5.6.1. Formación Umayo (T-u)

Lavas andesíticas basálticas: Mantos y flujos de lavas andesíticas basálticas porfíricas de plagioclasas y piroxeno, a afíricas en afloramientos extensos

emplazados en la antigua pene planicie, actualmente disectado y elevado con respecto a su nivel de base. Además se presenta potentes afloramientos al oeste de la ciudad de Puno, y a lo largo de los primeros 20 kilómetros de la carretera en evaluación, producto de una erupción fisural de pequeños conos monogenéticos lávicos. Las principales asociaciones mineralógicas son de olivino-plagioclasa y olivino-clinopiroxeno-plagioclasa.

Andesitas basálticas y brechas: Secuencias volcánicas más antiguas. Se ubican al este del complejo Umayo en los cerros Calacruz y Ajosane.

Lavas andesíticas porfiriticas: Esta secuencia es la más antigua e infrayace al Complejo Umayo. Se ubica en el sector del río Totorane, al NO de Puno.

Domo Andesítico: Domos asociados al complejo Umayo. Estas lavas se caracterizan de lavas vesiculares afaníticas gris azulinas, encontrándose en las inmediaciones del cerro Calacruz.

Las lavas se encuentran coronando la parte superior y los flancos de esta estructura, sobreyaciendo directamente a las tobas blancas del Grupo Maure; en la zona de estudio se encuentra aflorando desde el Km. 00+000 al 20+000 con pequeñas intercalaciones con material cuaternario.

3.5.7. FORMACION AZANGARO (TQ-az)

Fue inicialmente descrita por Newell (1949). Posteriormente, Klinck A., Allison R. y Palacios O. (1993), la elevaron al rango de Formación.

Aflora en el área de estudio en los sectores del poblado de Vilque, ubicado en el kilómetro 30+000 y otro sector está ubicado en los alrededores del C.P. de Cari Cari kilómetro 43+000 al 45+000, estos depósitos están compuestos de Areniscas finas y limos de color pardo blanquecinos, en bancos de 50 – 60 cm. Contienen restos de plantas expuestos en los corte de las construcciones. En esta formación también se intercalan limos con laminaciones de lutitas negras carbonosas.

Las características sedimentarias de esta formación, indican un ambiente continental lacustre y de llanuras de inundación.

3.5.8. DEPOSITOS ALUVIALES (Q-al)

Sedimentos posteriores a la formación Azángaro, de origen lacustrino; han sido encontrados a lo largo de la carretera, principalmente en las zonas llanas y cercanas a los ríos, los cuales fueron retrabajados y son difíciles de diferenciar entre la formación Azángaro y depósitos aluviales.

En el área del presente estudio abarca una extensa superficie, en el cual está formado por sedimentos detríticos de origen aluvial, constituidos por gravas sub redondeadas y arenas con granulometría heterogénea, además existen sedimentos limo-arcillosos y arcillas, los sedimentos acuíferos productivos está formado por arenas de grano medio a grueso debido a su permeabilidad media a alta. Considerando además parte de este acuífero al sedimento del material fino (arena fina) con intercalaciones limosas y de baja permeabilidad.

3.5.9. INTRUSIVOS

Las rocas intrusivas aflorantes son: cuarzodiorita, diorita, de color blanquesino, también está presente el intrusivo pórfido de cuarzo y feldespato de textura porfírica, con abundantes cristales ferromagnesianos y ligera alteración.

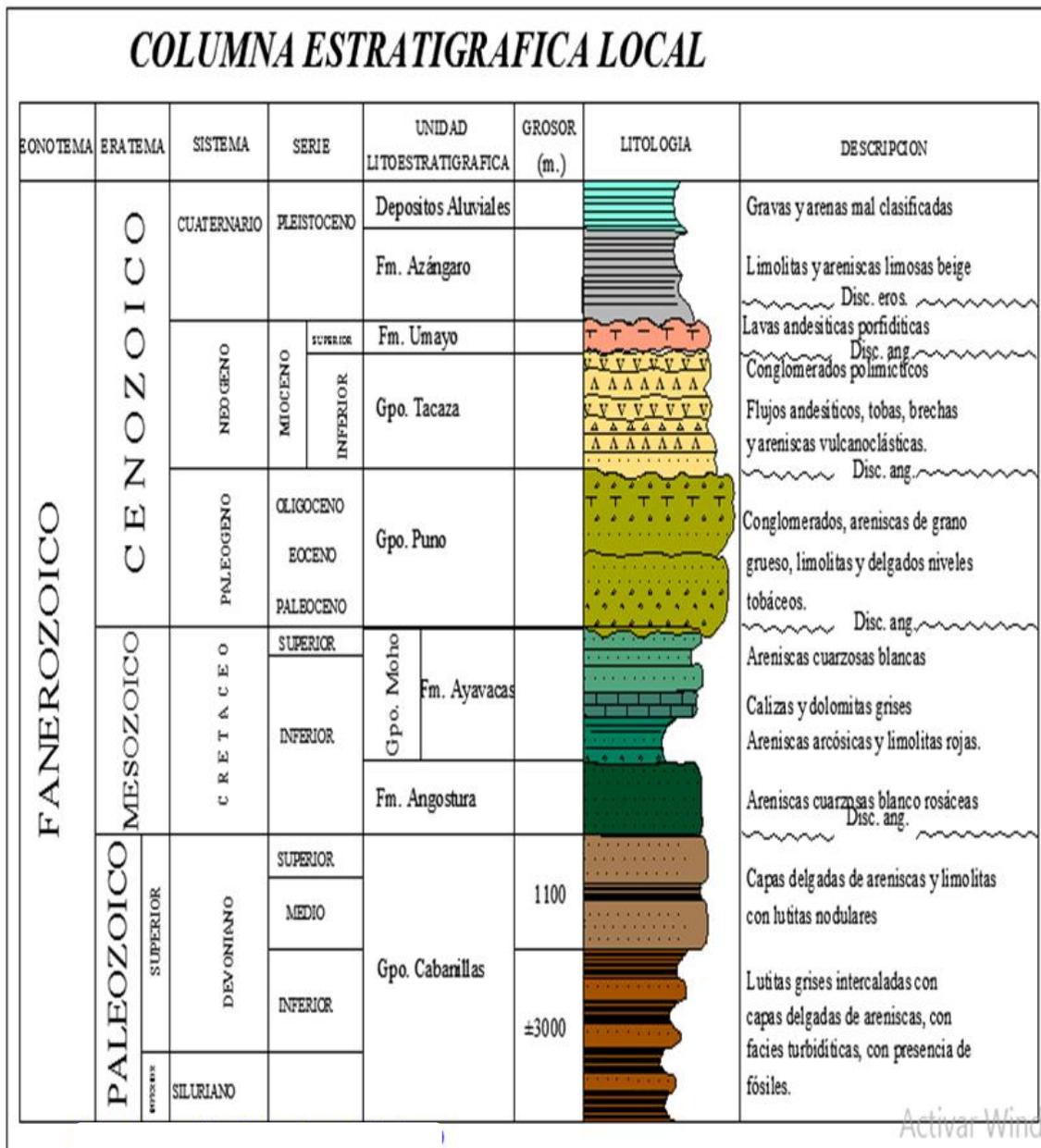
Es notorio observar que en ciertos lugares las rocas intrusivas muestran una topografía suave y ligero fracturamiento. Asimismo, por la acción de la intemperización, los granos que constituyen estas rocas acusan una gran disminución en su coherencia, produciendo un recubrimiento superficial.

En general, predominan los afloramientos dioríticos, encontrándose la mayoría de ellos en la parte alejadas al eje de la carretera en evaluación.

Los intrusivos que afloran tienen relación directa con la mineralización existente en la zona.

En cuanto a la época de emplazamiento de estos intrusivos, de acuerdo a consideraciones de carácter regional, se puede afirmar que tuvieron lugar a fines del cretáceo superior y comienzos del terciario inferior.

CUADRO N° 04: Columna estratigráfica (INGEMMET, 1993).



3.6. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Es posible interpretar la actividad tectónica regional a partir de la columna estratigráfica observada y sobre todo a partir del resultado diastrófico que condicionó la Orogenia Andina, evento de complejidad extrema, actualmente en desarrollo desde el Cretácico Terminal y puede ser estudiada a través de un modelo estructural simplificado, constituido por una serie de dislocaciones de tipo plicativo y disyuntivo, el mismo que explica la formación del sinclinorium Andino y permite evidenciar eventuales implicancias para el proyecto.

3.6.1. DISLOCACIONES PLICATIVAS

Se observa regionalmente a través de sistemas anticlinales - sinclinales que definen las geo-formas positivas y las depresiones que confinan los valles cordilleranos; en las imágenes siguientes se pueden observar estratos plegados en estructuras de tipo homoclinal que en algún momento pretérito correspondieron a flancos de anticlinales de amplio radio.



FIGURA N° 17: Deformaciones que muestra pliegues homoclinales.

La expresión local de los sistemas plicativos observados en la periferia del proyecto, consiste de estructuras homoclinales desarrolladas en horizontes del Grupo Puno; los pisos cretácicos de emplazamiento profundo que han sufrido mayor deformación bajo la influencia de la tectónica andina no son observables por encontrarse cubiertos por los sedimentos lacustres, fluviales y coluviales más recientes, en consecuencia, los sistemas plicativos evaluados no presentan ninguna implicancia negativa para el proyecto en la medida que la ocurrencia de estratos plegados solo constituyen hechos aislados, emplazados en pequeños afloramientos distales con respecto a los taludes de la carretera,

estos se pueden observar al final del tramo entre las progresivas Km. 55+000 al Km. 56+000 al lado derecho de carretera, en la localidad de Huataquita.

3.6.2. DISLOCACIONES DISYUNTIVAS

Debido a la cobertura volcánica y de material cuaternario, los sistemas disyuntivos solo son observables desde una perspectiva macro.

Es indudable que los pisos cretácicos y terciarios que han proporcionado material para el diastrófismo Andino, presentan sistemas dislocantes, lo contrario sería una singularidad, sin embargo, dado el nivel de soterramiento de dichos horizontes sedimentológicos respecto al terreno de fundación de la carretera, somos de la opinión de que la existencia subyacente de dislocaciones disyuntivas no incide negativamente sobre el proyecto en forma alguna, por lo que en nuestro concepto no demandan la necesidad de alguna intervención particular.

3.7. CARACTERIZACION DE SUELOS

Consiste en investigar el subsuelo donde se desarrollara la carretera Emp. PE-3S (Puno) – Vilque – Mañazo – Emp. PE-34A (Huataquita), así como evaluar fenómenos geodinámicos potenciales en sectores críticos. La investigación del subsuelo permite determinar las características físicas y mecánicas de los suelos, así mismo estudiar y localizar las canteras de préstamo de material para conformación de rellenos, materiales para las distintas capas del pavimento, agregados pétreos para mezclas de concreto hidráulico.

La evaluación de los fenómenos geodinámicas, nos permite determinar los sectores críticos de la carretera que requiere tratamientos especiales para la ejecución de las explanaciones.

3.7.1. TRABAJOS REALIZADOS

3.7.1.1. Calicatas en Plataforma Existente

Se realizó la ejecución de calicatas ubicadas convenientemente en el tramo de carretera en evaluación, a los lados izquierdo y derecho de la plataforma existente, con una profundidad promedio de 1,00 m., la longitud total del tramo

es de 56,108 Km., habiéndose efectuado un total de 42 calicatas de prospección a cielo abierto, y posterior recolección de las muestras de los distintos horizontes existentes.

Durante la ejecución de las calicatas en la plataforma, en el terreno natural se tiene una profundidad que varía de 0,50 m. hasta 1,50 m., en la mayoría de los pozos de exploración efectuados. Los registros de las calicatas se muestran en el cuadro N° 05, las profundidades alcanzadas y números de muestras obtenidos están de acuerdo al número de estratos que presenta cada perfil estratigráfico. La ejecución de las calicatas se realizó empleando maquinaria pesada, proporcionada.

En cada una de las calicatas aperturadas, se realizó una descripción visual del tipo de material encontrado, incluyendo una caracterización visual de presencia de material orgánico, presencia de nivel freático, humedad, características de plasticidad y consistencia de suelos finos o compacidad en suelos granulares, descripción de material mayor a 3", etc.

CUADRO N° 05: Ubicación de calicatas realizadas en plataforma existente.

Nº	Calicata	Lado	Prof. m.	M. O.	Nº	Calicata	Lado	Prof. m.	M. O.
1	Km. 00+400	IZQ.	1,50	2	22	Km. 30+400	DER.	1,50	2
2	Km. 01+260	DER.	1,50	2	23	Km. 31+500	IZQ.	1,50	2
3	Km. 03+800	IZQ.	1,50	2	24	Km. 34+000	DER.	1,50	2
4	Km. 05+000	DER.	1,50	2	25	Km. 36+120	IZQ.	1,50	2
5	Km. 07+000	IZQ.	1,50	2	26	Km. 38+000	DER.	1,50	2
6	Km. 08+000	DER.	1,50	2	27	Km. 39+800	IZQ.	1,50	2
7	Km. 09+100	IZQ.	0,60	2	28	Km. 41+000	DER.	1,50	2
8	Km. 10+000	DER.	0,70	2	29	Km. 42+500	IZQ.	1,50	2
9	Km. 12+000	IZQ.	1,50	2	30	Km. 43+500	DER.	1,50	2
10	Km. 14+000	DER.	1,50	3	31	Km. 44+500	IZQ.	1,50	3
11	Km. 16+100	IZQ.	1,50	2	32	Km. 46+280	DER.	1,50	2
12	Km. 18+000	DER.	1,50	2	33	Km. 46+550	IZQ.	1,00	2
13	Km. 20+000	IZQ.	1,50	1	34	Km. 47+100	DER.	1,50	1
14	Km. 22+100	DER.	1,50	2	35	Km. 48+500	IZQ.	1,50	2
15	Km. 23+500	IZQ.	0,50	1	36	Km. 50+100	DER.	1,50	2
16	Km. 24+500	DER.	1,50	2	37	Km. 51+365	IZQ.	1,50	2
17	Km. 25+500	IZQ.	1,50	2	38	Km. 51+850	DER.	1,50	2
18	Km. 26+500	DER.	1,50	2	39	Km. 52+900	IZQ.	1,50	2
19	Km. 27+500	IZQ.	1,50	2	40	Km. 54+000	DER.	1,50	2
20	Km. 28+500	DER.	1,50	2	41	Km. 54+720	IZQ.	1,50	2
21	Km. 29+500	IZQ.	1,50	2	42	Km. 55+600	DER.	1,50	2

M.O.: Muestras Obtenidas.

3.7.1.2. Muestreo en Calicatas de Plataforma Existente

Una vez realizada la apertura de las 42 calicatas en plataforma existente a una profundidad suficiente para la visualización y descripción visual, se precedió a la recolección de muestras de los diferentes estratos presentes, a lo largo del tramo; además se realizó la identificación de las muestras, para luego realizar los ensayos correspondientes.

3.7.1.3. Perfil Estratigráfico

En base a la información obtenida en los trabajos de campo y ensayos de laboratorio, se realizó la descripción visual corroborada con los resultados de ensayos de laboratorio y su clasificación obtenida; seguidamente se presenta gráficamente el perfil estratigráfico en las siguientes progresivas:

ESCALA GRAFICA	PROFUNDIDAD (m)	LONGITUD TRAMO (m)	N.F. (m)	CLASIFICACIÓN S.U.C.S.	SIMBOLO GRAFICO	DESCRIPCION DEL MATERIAL	MUESTRAS	DENSIDAD NATURAL (gr/cc)	Nº GOLPES S.P.T/M.L.	LIMITES DE ATTERBERG		% HUMEDAD NATURAL
										LL (%)	IP (%)	
	0,25					Suelo constituido por arenas limosas, con mezclas de gravas, arenas y limos; con una composición granulométrica de 18,9% de grava, 45,8% de arena y 35,3% de material fino. Estos suelos son de color gris parduzco. Semicompacto.	MA			21,5	2,85	9,5
							Suelos constituidos por limos inorgánicos, con mezclas de limos y arcillas; con una composición granulométrica de 4,5% de grava, 23,4% de arena y 72,1% de material fino. Estos suelos son de color pardo grisáceo. Semicompacto.	MA			42,4	7,2
150	125											

FIGURA Nº 18: Perfil estratigráfico Km. 07+000 L/lzq.

ESCALA GRAFICA	PROFUNDIDAD (m)	LONGITUD TRAMO (m)	N.F. (m)	CLASIFICACIÓN S.U.C.S.	SIMBOLO GRAFICO	DESCRIPCION DEL MATERIAL	MUESTRAS	DENSIDAD NATURAL (gr/cc)	Nº GOLPES S.P.T/M.L.	LIMITES DE ATTERBERG		% HUMEDAD NATURAL
										LL (%)	IP (%)	
		0,2				Suelo constituidos por gravas limosas ligeramente arcillosas; con una composicion granulometricas de 45,2 % de grava, 41,6 % de arena y 13,2 % de material fino. Estos suelos son de color gris.	MA			22,9	4,04	7,1
						Suelo constituidos por arcillas inorganicos de alta plasticidad; con una composicion granulometricas de 17 % de grava, 24,9 % de arena y 73,4 % de material fino. Estos suelos son de color gris blanquesino. Semicompacto.	MA			54,2	27,83	29,1

FIGURA Nº 19: Perfil estratigráfico Km. 26+500 L/Der.

ESCALA GRAFICA	PROFUNDIDAD (m)	LONGITUD TRAMO (m)	N.F. (m)	CLASIFICACIÓN S.U.C.S.	SIMBOLO GRAFICO	DESCRIPCION DEL MATERIAL	MUESTRAS	DENSIDAD NATURAL (gr/cc)	Nº GOLPES S.P.T/M.L.	LIMITES DE ATTERBERG		% HUMEDAD NATURAL
										LL (%)	IP (%)	
		0,3				Suelo constituidos por arenas limosas, con mezclas de arenas y limos; con una composicion granulometricas de 39,1% de grava, 44,3 % de arena y 16,6 % de material fino. Estos suelos son de color gris parduzco. Semicompacto.	MA			22,1	2,54	7,3
						Suelo constituidos por limos inorganicos de baja plasticidad, con mezclas de limos y arcillas; con una composicion granulometricas de 1,3 % de grava, 34,8 % de arena y 63,9 % de material fino. Estos suelos son de color pardo grisaceo. Semicompacto.	MA			38,25	8,59	15,7

FIGURA Nº 20: Perfil estratigráfico Km. 48+500 L/lzq.

3.7.1.4. Capacidad de Soporte (CBR)

Según el CBR se puede determinar los suelos como: malos, pobres, regulares, buenos y excelentes, como terreno de fundación; para así saber que suelos son adecuados para la cimentación de carreteras y que suelos requieren ser remplazados, por otros de mejores características y mejor capacidad de soporte. Para esta identificación se tiene el siguiente cuadro, donde indica los valores de los CBR de suelos que son:

TABLA Nº 10: Utilización de suelos de fundación en carreteras. (MTC -2008).

CBR (%)	CLASIFICACION	SISTEMA UNIFICADO
0 - 3	Muy pobre	OH, CH, MH, OL
3 - 5	Pobre	OH, CH, MH, OL
6 - 10	Regular	OL, CL, ML, SC, SM, SP
11 - 19	Bueno	GM, GC, SW, SM, SP, GP
> 20	Muy Bueno	GW, GM

3.8. ESTUDIO DE CANTERAS

3.8.1. TRABAJOS DE CAMPO

El reconocimiento de fuentes de aprovisionamiento de materiales de préstamo para obras, se realizó a lo largo del sector de estudio, habiéndose ubicados bancos de materiales coluviales y aluviales, apropiados para los procesos de explotación. Las muestras de estos materiales fueron remitidas al laboratorio con la finalidad de conocer la calidad de los materiales para ser empleados en las diferentes partidas de la obra, que son necesarias para la construcción de la carretera.

Los trabajos de campo consistieron en la localización de canteras y su evaluación preliminar superficial, luego de tener certeza que dicho material pueda ser favorable, se hizo la recolección de muestras para ser enviadas al laboratorio de mecánica de suelos y pavimentos, para realizar los ensayos correspondiente y así determinar sus características físico-mecánicas, posteriormente con los resultados obtenidos de los materiales se determinó su potencia estimada, su ubicación con respecto al eje de la vía, sus acceso, posibles usos, etc.

Para este tramo de carretera se ha determinado 12 (doce) canteras, para las diferentes capas que son necesarias en la construcción de carreteras, las cuales se desarrollan y nombran más adelante.

3.8.1.1. Calicatas y Muestreo

Se efectuaron excavaciones de calicatas en cada una de las canteras, con la finalidad de obtener las características, espesor y composición litológica de los materiales.

De igual manera, se recolecto muestras en cantidad suficiente para efectuar los ensayos de laboratorio para estimar su uso y el tratamiento necesario.

La ubicación y descripción de las canteras se presentan en el cuadro N° 06.

CUADRO N° 06: Relación de canteras ubicadas. (Elaboración propia).

CANTERA	ACCESO (m.)	ESTADO ACCESO	PROGRESIVA	LADO	USOS	PROPIETARIO
Km. 10+400	300	Regular	Km. 10+400	Izq.	Sub base, relleno	Particular
Sircuni	120	Regular	Km. 12+820	Izq.	Sub base, relleno	Municipio
Km. 26+800	50	Regular	Km. 26+800	Der.	Concreto, Slurry Seal	Municipio
Rio Vilque	200	Regular	Km. 30+860	Amb.	basa, sub base	Municipio
Km. 31+460	80	Regular	Km. 31+460	Izq.	Sub base, base	Particular
Qda. Huayllani	450	Malo	Km. 36+900	Izq.	Sub base, base	Comunidad
Rio Mañazo	250	Regular	Km. 40+280	Amb.	base, sub base, relleno	Municipio
Rio Jatunmayo	400	Regular	Km. 41+920	Izq.	base, sub base, relleno	CC. Cari Cari
Km. 46+400	20	Bueno	Km. 46+400	Der.	Sub base, relleno	Particular
Rio Cabanillas	550	Regular	Km. 268+000	Izq.	Concreto	CC. Huataquita
Rio Paxa	6300	Bueno	Km. 20+740	Izq.	Concreto, base	CC. de Paxa
Qda. Conduriri	16500	Regular	Km. 20+740	Izq.	Sub base, base	Comunidad

CAPITULO IV

EXPOSICION Y ANALISIS DE RESULTADOS

4.1. CARACTERIZACION GEOTECNICA DE LA CARRETERA

Es imprescindible considerar las características geotécnicas en el presente trabajo para entender los fenómenos que puedan afectar. El levantamiento geológico-geotécnico debe atender la necesidad de obtener datos sobre las características geotécnicas de subsuperficie: materiales a ser excavados (suelos residuales, coluvial, aluvial, rocas, etc.), fundación de los terraplenes, materiales de construcción (arena, grava, piedra, etc.).

La identificación debe ser cualitativa y cuantitativa tanto en relación a los volúmenes como a los parámetros geotécnicos de los materiales, obtenido en los ensayos de laboratorio (granulometría, límite líquido, límite plástico, proctor y CBR para suelos).

En los diferentes tipos de suelos existentes en la zona, la cantidad de expansión depende de la magnitud de las tensiones efectivas y del módulo de expansibilidad del suelo. El módulo de expansibilidad se incrementa con la proporción de la fracción de arcilla presente en el suelo, y con la expansibilidad de los arcillo minerales presentes.

En las fundaciones son de especial importancia la presencia de arcillas expansivas por sus implicaciones. Las arcillas expansivas, son generalmente de mediana a alta plasticidad cuando se encuentra por encima del nivel freático y muestran altos valores de contracción cuando secan. Cuando humedecen, se expanden ejerciendo grandes presiones, entonces las estructuras implantadas

en la zona de variación del nivel freático son susceptibles a destruirse. Una indicación de la expansibilidad potencial de la arcilla puede ser obtenida a través de los límites de ATTERBERG. La expansibilidad, generalmente aumenta con el incremento del límite de liquidez y del índice de plasticidad. La expansibilidad puede ser investigada a través de ensayos de compresibilidad en el laboratorio.

Las fundaciones localizadas en una secuencia sedimentaria de arenisca y lutitas (como es el caso de algunos tramos de la carretera en construcción), podrían generar asentamientos diferenciales debido a las diferentes deformaciones de estas rocas y la expansibilidad de los arcillo minerales constituyentes de las lutitas. Un tratamiento especial de este tipo de materiales es necesarios para diseñar una fundación apropiada para compensar este problema.

Por otro lado, las rocas como material de construcción juegan un importante papel como consecuencia de sus cualidades de durabilidad, resistencia y bajo costo, principalmente en enrocados de fundaciones, lastre, pavimentos, agregados para concretos y filtros.

Los enrocados a ser utilizados para fundaciones de terraplenes, deben estar constituidos por bloques de rocas sanas y no desagregable bajo los efectos de variación de temperatura o de contactos intermitentes de aire y agua. Lo que atienda para la zona de mejoramiento y reemplazo. Existen varios tipos de roca dentro del radio del tramo de la carretera en construcción, que son accesibles a las cuales se tendrá que realizar ensayos de laboratorio con el objeto de determinar las propiedades físicas de la roca como: la durabilidad, el desgaste, el peso específico y otros ensayos necesarios, a fin de orientar la elección del material para enrocados. Los enrocados para fundaciones de carreteras en terrenos de baja capacidad de soporte o pantanosos deben ser bien graduados, desde bloques grandes con dimensión máxima de 1.50 m. hasta fragmentos pequeños de 1 a 3 pulgadas de diámetro, a fin de rellenar los espacios vacíos existentes entre los bloques mayores y evitar el ingreso de material fino, que son perjudiciales para un buen drenaje de las aguas subterráneas, debido a la colmatación de los conductos preferenciales del flujo.

La gran dificultad de los enrocados con rocas volcánicas alteradas o lutitas, es que la continua desagregación o desintegración del material genera asentamientos frecuentes y destrucción de la superficie del terraplén. Una proporción significativa de arcillas puede reducir considerablemente la resistencia al cizallamiento, provocando inestabilidad en el terraplén.

La mayoría de carreteras de la sierra sur del país, están construidas sobre suelos susceptibles a la variación de las condiciones de humedad, siendo menos eficientes en la estación húmeda. Para garantizar mayor eficiencia a los terraplenes de las carreteras, será necesarios que sean tratados con piedra chancada bien graduada de buena resistencia a la abrasión y al intemperismo. Es indispensable el enrocado en los lugares de filtraciones subterráneas o bofedales.

4.1.1. ENSAYOS DE LABORATORIO

Con las muestras disturbadas e inalteradas obtenidas de las calicatas se realizaron ensayos estándar de Mecánica de Suelos, los mismos que se describen a continuación:

- Contenido de Humedad Natural ASTM D-2216
- Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422
- Limite Líquido ASTM D-423
- Limite Plástico ASTM D-424
- Relación Humedad – Densidad ASTM D-1557
- CBR(Relación de Soporte de California) ASTM D-1883

4.1.2. IDENTIFICACION Y CLASIFICACION DE SUELOS

Para la identificación y clasificación de suelos, se requiere la realización de los ensayos de análisis granulométrico y los límites de consistencia de los materiales o muestras de los diferentes estratos de cada una de las calicatas aperturadas.

En el siguiente cuadro se muestran los resultados del ensayo de granulometría, límites de consistencia; con lo cual se obtuvo sus clasificaciones SUCS y AASHTO, que son necesarios en la construcción de carreteras y así tomar algunas decisiones con referencia a algunas zonas que por la clasificación se pueden identificar como suelos malos o pobres para la cimentación.

Según la clasificación ASSHTO, los suelos malos para la cimentación de carreteras son las que están de A-5 a A-7; estos suelos son finos y fácilmente colapsables y además tienen mucha presencia de humedad.

Del cuadro N° 07, se puede apreciar que las 42 calicatas aperturadas, por su clasificación se tiene 3 sectores críticos que son: el primer tramo: del Km. 24+000 al Km. 30+000, por la presencia de material fino de alta a mediana plasticidad según SUCS son: ML, CL, CH y según AASHTO A-5, A-6, A-7; el segundo tramo del Km. 33+500 al Km. 46+300, por la presencia de material fino de alta a mediana plasticidad según SUCS son: ML, CL y según AASHTO A-4, A-6, A-7; el tercer tramo del Km. 48+100 al Km. 52+000, por la presencia de material fino de mediana a baja plasticidad según SUCS son: ML y según AASHTO A-4; por todo lo expuesto se puede decir que estos sectores por su clasificación, son suelos inadecuados para la fundación.

4.1.3. CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR)

La capacidad de soporte de los suelos, por lo general se presentan de regular, buena a excelente, cuando se trata de suelos granulares (mezcla de gravas y arenas); y es de mala, pobre a regular, cuando se trata de suelos finos (mezclas de limos y arcillas), como se muestra en la Tabla N° 09 del capítulo III.

En la presente evaluación se pudo obtener los siguientes valores de CBR que se muestran el cuadro N° 08, que claramente se diferencian en sectores muy definidos, con lo cual se puede obtener 10 tramos que se describen más adelante, todo estos valores se muestran en el cuadro siguiente N° 08.

CUADRO N° 07: Clasificación de los suelos y profundidades. (Elaboración propia)

CALICATA	LADO	ESTRATO	PROFUNDIDAD	PROGRESIVA	GRANULOMETRIA			LIMITES DE CONSISTENCIA		W %	CLASIFICACION	
					% PASANTE DE LOS TAMICES			L.L.	I.P.		AASHTO	SUCS
					GRAVA	ARENA	FINO					
01	IZQ.	1	0,00 - 0,20	Km. 00+400	35.7	58.6	5.7	19.60	2.65	4.6	A-1-b (0)	SP - SM
		2	0,20 - 1,50		22.5	65.3	12.2	25.30	4.66	6.2	A-2-4 (0)	SM - SC
02	DER.	1	0,00 - 0,50	Km. 01+260	43.7	39.9	16.4	23.10	4.87	7.0	A-1-b (0)	GM - GC
		2	0,50 - 1,50		15.8	36.0	48.2	44.10	16.16	13.1	A-7-5 (5)	SM
03	IZQ.	1	0,00 - 0,20	Km. 03+800	25.8	39.2	35.0	20.90	N.P.	6.7	A-2-4 (0)	SM
		2	0,20 - 1,50		26.6	42.5	30.9	41.70	11.94	16.4	A-2-7 (1)	SM
04	DER.	1	0,00 - 0,70	Km. 05+000	18.4	19.3	62.3	25.00	3.23	16.4	A-4 (5)	ML
		2	0,70 - 1,50		14.2	17.1	68.7	42.50	8.73	23.7	A-5 (7)	ML
05	IZQ.	1	0,00 - 0,25	Km. 07+000	18.9	45.8	35.3	21.15	2.85	9.5	A-2-4 (0)	SM
		2	0,25 - 1,50		4.5	23.4	72.1	42.40	7.12	4.9	A-5 (8)	ML
06	DER.	1	0,00 - 0,30	Km. 08+000	20.8	58.6	20.6	20.20	2.16	6.4	A-1-b (0)	SM
		2	0,30 - 1,50		39.3	38.1	22.6	48.80	13.55	22.0	A-2-7 (0)	GM
07	IZQ.	1	0,00 - 0,15	Km. 09+100	27.8	46.6	25.6	20.40	2.19	6.5	A-2-4 (0)	SM
		2	0,15 - 0,60		24.9	28.8	46.3	37.90	11.79	17.9	A-6 (3)	SM
		3	0,60 - más		ROCA							
08	DER.	1	0,00 - 0,25	Km. 10+000	50.6	34.9	14.5	19.20	N.P.	5.2	A-1-a (0)	GM
		2	0,25 - 0,70		19.4	25.8	54.8	42.90	13.62	27.0	A-7-6 (6)	ML
		3	0,70 - más		ROCA							
09	IZQ.	1	0,00 - 0,65	Km. 12+000	22.6	68.9	8.5	24.60	6.34	10.1	A-2-4 (0)	SP - SC
		2	0,65 - 1,50		27.1	18.1	54.8	44.15	13.81	15.5	A-7-5 (6)	ML
10	DER.	1	0,00 - 0,15	Km. 14+000	38.1	40.6	21.3	19.20	N.P.	4.7	A-1-b (0)	SM
		2	0,15 - 0,35		15.8	28.4	55.8	33.45	9.11	13.0	A-4 (4)	ML
		3	0,35 - 1,50		19.5	28.7	51.8	41.40	14.91	16.0	A-7-6 (5)	ML
11	IZQ.	1	0,00 - 0,15	Km. 16+100	29.3	48	22.7	20.30	2.39	5.1	A-1-b (0)	SM
		2	0,15 - 1,50		15.9	32.4	51.7	41.20	9.70	24.0	A-5 (3)	ML
12	DER.	1	0,00 - 0,15	Km. 18+000	30	50.9	19.1	21.00	2.95	4.8	A-1-b (0)	SM
		2	0,15 - 1,50		36.1	19.4	44.5	26.30	6.48	16.4	A-4 (2)	GM - GC
13	IZQ.	1	0,00 - 1,50	Km. 20+000	51.8	25.1	23.1	28.10	5.89	9.0	A-1-b (0)	GM - GC
14	DER.	1	0,00 - 0,15	Km. 22+100	32.4	54.2	13.4	21.80	3.60	4.7	A-1-a (0)	SM
		2	0,15 - 1,50		46.2	37.5	16.3	30.20	6.56	4.7	A-2-4 (0)	GM - GC
15	IZQ.	1	0,00 - 0,50	Km. 23+500	43.1	20.3	36.6	29.50	9.93	10.5	A-4 (0)	GC
		2	0,50 - más		ROCA							
16	DER.	1	0,00 - 0,30	Km. 24+500	41.3	39.4	19.3	26.45	4.65	9.3	A-1-b (0)	GM - GC
		2	0,30 - 1,50		17.2	20.9	61.9	20.60	2.72	23.1	A-4 (5)	ML
17	IZQ.	1	0,00 - 0,20	Km. 25+500	44.4	43.7	11.9	25.20	4.58	8.7	A-1-a (0)	GW - GC
		2	0,20 - 1,50		0.2	29.5	70.3	31.10	8.38	27.0	A-4 (7)	CL
18	DER.	1	0,00 - 0,20	Km. 26+500	45.2	41.6	13.2	22.90	4.04	7.1	A-1-a (0)	GM - GC
		2	0,20 - 1,50		1.7	24.9	73.4	54.20	27.83	29.1	A-7-6 (18)	CH
19	IZQ.	1	0,00 - 0,30	Km. 27+500	52.2	30.9	16.9	28.40	6.77	7.9	A-2-4 (0)	GM - GC
		2	0,30 - 1,50		3.1	38.8	58.1	43.50	17.73	26.3	A-7-6 (8)	CL
20	DER.	1	0,00 - 0,40	Km. 28+500	27.3	53.4	19.3	26.95	6.25	8.4	A-2-4 (0)	SM - SC
		2	0,40 - 1,50		3.1	38.8	58.1	53.20	28.21	28.8	A-7-6 (13)	CH
21	IZQ.	1	0,00 - 0,20	Km. 29+500	50.5	36.6	12.9	34.50	9.15	9.8	A-2-4 (0)	GM
		2	0,20 - 1,50		0	40.6	59.4	41.85	11.19	22.6	A-7-5 (6)	ML
22	DER.	1	0,00 - 0,20	Km. 30+400	0.8	74.5	24.7	26.30	5.34	9.4	A-2-4 (0)	SM - SC
		2	0,20 - 1,50		0.8	91.7	7.5	18.90	N.P.	7.0	A-2-4 (0)	SP - SM

CALICATA	LADO	ESTRATO	PROFUNDIDAD	PROGRESIVA	GRANULOMETRIA			LIMITES DE CONSISTENCIA		W %	CLASIFICACION	
					% PASANTE DE LOS TAMICES			L.L.	I.P.		AASHTO	SUCS
					GRAVA	ARENA	FINO					
23	IZQ.	1	0,00 - 0,80	Km. 31+500	46.9	36.5	16.6	28.10	5.86	7.9	A-1-b (0)	GM - GC
		2	0,80 - 1,50		53.8	42.6	3.6	N.P.	N.P.	4.7	A-1-a (0)	GP
24	DER.	1	0,00 - 0,50	Km. 34+000	41.6	42.8	15.6	27.15	6.60	7.9	A-2-4 (0)	SM - SC
		2	0,50 - 1,50		1.3	36.1	62.6	33.60	12.15	23.2	A-6 (6)	CL
25	IZQ.	1	0,00 - 0,50	Km. 36+120	50.1	36.7	13.2	27.65	5.88	8.3	A-1-a (0)	GM - GC
		2	0,50 - 1,50		1.3	43.5	55.2	33.30	11.18	23.3	A-6 (5)	CL
26	DER.	1	0,00 - 0,40	Km. 38+000	49.6	36.2	14.2	28.00	5.71	8.6	A-1-a (0)	GM - GC
		2	0,40 - 1,50		0.8	24.8	74.4	47.40	22.08	34.2	A-7-6 (14)	CL
27	IZQ.	1	0,00 - 0,50	Km. 39+800	48.6	35.7	15.7	27.75	5.56	9.3	A-1-b (0)	GM - GC
		2	0,50 - 1,50		1.3	35.3	63.4	27.85	8.78	17.9	A-4 (6)	CL
28	DER.	1	0,00 - 0,30	Km. 41+000	49.1	28.8	22.1	20.30	N.P.	4.3	A-1-b (0)	GM
		2	0,30 - 1,50		7.8	29	63.2	21.90	N.P.	13.3	A-4 (6)	ML
29	IZQ.	1	0,00 - 0,20	Km. 42+500	42.1	46.5	11.4	21.80	2.20	6.3	A-1-b (0)	SP - SM
		2	0,20 - 1,50		1.5	24.9	73.6	39.05	16.09	32.2	A-6 (10)	CL
30	DER.	1	0,00 - 0,15	Km. 43+500	42.3	41.1	16.6	19.90	1.46	7.7	A-1-b (0)	GM
		2	0,15 - 1,50		2.7	14.3	83	48.00	12.03	29.2	A-7-5 (10)	ML
31	IZQ.	1	0,00 - 0,15	Km. 44+500	49.8	32.4	17.8	25.00	6.09	7.8	A-2-4 (0)	GM - GC
		2	0,15 - 0,80		4.2	37.3	58.5	45.30	15.62	29.4	A-7-6 (8)	ML
		3	0,80 - 1,50		8.1	49.4	42.5	28.40	6.53	23.4	A-4 (2)	SM - SC
32	DER.	1	0,00 - 0,20	Km. 46+280	42.5	42	15.5	25.75	4.83	7.9	A-1-b (0)	GM - GC
		2	0,20 - 1,50		1.3	23.3	75.4	47.20	22.20	30.0	A-7-6 (14)	CL
33	IZQ.	1	0,00 - 0,20	Km. 46+550	28.1	49.7	22.2	24.75	5.22	7.1	A-1-b (0)	SM - SC
		2	0,20 - 1,00		7.7	28.8	63.5	30.60	7.18	18.1	A-4 (6)	ML
		3	1,00 - más		ROCA							
34	DER.	1	0,00 - 1,50	Km. 47+100	3.7	59	37.3	19.40	1.29	14.4	A-4 (0)	SM
35	IZQ.	1	0,00 - 0,30	Km. 48+500	39.1	44.3	16.6	22.10	2.54	7.3	A-1-b (0)	SM
		2	0,30 - 1,50		1.3	34.8	63.9	38.25	8.59	15.7	A-4 (5)	ML
36	DER.	1	0,00 - 0,40	Km. 50+100	43.2	42.6	14.2	21.15	2.79	7.8	A-1-b (0)	GM
		2	0,40 - 1,50		3.2	44.9	51.9	23.90	5.05	13.2	A-4 (3)	CL - ML
37	IZQ.	1	0,00 - 0,35	Km. 51+365	46.7	40.9	12.4	20.80	2.59	8.0	A-1-a (0)	GM
		2	0,35 - 1,50		1.9	28.3	69.8	31.00	4.76	23.8	A-4 (7)	CL - ML
38	DER.	1	0,00 - 0,25	Km. 51+850	50.9	36.1	13	20.20	2.75	7.0	A-1-a (0)	GM
		2	0,35 - 1,50		31.5	41.9	26.6	28.20	4.39	18.6	A-2-4 (0)	SM - SC
39	IZQ.	1	0,00 - 0,70	Km. 52+900	42.7	42.3	15	21.84	2.53	7.5	A-1-b (0)	GM
		2	0,70 - 1,50		9.4	43.3	47.3	31.10	8.85	20.4	A-4 (2)	SC
40	DER.	1	0,00 - 1,00	Km. 54+000	0.5	37.6	61.9	30.80	7.17	20.1	A-4 (5)	ML
		2	1,00 - 1,50		5.9	43.5	50.6	35.40	14.13	18.2	A-6 (5)	CL
41	IZQ.	1	0,00 - 0,40	Km. 54+720	50.6	35.1	14.3	19.50	N.P.	4.6	A-1-a (0)	GM
		2	0,40 - 1,50		3.2	32.8	64	27.80	7.08	29.0	A-4 (6)	CL
42	DER.	1	0,00 - 0,20	Km. 55+600	44.2	38.4	17.4	27.90	7.35	7.7	A-2-4 (0)	GC
		2	0,20 - 1,50		4.2	67.2	28.6	27.20	7.91	7.2	A-2-4 (0)	SC

CUADRO N° 08: Cuadro de resumen de proctor y CBR

CALICATA	LADO	ESTRATO	PROFUNDIDAD	PROGRESIVA	CLASIFICACION		COMPACTACION		CBR	
					AASHTO	SUCS	MDS	OCH	100%	95%
01	IZQ.	2	0,20 - 1,50	Km. 00+400	A-2-4 (0)	SM - SC	2.064	9.6	33.1	22.9
02	DER.	2	0,50 - 1,50	Km. 01+260	A-7-5 (5)	SM	2.080	10.9	16.8	11.2
03	IZQ.	2	0,20 - 1,50	Km. 03+800	A-2-7 (1)	SM	1.591	22.4	14.0	8.6
04	DER.	2	0,70 - 1,50	Km. 05+000	A-5 (7)	ML	1.827	12.5	7.6	6.0
05	IZQ.	2	0,25 - 1,50	Km. 07+000	A-5 (8)	ML	1.821	14.6	7.4	5.7
06	DER.	2	0,30 - 1,50	Km. 08+000	A-2-7 (0)	GM	1.555	25.5	14.2	10.4
07	IZQ.	2	0,15 - 0,60	Km. 09+100	A-6 (3)	SM	1.795	14.4	10.7	8.2
		3	0,60 - más		ROCA					
08	DER.	3	0,70 - más	Km. 10+000	ROCA					
09	IZQ.	2	0,65 - 1,50	Km. 12+000	A-7-5 (6)	ML	1.750	13.8	5.4	4.1
10	DER.	3	0,35 - 1,50	Km. 14+000	A-7-6 (5)	ML	1.769	16.5	5.6	4.3
11	IZQ.	2	0,15 - 1,50	Km. 16+100	A-5 (3)	ML	1.867	12.5	8.8	6.6
12	DER.	2	0,15 - 1,50	Km. 18+000	A-4 (2)	GM - GC	2.073	9.3	20.5	14.4
13	IZQ.	1	0,00 - 1,50	Km. 20+000	A-1-b (0)	GM - GC	1.963	11.7	15.0	10.3
14	DER.	2	0,15 - 1,50	Km. 22+100	A-2-4 (0)	GM - GC	1.772	12.3	26.0	19.3
15	IZQ.	2	0,50 - más	Km. 23+500	ROCA					
16	DER.	2	0,30 - 1,50	Km. 24+500	A-4 (5)	ML	1.774	14.6	5.00	3.85
17	IZQ.	2	0,20 - 1,50	Km. 25+500	A-4 (7)	CL	1.703	14.1	5.10	4.10
18	DER.	2	0,20 - 1,50	Km. 26+500	A-7-6 (18)	CH	1.597	19.5	4.20	3.15
19	IZQ.	2	0,30 - 1,50	Km. 27+500	A-7-6 (8)	CL	1.664	18.0	4.80	3.75
20	DER.	2	0,40 - 1,50	Km. 28+500	A-7-6 (13)	CH	1.596	18.6	5.80	4.30
21	IZQ.	2	0,20 - 1,50	Km. 29+500	A-7-5 (6)	ML	1.682	15.7	5.50	4.15
22	DER.	2	0,20 - 1,50	Km. 30+400	A-2-4 (0)	SP - SM	1.811	10.0	47.5	28.9
23	IZQ.	2	0,80 - 1,50	Km. 31+500	A-1-a (0)	GP	2.165	7.7	70.0	43.7
24	DER.	2	0,50 - 1,50	Km. 34+000	A-6 (6)	CL	1.901	12.6	10.5	6.6
25	IZQ.	2	0,50 - 1,50	Km. 36+120	A-6 (5)	CL	1.764	13.2	4.4	3.2
26	DER.	2	0,40 - 1,50	Km. 38+000	A-7-6 (14)	CL	1.538	20.4	4.9	3.9
27	IZQ.	2	0,50 - 1,50	Km. 39+800	A-4 (6)	CL	1.915	11.0	8.9	5.4
28	DER.	2	0,30 - 1,50	Km. 41+000	A-4 (6)	ML	1.886	13.3	9.5	6.8
29	IZQ.	2	0,20 - 1,50	Km. 42+500	A-6 (10)	CL	1.566	21.8	6.6	4.0
30	DER.	2	0,15 - 1,50	Km. 43+500	A-7-5 (10)	ML	1.601	19.3	4.6	3.6
31	IZQ.	2	0,15 - 0,80	Km. 44+500	A-7-6 (8)	ML	1.692	20.5	5.5	4.2
32	DER.	2	0,20 - 1,50		Km. 46+280	A-7-6 (14)	CL	1.724	15.9	3.8
33	IZQ.	2	0,20 - 1,00	Km. 46+550	A-4 (6)	ML	1.857	12.9	9.8	7.5
		3	1,00 - más		ROCA					
34	DER.	1	0,00 - 1,50	Km. 47+100	A-4 (0)	SM	2.074	9.6	25.5	17.0
35	IZQ.	2	0,30 - 1,50	Km. 48+500	A-4 (5)	ML	1.839	13.8	6.3	4.8
36	DER.	2	0,40 - 1,50	Km. 50+100	A-4 (3)	CL - ML	1.756	15.8	6.6	4.9
37	IZQ.	2	0,35 - 1,50	Km. 51+365	A-4 (7)	CL - ML	1.807	14.0	5.8	4.1
38	DER.	2	0,35 - 1,50	Km. 51+850	A-2-4 (0)	SM - SC	2.037	9.4	15.8	11.4
39	IZQ.	2	0,70 - 1,50	Km. 52+900	A-4 (2)	SC	1.927	11.6	14.5	10.2
40	DER.	2	1,00 - 1,50	Km. 54+000	A-6 (5)	CL	1.854	12.5	6.8	4.8
41	IZQ.	2	0,40 - 1,50	Km. 54+720	A-4 (6)	CL	1.844	14.4	4.9	3.7
42	DER.	2	0,20 - 1,50	Km. 55+600	A-2-4 (0)	SC	2.093	9.4	21.0	13.8

En función a los resultados mostrados en el cuadro N° 08, de las muestras obtenidas en campo, se procedió a agrupar en sub tramos de valores de CBR similares, de lo que se pudo diferenciar y distribuir en 10 sub tramos diferentes, los cuales se muestran en el cuadro N° 09.

CUADRO N° 09: Resumen de valores de CBR por tramos

N°	PRGRESIVA	VALOR DE CBR AL 95%	N° DE CALICATAS POR TRAMO	N°	PRGRESIVA	VALOR DE CBR AL 95%	N° DE CALICATAS POR TRAMO
1	Km. 00+400	22.90	6 CALICATAS	22	Km. 30+400	28.90	2 CALICATAS
2	Km. 01+260	11.20		23	Km. 31+500	43.70	
3	Km. 03+800	8.60		24	Km. 34+000	6.60	9 CALICATAS
4	Km. 05+000	6.00		25	Km. 36+120	3.20	
5	Km. 07+000	5.70		26	Km. 38+000	3.90	
6	Km. 08+000	10.40		27	Km. 39+800	5.40	
7	Km. 09+100	8.20	28	Km. 41+000	6.80		
8	Km. 10+000		29	Km. 42+500	4.00		
9	Km. 12+000	4.10	4 CALICATAS	30	Km. 43+500	3.60	
10	Km. 14+000	4.30		31	Km. 44+500	4.20	
11	Km. 16+100	6.60		32	Km. 46+280	3.10	
12	Km. 18+000	14.40		33	Km. 46+550	7.50	1 CALICATA
13	Km. 20+000	10.30	3 CALICATAS	34	Km. 47+100	17.00	8 CALICATAS
14	Km. 22+100	19.30		35	Km. 48+500	4.80	
15	Km. 23+500			36	Km. 50+100	4.90	
16	Km. 24+500	3.85	6 CALICATAS	37	Km. 51+365	4.10	
17	Km. 25+500	4.10		38	Km. 51+850	11.40	
18	Km. 26+500	3.15		39	Km. 52+900	10.20	
19	Km. 27+500	3.75		40	Km. 54+000	4.80	
20	Km. 28+500	4.30		41	Km. 54+720	3.70	
21	Km. 29+500	4.15		42	Km. 55+600	13.80	1 CALICATA

Del cuadro N° 09, se puede apreciar que los tres sectores que fueron considerados críticos e inadecuados para la fundación de la carretera según la clasificación, se tiene la misma condición en el caso de la capacidad de soporte;

en el primer tramo Km. 24+000 al Km. 30+000, se tiene un valor promedio de 3.88% al 95% de la máxima densidad seca; en el segundo tramo Km. 34+000 al Km. 46+300, se tiene un valor promedio de 4.43% al 95% de la máxima densidad seca; en el tercer tramo Km. 48+100 al Km. 52+000, se tiene un valor promedio de 6.3% al 95% de la máxima densidad seca.

De lo descrito se puede observar que los suelos de los tres tramos son considerados como suelos pobres a regular para fundación por tener una capacidad de soporte menor al 10%, por lo cual estos sectores requieren ser mejorados con material de préstamo con una capacidad de soporte mayor al 30% y así garantizar un buen cimiento para el terraplén.

4.1.4. CRITERIOS DE IDENTIFICACION DE SUELOS INADECUADOS

Con el objetivo de confirmar la calidad de los suelos en la plataforma existente se ejecutó un programa de exploración de campo acompañado de ensayos de laboratorio. Los resultados obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio en los sectores de la carretera donde se ejecutaron las calicatas con respecto a la clasificación, confirmaron su condición de suelos inadecuados como se muestra más adelante.

Los parámetros de calificación empleados han considerado los del Proyecto (Estudio de Suelos, Canteras y Diseño de Pavimentos) observándose en muchos casos que no son excluyentes entre sí, sino que pueden ser sumatorios, es decir, un suelo inadecuado puede poseer más de una característica que lo califica como tal.

Por otro lado, es conveniente establecer que un suelo con fines viales puede ser evaluado según metodologías semicuantitativas o semiempíricas mediante ensayos de rutina y apoyo bibliográfico de empleo internacional o mediante valoraciones exhaustivas y cuantitativas con ensayos de rutina y ensayos especiales. Dadas las circunstancias del presente proyecto se ha adoptado por efectuar ambas metodologías, la primera se aplicará de forma general y la segunda permitirá validar y optimizar los mejoramientos en aquellas secciones de proyecto que son más complejas.

A continuación se describen los criterios que se emplearon para la evaluación de suelos inadecuados, tomando como referencia en primer lugar, lo indicado en el Proyecto. En este sentido, la Sección de Mejoramiento de Subrasante del Estudio de Suelos, Canteras y Diseño de Pavimentos, establece los criterios a emplear y metodologías para el cálculo de la profundidad de reemplazo, los cuales se han complementado con criterios adicionales reconocidos para estos casos.

El Proyecto no establece el reemplazo de suelos a nivel de subrasante en las situaciones siguientes en casos donde se encuentre suelos no adecuados:

- Corte en plataforma existente.
- Corte en taludes adyacentes (ampliación de plataforma).
- Proyección de variantes.

4.1.4.1. Suelos inadecuados a nivel de subrasante

La caracterización de suelos en este nivel se basa en los siguientes criterios:

a) Calidad de Subrasante (Clasificación)

La calidad de subrasante está definida según la Clasificación de Suelos AASHTO de amplio uso internacional. La norma EG 2000 establece clases de suelos aceptables a nivel de Subrasante: A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-6, A-3. Cualquier suelo que difiera de estas, es considerado no adecuado.

Por otro lado, el Proyecto establece que se deben mejorar suelos con categoría de “Subrasante mala”, según la clasificación AASHTO para subrasantes, se deben mejorar suelos clasificados como A-6 y A-7.

b) Índice Plástico

El proyecto coincide con la Especificación Técnica EG-2000, en la cual se indica que toda Subrasante debe tener un $IP < 10$.

c) Humedad Natural vs humedad Optima

Los suelos con humedades mayores de la óptima no son aceptables como cuerpo de terraplén o en condición natural no pudiéndose compactar según los métodos constructivos estándar considerados en la Especificación Técnica.

d) Potencial de Expansión

El Potencial de Expansión se puede determinar a partir de los límites de Consistencia, humedad o clasificación del suelo, así como mediante ensayos de expansión libre o correlaciones empíricas. El proyecto no emplea la clasificación según Raman (1967), la cual se considera válida para los objetivos propuestos. En general suelos con límite líquido menor de 35% e índice de plasticidad inferior a 12% presentan poco potencial de expansión, cualquier otra condición deberá considerarse apto para reemplazo o mejoramiento.

TABLA N° 11: Potencial de expansión según propiedades índice del suelo (Lambe, 1997)

Potencial de Expansión	Índice de Plasticidad	Límite Líquido
Muy alto	>32.0	> 70.0
Alto	23.0 – 32.0	50.0 – 70.0
Medio	12.0 – 23.0	35.0 – 50.0
Bajo	< 12.0	20.0 – 35.0

En la Tabla N° 11, se puede observar que de acuerdo a los valores del límite líquido e índice de plasticidad se tiene la valuación del potencial de expansión.

e) Estado de los suelos al momento de evaluar (Índice de consistencia)

El Índice de Consistencia se define como una relación entre el LL, w, e IP; permitiendo calificar diferentes condiciones del suelo entre el estado sólido y el estado líquido y a partir de estos estados estimar un rango de características en cuanto a valores de Resistencia a Compresión no Confinada como se menciona en la siguiente tabla:

TABLA N° 12: Índice de consistencia (IC) y resistencia a la compresión no confinada (qu) (Jimenez, 1951)

NAVFAC DM 7.1 y TENG (*)		G. E. BARNES, SOIL MECHANICS	
Consistencia a la Presión Manual (*)	qu kg/cm ²	IC = Índice de Consistencia f(LL, LP, w)	
Líquido	-	Líquido (LL)	< 0
Muy blando	0 a 0.25	Plástico Muy Blando	0-0.25
Blando	0.25 a 0.50	Plástico Blando	0.25-0.50
Medio	0.50-1.0	Plástico Firme	0.50-1.0
Rígido	1.0 a 2.0	Semi sólido Rígido (LP)	1.00 a 2.0
Muy Rígido	2.0 a 4.0	Semi sólido muy Rígido (LC) (**)	2.0 a 4.0
Duro	>4.0	Duro (volumen constante) (**)	>4.0

(*) Adaptación Tabla 4, Guide for Consistency of Fined Grain Soils, NAVFAC DM-7.3

qu = Resistencia a la Compresión No Confinada

$$"c" = 0.5 \cdot qu$$

$$q_{adm} = c \cdot N_c / 3 \quad (c \cdot 5.14 / 3)$$

$$N_c = 5.14$$

(**) Adaptación del Autor

En general si el Índice de Consistencia está por debajo de 0.5 el suelo tiene una consistencia de un barro líquido y prácticamente no es posible compactarlo; cuando está entre 0.5 y 0.75 la compactación es muy difícil; y cuando está por encima de 0.75 la compactación es posible, pero poco eficaz. De acuerdo al Proyecto, se requiere alcanzar como mínimo un valor de 1 para decir que la compactación será eficaz. Por lo tanto, en cualquier otro caso será necesario realizar un mejoramiento.

f) Capacidad de Soporte CBR

Las condiciones de CBR están establecidas en los documentos de diseño del pavimento según Expediente Técnico y es un requisito prioritario que no sea menor al del Proyecto, lo que debe cumplir cualquier suelo de subrasante en este proyecto. El proyecto establece que el CBR debe ser mayor a 6.8%

hasta la progresiva km 02+700 y 6,70% hasta la progresiva km 56+108 (95% MDS).

g) Compresibilidad del Suelo (Índice de compresibilidad)

Esta valoración es estimada según la práctica frecuente mediante la aproximación de Terzahi & Peck, $C_c = 0.009(LL-10)$, ecuación que resulta adecuada para los suelos finos del proyecto si se toma en cuenta la génesis de su formación.

De acuerdo con lo establecido en el Proyecto y la práctica común en proyectos viales, cualquier suelo con un índice de compresibilidad (C_c) por encima de 0.20 deberá considerarse inadecuado.

TABLA N° 13: Grado de compresibilidad de un suelo (Lambe, 1997)

C_c	Compresibilidad
0.00 - 0.19	Baja
0.20 - 0.39	Media
0.39 - 0.40	Alta

4.1.4.2. Suelos Inadecuados a nivel de fundación de terraplén

Los mejoramientos a nivel de la fundación de los terraplenes, responden a criterios de tipo geotécnicos. La caracterización de suelos en este nivel se basa en los siguientes criterios:

a) Capacidad de Soporte

Esta valoración se ha considerado de interés para suelos de baja capacidad de soporte como los denominados suelos blandos de naturaleza limo arcillosa, detectados aún para terraplenes de poca a mediana altura como los registrados en el presente proyecto. Interesa garantizar la estabilidad de la fundación frente al terraplén proyectado.

CUADRO Nº 10: Cuadro de identificación de suelos inadecuados

CALCATA	LADO	ESTRATO	PROFUNDIDAD	PROGRESIVA	LIMITES DE CONSISTENCIA			W %	CLASIFICACION		Indice de Consis.	Tipo Suelo por Consistencia	Indice de Compresibilidad		Expansión Potencial del Suelo	
					L.L.	L.P.	I.P.		AASHTO	SUCS			Cc	Compresibilidad		Pot. de Exp.
01	IZQ.	1	0,00 - 0,20	Km. 00+400	19,60	16,95	2,65	4,6	A-1-b (0)	SP - SM	5,66	Sólido	0,09	Bajo	Bajo	
		2	0,20 - 1,50		25,30	20,64	4,66	6,2	A-2-4 (0)	SM - SC	4,10	Sólido	0,138	Bajo	Bajo	
02	DER.	1	0,00 - 0,50	Km. 01+260	23,10	18,23	4,87	7,0	A-1-b (0)	GM - GC	3,30	Sólido	0,118	Bajo	Bajo	
		2	0,50 - 1,50		44,10	27,94	16,16	13,1	A-7-5 (5)	SM	1,92	Sólido	0,31	Medio	Medio	
03	IZQ.	1	0,00 - 0,20	Km. 03+800	20,90	N.P.	N.P.	6,7	A-2-4 (0)	SM			0,10	Bajo	Muy Alto	
		2	0,20 - 1,50		41,70	29,76	11,94	16,4	A-2-7 (1)	SM	2,12	Sólido	0,29	Medio	Bajo	
04	DER.	1	0,00 - 0,70	Km. 05+000	25,00	21,77	3,23	16,4	A-4 (5)	ML	2,66	Sólido	0,135	Bajo	Bajo	
		2	0,70 - 1,50		42,50	33,77	8,73	23,7	A-5 (7)	ML	2,16	Sólido	0,29	Medio	Bajo	
05	IZQ.	1	0,00 - 0,25	Km. 07+000	21,15	18,30	2,85	9,5	A-2-4 (0)	SM	4,08	Sólido	0,1	Bajo	Bajo	
		2	0,25 - 1,50		42,40	35,28	7,12	4,9	A-5 (8)	ML	5,27	Sólido	0,29	Medio	Bajo	
06	DER.	1	0,00 - 0,30	Km. 08+000	20,20	18,04	2,16	6,4	A-1-b (0)	SM	6,38	Sólido	0,092	Bajo	Bajo	
		2	0,30 - 1,50		48,80	35,25	13,55	22,0	A-2-7 (0)	GM	1,98	Sólido	0,35	Medio	Medio	
07	IZQ.	1	0,00 - 0,15	Km. 09+100	20,40	18,21	2,19	6,5	A-2-4 (0)	SM	6,33	Sólido	0,094	Bajo	Bajo	
		2	0,15 - 0,60		37,90	26,11	11,79	17,9	A-6 (3)	SM	1,70	Sólido	0,25	Medio	Bajo	
		3	0,60 - más		ROCA											
08	DER.	1	0,00 - 0,25	Km. 10+000	19,20	N.P.	N.P.	5,2	A-1-a (0)	GM			0,083	Bajo	Muy Alto	
		2	0,25 - 0,70		42,90	29,28	13,62	27,0	A-7-6 (6)	ML	1,17	Sólido	0,30	Medio	Medio	
		3	0,70 - más		ROCA											
09	IZQ.	1	0,00 - 0,65	Km. 12+000	24,60	18,26	6,34	10,1	A-2-4 (0)	SP - SC	2,30	Sólido	0,131	Bajo	Bajo	
		2	0,65 - 1,50		44,15	30,34	13,81	15,5	A-7-5 (6)	ML	2,07	Sólido	0,31	Medio	Medio	
10	DER.	1	0,00 - 0,15	Km. 14+000	19,20	N.P.	N.P.	4,7	A-1-b (0)	SM			0,083	Bajo	Muy Alto	
		2	0,15 - 0,35		33,45	24,34	9,11	13,0	A-4 (4)	ML	2,24	Sólido	0,21	Medio	Bajo	
		3	0,35 - 1,50		41,40	26,49	14,91	16,0	A-7-6 (5)	ML	1,70	Sólido	0,28	Medio	Medio	
11	IZQ.	1	0,00 - 0,15	Km. 16+100	20,30	17,91	2,39	5,1	A-1-b (0)	SM	6,38	Sólido	0,093	Bajo	Bajo	
		2	0,15 - 1,50		41,20	31,50	9,70	24,0	A-5 (3)	ML	1,78	Sólido	0,28	Medio	Bajo	
12	DER.	1	0,00 - 0,15	Km. 18+000	21,00	18,05	2,95	4,8	A-1-b (0)	SM	5,50	Sólido	0,099	Bajo	Bajo	
		2	0,15 - 1,50		26,30	19,82	6,48	16,4	A-4 (2)	GM - GC	1,52	Sólido	0,15	Bajo	Bajo	
13	IZQ.	1	0,00 - 1,50	Km. 20+000	28,10	22,21	5,89	9,0	A-1-b (0)	GM - GC	3,25	Sólido	0,16	Bajo	Bajo	
14	DER.	1	0,00 - 0,15	Km. 22+100	21,80	18,20	3,60	4,7	A-1-a (0)	SM	4,74	Sólido	0,106	Bajo	Bajo	
		2	0,15 - 1,50		30,20	23,64	6,56	4,7	A-2-4 (0)	GM - GC	3,88	Sólido	0,18	Bajo	Bajo	
15	IZQ.	1	0,00 - 0,50	Km. 23+500	29,50	19,57	9,93	10,5	A-4 (0)	GC	1,92	Sólido	0,176	Bajo	Bajo	
		2	0,50 - más		ROCA											
16	DER.	1	0,00 - 0,30	Km. 24+500	26,45	21,80	4,65	9,3	A-1-b (0)	GM - GC	3,69	Sólido	0,15	Bajo	Bajo	
		2	0,30 - 1,50		20,60	17,88	2,72	23,1	A-4 (5)	ML	-0,92	Líquido	0,10	Bajo	Bajo	
17	IZQ.	1	0,00 - 0,20	Km. 25+500	25,20	20,62	4,58	8,7	A-1-a (0)	GW - GC	3,60	Sólido	0,137	Bajo	Bajo	
		2	0,20 - 1,50		31,10	22,72	8,38	27,0	A-4 (7)	CL	0,49	stico Muy Blan	0,19	FALSO	Bajo	
18	DER.	1	0,00 - 0,20	Km. 26+500	22,90	18,86	4,04	7,1	A-1-a (0)	GM - GC	3,91	Sólido	0,116	Bajo	Bajo	
		2	0,20 - 1,50		54,20	26,37	27,83	29,1	A-7-6 (18)	CH	0,90	Plástico Duro	0,40	Alto	Alto	
19	IZQ.	1	0,00 - 0,30	Km. 27+500	28,40	21,63	6,77	7,9	A-2-4 (0)	GM - GC	3,03	Sólido	0,166	Bajo	Bajo	
		2	0,30 - 1,50		43,50	25,77	17,73	26,3	A-7-6 (8)	CL	0,97	Plástico Duro	0,30	Medio	Medio	
20	DER.	1	0,00 - 0,40	Km. 28+500	26,95	20,70	6,25	8,4	A-2-4 (0)	SM - SC	2,97	Sólido	0,153	Bajo	Bajo	
		2	0,40 - 1,50		53,20	24,99	28,21	28,8	A-7-6 (13)	CH	0,87	Plástico Duro	0,39	Medio	Alto	
21	IZQ.	1	0,00 - 0,20	Km. 29+500	34,50	25,35	9,15	9,8	A-2-4 (0)	GM	2,70	Sólido	0,221	Medio	Bajo	
		2	0,20 - 1,50		41,85	30,66	11,19	22,6	A-7-5 (6)	ML	1,72	Sólido	0,29	Medio	Bajo	

CALICATA	LADO	ESTRATO	PROFUNDIDAD	PROGRESIVA	LIMITES DE CONSISTENCIA			W %	CLASIFICACION		Indice de Consis.	Tipo Suelo por Consistencia	Indice de Compresibilidad		Expansión Potencial del Suelo
					L.L.	L.P.	I.P.		AASHTO	SUCS			Cc	Compresibilidad	
22	DER.	1	0,00 - 0,20	Km. 30+400	26,30	20,96	5,34	9,4	A-2-4 (0)	SM - SC	3,16	Sólido	0,147	Bajo	Bajo
		2	0,20 - 1,50		18,90	N.P.	N.P.	7,0	A-2-4 (0)	SP - SM			0,08	Bajo	Muy Alto
23	IZQ.	1	0,00 - 0,80	Km. 31+500	28,10	22,24	5,86	7,9	A-1-b (0)	GM - GC	3,45	Sólido	0,163	Bajo	Bajo
		2	0,80 - 1,50		N.P.	N.P.	N.P.	4,7	A-1-a (0)	GP					Muy Alto
24	DER.	1	0,00 - 0,50	Km. 34+000	27,15	20,55	6,60	7,9	A-2-4 (0)	SM - SC	2,91	Sólido	0,154	Bajo	Bajo
		2	0,50 - 1,50		33,60	21,45	12,15	23,2	A-6 (6)	CL	0,85	Plástico Duro	0,21	Medio	Medio
25	IZQ.	1	0,00 - 0,50	Km. 36+120	27,65	21,77	5,88	8,3	A-1-a (0)	GM - GC	3,30	Sólido	0,159	Bajo	Bajo
		2	0,50 - 1,50		33,30	22,12	11,18	23,3	A-6 (5)	CL	0,89	Plástico Duro	0,21	Medio	Bajo
26	DER.	1	0,00 - 0,40	Km. 38+000	28,00	22,29	5,71	8,6	A-1-a (0)	GM - GC	3,39	Sólido	0,162	Bajo	Bajo
		2	0,40 - 1,50		47,40	25,32	22,08	34,2	A-7-6 (14)	CL	0,60	Plástico Blando	0,34	Medio	Medio - Alto
27	IZQ.	1	0,00 - 0,50	Km. 39+800	27,75	22,19	5,56	9,3	A-1-b (0)	GM - GC	3,32	Sólido	0,16	Bajo	Bajo
		2	0,50 - 1,50		27,85	19,07	8,78	17,9	A-4 (6)	CL	1,14	Sólido	0,16	Bajo	Bajo
28	DER.	1	0,00 - 0,30	Km. 41+000	20,30	N.P.	N.P.	4,3	A-1-b (0)	GM			0,093	Bajo	Muy Alto
		2	0,30 - 1,50		21,90	N.P.	N.P.	13,3	A-4 (6)	ML			0,11	Bajo	Muy Alto
29	IZQ.	1	0,00 - 0,20	Km. 42+500	21,80	19,60	2,20	6,3	A-1-b (0)	SP - SM	7,05	Sólido	0,106	Bajo	Bajo
		2	0,20 - 1,50		39,05	22,96	16,09	32,2	A-6 (10)	CL	0,43	Plástico Muy Blando	0,26	Medio	Medio
30	DER.	1	0,00 - 0,15	Km. 43+500	19,90	18,44	1,46	7,7	A-1-b (0)	GM	8,31	Sólido	0,089	Bajo	Bajo
		2	0,15 - 1,50		48,00	35,97	12,03	29,2	A-7-5 (10)	ML	1,56	Sólido	0,34	Medio	Medio
31	IZQ.	1	0,00 - 0,15	Km. 44+500	25,00	18,91	6,09	7,8	A-2-4 (0)	GM - GC	2,82	Sólido	0,135	Bajo	Bajo
		2	0,15 - 0,80		45,30	29,68	15,62	29,4	A-7-6 (8)	ML	1,02	Sólido	0,32	Medio	Medio
		3	0,80 - 1,50		28,40	21,87	6,53	23,4	A-4 (2)	SM - SC	0,77	Plástico Duro	0,166	Bajo	Bajo
32	DER.	1	0,00 - 0,20	Km. 46+280	25,75	20,92	4,83	7,9	A-1-b (0)	GM - GC	3,70	Sólido	0,142	Bajo	Bajo
		2	0,20 - 1,50		47,20	25,00	22,20	30,0	A-7-6 (14)	CL	0,77	Plástico Duro	0,33	Medio	Medio - Alto
33	IZQ.	1	0,00 - 0,20	Km. 46+550	24,75	19,53	5,22	7,1	A-1-b (0)	SM - SC	3,39	Sólido	0,133	Bajo	Bajo
		2	0,20 - 1,00		30,60	23,42	7,18	18,1	A-4 (6)	ML	1,73	Sólido	0,19	Bajo	Bajo
		3	1,00 - más		ROCA										
34	DER.	1	0,00 - 1,50	Km. 47+100	19,40	18,11	1,29	14,4	A-4 (0)	SM	3,9	Sólido	0,08	Bajo	Bajo
35	IZQ.	1	0,00 - 0,30	Km. 48+500	22,10	19,56	2,54	7,3	A-1-b (0)	SM	5,82	Sólido	0,109	Bajo	Bajo
		2	0,30 - 1,50		38,25	29,66	8,59	15,7	A-4 (5)	ML	2,62	Sólido	0,25	Medio	Bajo
36	DER.	1	0,00 - 0,40	Km. 50+100	21,15	18,36	2,79	7,8	A-1-b (0)	GM	4,81	Sólido	0,1	Bajo	Bajo
		2	0,40 - 1,50		23,90	18,85	5,05	13,2	A-4 (3)	CL - ML	2,12	Sólido	0,13	Bajo	Bajo
37	IZQ.	1	0,00 - 0,35	Km. 51+365	20,80	18,21	2,59	8,0	A-1-a (0)	GM	4,94	Sólido	0,097	Bajo	Bajo
		2	0,35 - 1,50		31,11	26,24	4,76	23,8	A-4 (7)	CL - ML	1,54	Sólido	0,19	Medio	Bajo
38	DER.	1	0,00 - 0,25	Km. 51+850	20,20	17,45	2,75	7,0	A-1-a (0)	GM	4,81	Sólido	0,092	Bajo	Bajo
		2	0,35 - 1,50		28,20	23,81	4,39	18,6	A-2-4 (0)	SM - SC	2,19	Sólido	0,16	Bajo	Bajo
39	IZQ.	1	0,00 - 0,70	Km. 52+900	21,84	19,31	2,53	7,5	A-1-b (0)	GM	5,67	Sólido	0,107	Bajo	Bajo
		2	0,70 - 1,50		31,11	22,25	8,85	20,4	A-4 (2)	SC	1,21	Sólido	0,19	Medio	Bajo
40	DER.	1	0,00 - 1,00	Km. 54+000	30,80	23,63	7,17	20,1	A-4 (5)	ML	1,49	Sólido	0,187	Bajo	Bajo
		2	1,00 - 1,50		35,40	21,27	14,13	18,2	A-6 (5)	CL	1,22	Sólido	0,23	Medio	Medio
41	IZQ.	1	0,00 - 0,40	Km. 54+720	19,50	N.P.	N.P.	4,6	A-1-a (0)	GM			0,086	Bajo	Muy Alto
		2	0,40 - 1,50		27,80	20,72	7,08	29,0	A-4 (6)	CL	-0,18	Líquido	0,16	Bajo	Bajo
42	DER.	1	0,00 - 0,20	Km. 55+600	27,90	20,55	7,35	7,7	A-2-4 (0)	GC	2,75	Sólido	0,161	Bajo	Bajo
		2	0,20 - 1,50		27,20	19,29	7,91	7,2	A-2-4 (0)	SC	2,53	Sólido	0,15	Bajo	Bajo

b) Deformabilidad o Grado de Compresibilidad

Es importante que la fundación garantice niveles de deformación aceptables para los terraplenes, evitando en todo momento deformaciones diferenciales. En este sentido se acepta que el Índice de Compresibilidad (C_c) valora de forma adecuada el grado de deformación de los suelos finos. Según la práctica frecuente se estima mediante la aproximación de Terzahi & Peck, $C_c = 0.009(LL-10)$, descartándose todo suelo de compresibilidad media a alta.

Del cuadro N° 10, de los criterios de identificación de suelos inadecuados se puede observar que los sectores identificados según su clasificación y la capacidad de soporte como suelos inadecuados para la fundación de carreteras, estos criterios de identificación de suelos se confirma por tener un índice de consistencia menor a 1; un índice de compresibilidad mayor a 0.20 y su potencial de expansión de medio a alto por tener un límite líquido mayor a 35 y un índice de plasticidad mayor a 12.

Por lo expuesto estos suelos se consideran inadecuados para la fundación de carreteras y requieren ser mejorados por materiales de canteras más granulares para reducir su potencial de expansión y mejorar sus propiedades físico-mecánicas.

4.1.5. INTERPRETACION DE RESULTADOS

Las 42 calicatas efectuadas en el presente estudio, se excavaron de una profundidad de 0.50 m, a 1.50 m., conformado en la parte superficial por suelos coluvio-aluviales, aluviales y granulares, presentan mezclas de gravas, arenas, limos y arcillas; estos materiales en su mayoría son materiales de préstamo que fueron colocados como material de afirmado; el segundo estrato presente a lo largo de la carretera presentan suelos finos, con mezclas de arenas, limos, arcillas y rocas en algunos sectores; en la interpretación de resultados para el presente trabajo de evaluación geotécnica, se considera como material en estudio todo el perfil estratigráfico de cada calicata, con lo cual se puede reconocer 10 tramos definidos de acuerdo a sus características físico-mecánicas del suelo.

Los tramos característicos a lo largo del eje de carretera en evaluación son los siguientes:

- Del Km. 00+000 al Km. 08+500.
- Del Km. 08+500 al Km. 10+500.
- Del Km. 10+500 al Km. 19+200.
- Del Km. 19+200 al Km. 24+000.
- Del Km. 24+000 al Km. 29+900.
- Del Km. 29+900 al Km. 33+500.
- Del Km. 33+500 al Km. 46+350.
- Del Km. 46+350 al Km. 46+900.
- Del Km. 46+900 al Km. 55+000.
- Del Km. 55+000 al Km. 56+108.

4.1.5.1. Tramo I: Km. 00+000 al Km. 08+500

Este tramo esta al inicio de la carretera en evaluación, constituido principalmente por arenas limosas ligeramente arcillosas, estos suelos son de origen eluvial, que se originan de la alteración de rocas volcánicas de la formación umayo.

Descripción del Primer Estrato.

El diseño de la nueva vía toma en cuenta sectores de la carretera existente, razón por la cual se analiza el espesor promedio que presenta la primera capa o estrato en el 100% del tramo. La capa existente está constituida de suelos granulares, arenas y limos, cuyas pruebas de identificación (ensayos granulométricos y límites de atterberg) han dado como resultado que los materiales corresponden a los tipos A-1-b (0) con un 50 %, A-2-4 (0) con un 33.30 % y A-4 con un 16.70 %.

Los resultados de las pruebas se procesaron estadísticamente como se muestran en los cuadros de resumen.

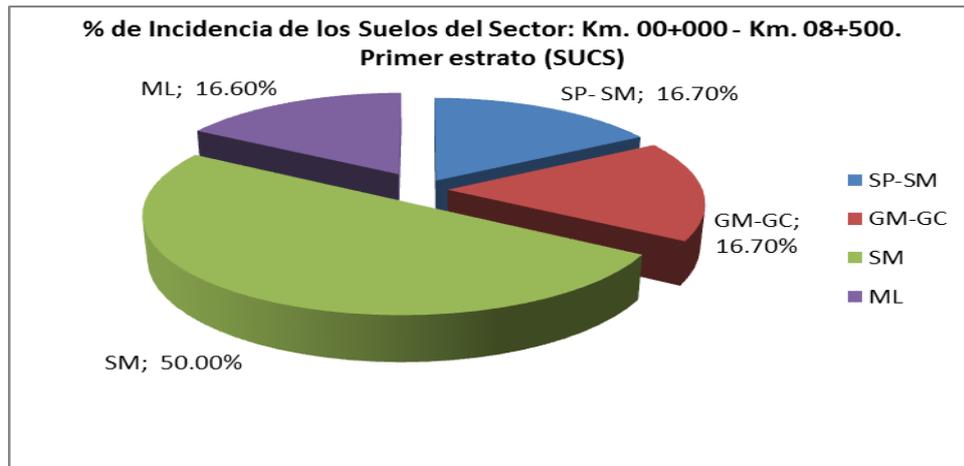


FIGURA Nº 21: Clasificación de suelos (SUCS) tramo I - 1º estrato.

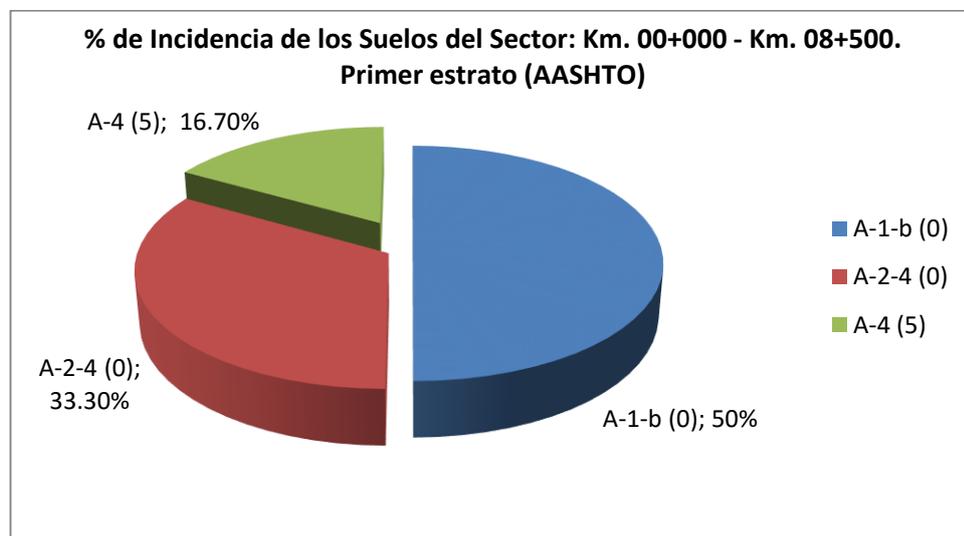


FIGURA Nº 22: Clasificación de suelos (AASHTO) tramo I - 1º estrato.

El espesor promedio de la primera capa existentes igual a 0.35 m. y el rango de dispersión del espesor de la capa varia de 0.20 m. hasta 0.70 m.

Descripción del Segundo Estrato. (Suelo de Fundación)

La capa existente está constituida de suelos granulares, arenas y limos, cuyas pruebas de identificación (ensayos granulométricos y límites de Atterberg) han dado como resultado que los materiales corresponden a los tipos A-2-4 (0) con un 16.70%, A-2-7 con un 33.30%, A-5 con un 33.30% y A-7-5 con un 16.70%

Los resultados de las pruebas se procesaron estadísticamente como se muestran en los cuadros de resumen.

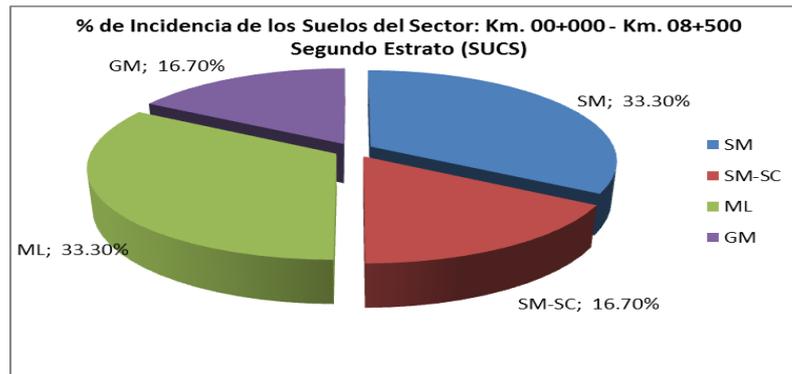


FIGURA Nº 23: Clasificación de suelos (SUCS) tramo I - 2º estrato.

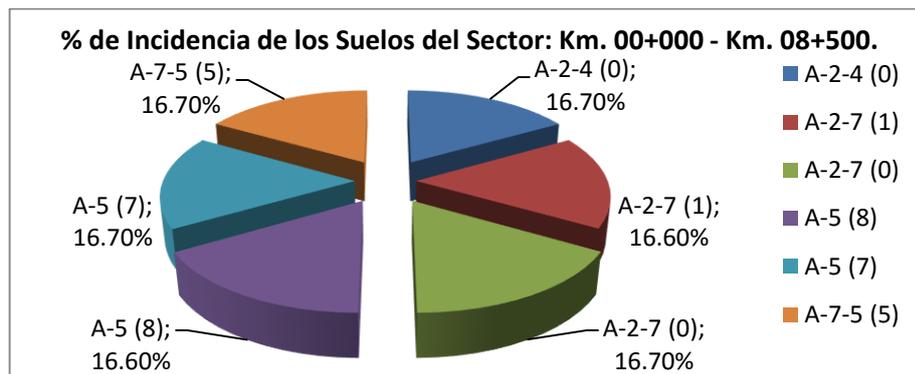


FIGURA Nº 24: Clasificación de suelos (AASHTO) tramo I - 2º estrato.

La profundidad promedio de la segunda capa existente es igual 1.50 m. y el rango de dispersión de la profundidad es de 0.20 m. hasta 1.50 m.

En este tramo la capacidad de soporte es de 16.4 % al 95 % de la máxima densidad seca del suelo, con esa capacidad de soporte este terreno de fundación es buena.

4.1.5.2. Tramo II: Km. 08+500 al Km. 10+500

Al igual que el tramo anterior estos suelos son de origen eluvial, la diferencia que se muestra del tramo anterior es que se puede apreciar afloramientos rocosos a una profundidad de 0.65 m. de la plataforma existente.

Descripción del Primer Estrato.

El diseño de la nueva vía toma en cuenta sectores de la carretera existente, razón por la cual se analiza el espesor promedio que presenta la primera capa o estrato en el 100% del tramo. La capa existente está constituida de suelos granulares, arenas y limos, cuyas pruebas de identificación (ensayos

granulométricos y límites de atterberg) han dado como resultado que los materiales corresponden a los tipos A-1-a (0) con un 50.00 % y A-2-4 (0) con un 50.00 %.

Los resultados de las pruebas se procesaron estadísticamente como se muestran en los cuadros de resumen.

El espesor promedio de la primera capa existentes igual a 0.20 m. y el rango de dispersión del espesor de la capa varia de 0.15 m. hasta 0.25 m.

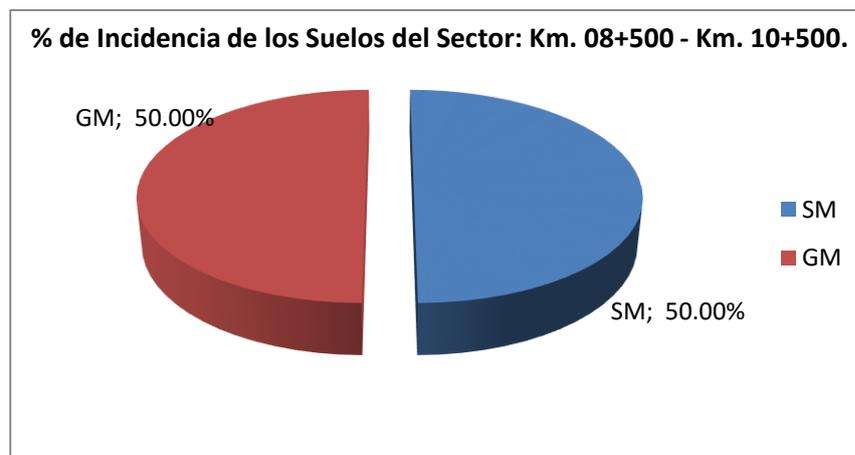


FIGURA Nº 25: Clasificación de suelos (SUCS) tramo II - 1º estrato.

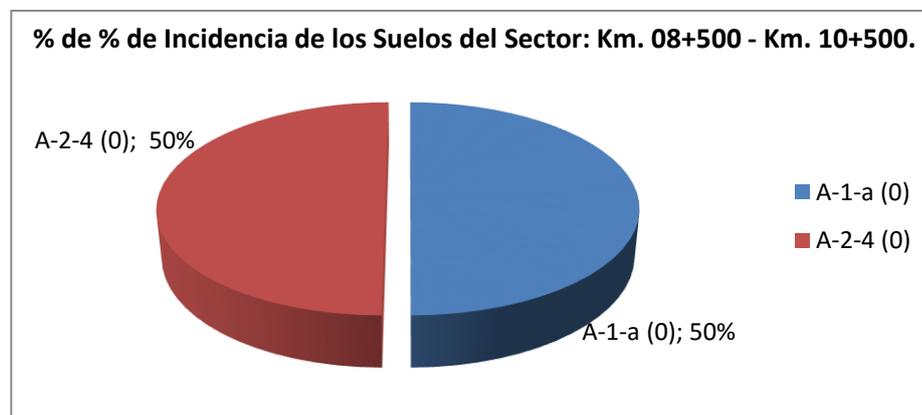


FIGURA Nº 26: Clasificación de suelos (AASHTO) tramo II - 1º estrato.

Descripción del Segundo Estrato. (Suelo de Fundación)

La capa existente está constituida de suelos granulares, arenas y limos, cuyas pruebas de identificación (ensayos granulométricos y límites de Atterberg) han dado como resultado que los materiales corresponden a los tipos A-6 (3) con un 50.00% y A-7-6 (6) con un 50.00%

Los resultados de las pruebas se procesaron estadísticamente como se muestran en los cuadros de resumen.

La profundidad promedio de la segunda capa existente es igual 0.65 m. y el rango de dispersión de la profundidad es de 0.60 m. hasta 0.70 m.

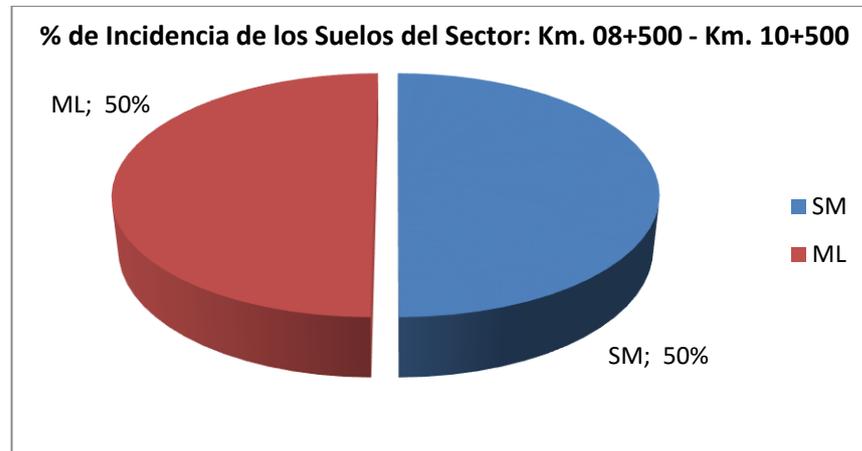


FIGURA Nº 27: Clasificación de suelos (SUCS) tramo II - 2º estrato.

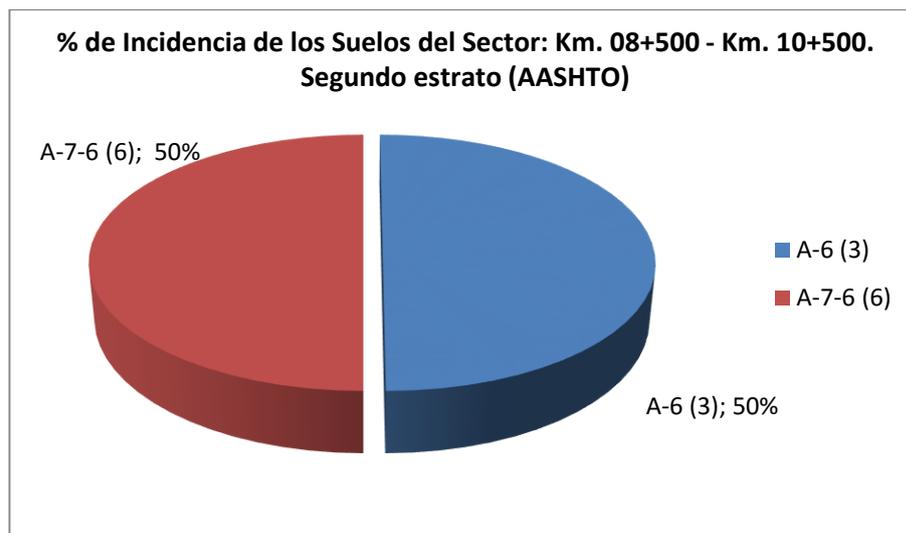


FIGURA Nº 28: Clasificación de suelos (AASHTO) tramo II - 2º estrato.

En este tramo la capacidad de soporte es de 8.2 % al 95 % de la máxima densidad seca del suelo, el cual no es muy relevante para determinar su capacidad de soporte ya que es muy superficial la presencia de material residual, las rocas existentes en la zona ayudan a que el suelo de fundación presente sea estable y mejore su capacidad de soporte.

Descripción del Tercer Estrato. (Suelo de Fundación)

La caracterización de los suelos se ha efectuado en base a la investigación de campo llevada a cabo del 100% de la longitud del tramo de carretera.

En este sector se tiene la prospección de 02 calicatas que presentan un tercer estrato, teniendo como espesor promedio de 0.70 m. a 0.80 m.; el cual está representado en un 100% por rocas volcánicas de la Formación Umayo.

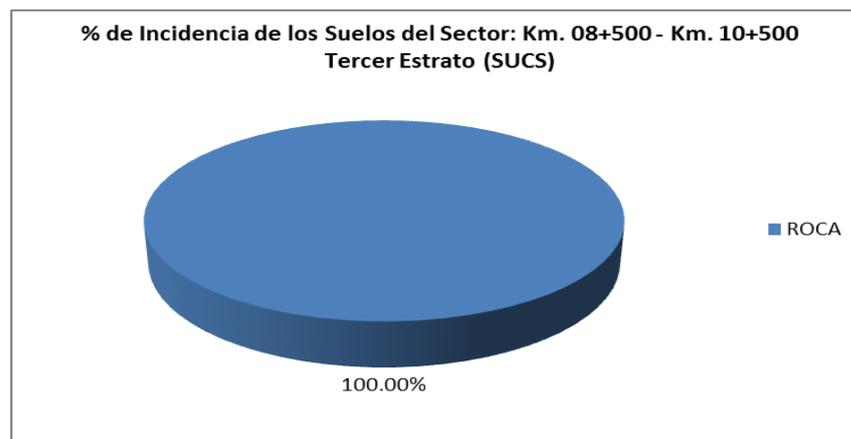


FIGURA N° 29: Clasificación de suelos (SUCS) tramo II - 3° estrato.

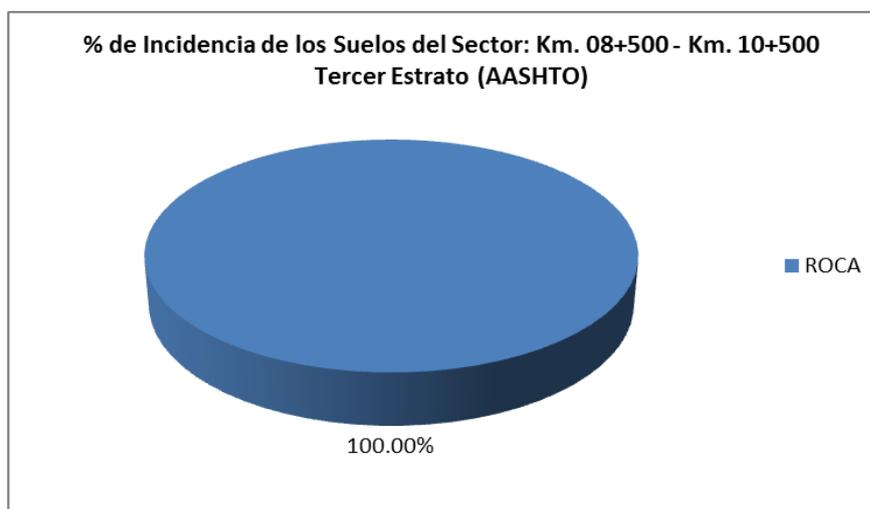


FIGURA N° 30: Clasificación de suelos (AASHTO) tramo II - 3° estrato.

4.1.5.3. Tramo III: Km. 10+500 al Km. 19+200

Al igual que el tramo anterior estos suelos son de origen eluvio - coluvial, la diferencia que se muestra del tramo anterior es que se puede apreciar que es conformado íntegramente por suelos residuales originados por la alteración de las rocas volcánicas de la Formación Umayo.

Descripción del Primer Estrato.

El diseño de la nueva vía toma en cuenta sectores de la carretera existente, razón por la cual se analiza el espesor promedio que presenta la primera capa o estrato en el 100% del tramo. La capa existente está constituida de suelos granulares, arenas y limos, cuyas pruebas de identificación (ensayos granulométricos y límites de atterberg) han dado como resultado que los materiales corresponden a los tipos A-1-b (0) con un 75.00 % y A-2-4 (0) con un 25.00 %.

Los resultados de las pruebas se procesaron estadísticamente como se muestran en los cuadros de resumen.

El espesor promedio de la primera capa existente es igual a 0.28 m. y el rango de dispersión del espesor de la capa varia de 0.15 m. hasta 0.65 m.

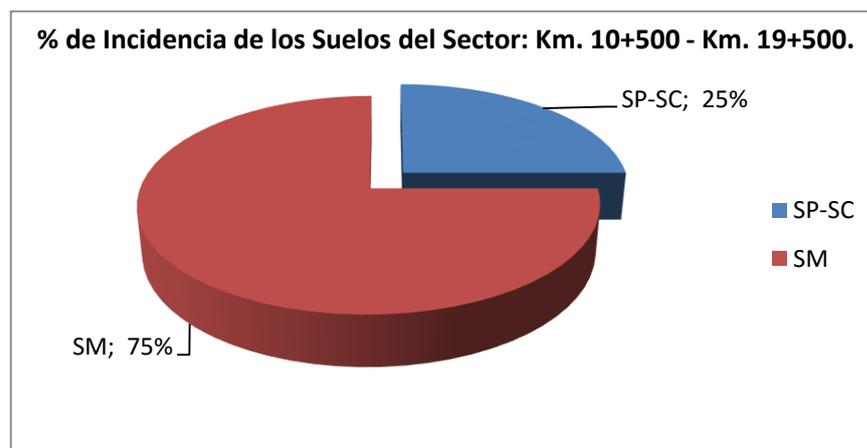


FIGURA Nº 31: Clasificación de suelos (SUCS) tramo III - 1º estrato.

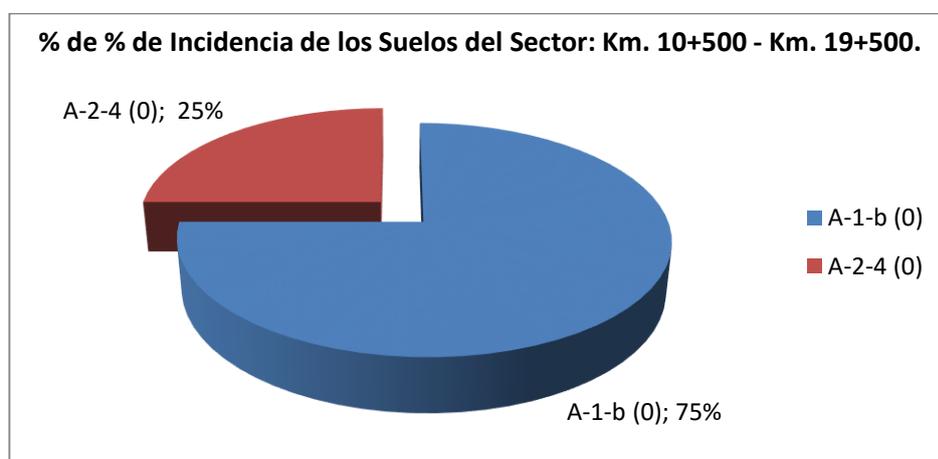


FIGURA Nº 32: Clasificación de suelos (AASHTO) tramo III - 1º estrato.

Descripción del Segundo Estrato. (Suelo de Fundación)

La capa existente está constituida de suelos granulares, arenas y limos, cuyas pruebas de identificación (ensayos granulométricos y límites de Atterberg) han dado como resultado que los materiales corresponden a los tipos A-4 (2) con un 25.00%, A-5 (3) con un 25.00%, A-7-5 (6) con un 25.00% y A-4 (4) con un 25.00%

Los resultados de las pruebas se procesaron estadísticamente como se muestran en los cuadros de resumen.

La profundidad promedio de la segunda capa existente es igual 1.50 m. y el rango de dispersión de la profundidad es de 0.15 m. hasta 1.50 m.

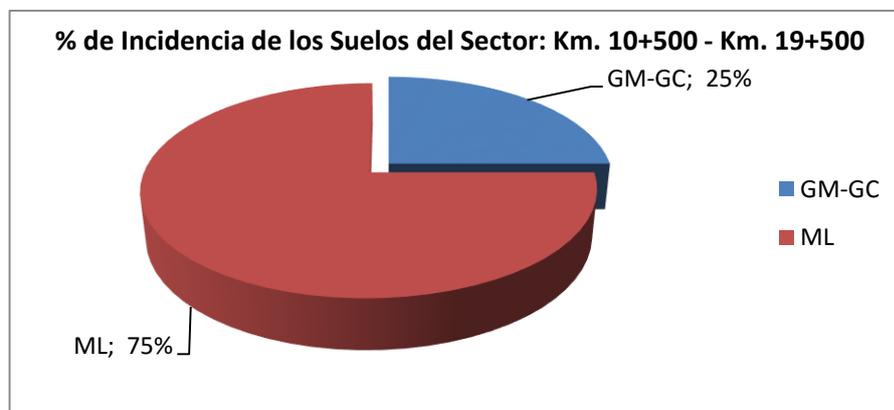


FIGURA Nº 33: Clasificación de suelos (SUCS) tramo III - 2º estrato.

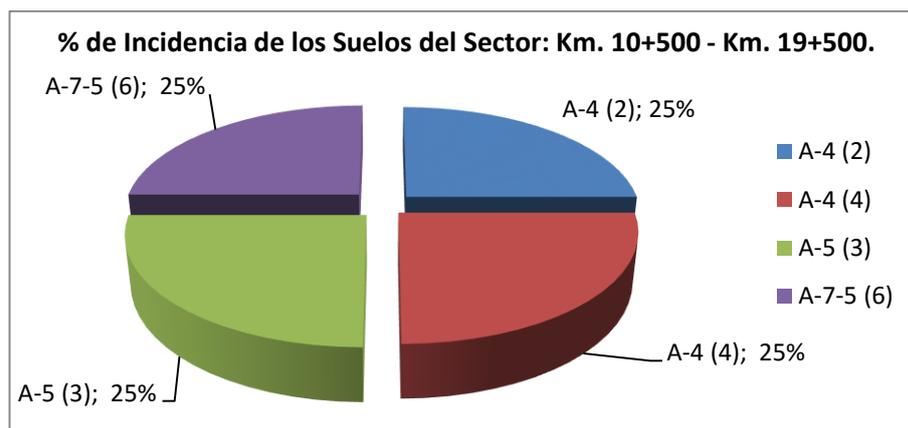


FIGURA Nº 34: Clasificación de suelos (AASHTO) tramo III - 2º estrato.

En este tramo la capacidad de soporte es de 7.4 % al 95 % de la máxima densidad seca del suelo, con esa capacidad de soporte este terreno de fundación es regular.

Descripción del Tercer Estrato. (Suelo de Fundación)

La caracterización de los suelos se ha efectuado en base a la investigación de campo llevada a cabo del 100% de la longitud del tramo de carretera.

La capa existente está constituida de suelos granulares, arenas y limos, cuyas pruebas de identificación (ensayos granulométricos y límites de Atterberg) han dado como resultado que los materiales corresponden a los A-7-6 (5) con un 100.00%, que representa solo una calicata.

Los resultados de las pruebas se procesaron estadísticamente como se muestran en los cuadros de resumen.

La profundidad promedio de la tercera capa existente es igual 1.50 m. y el rango de dispersión de la profundidad es de 0.35 m. hasta 1.50 m.



FIGURA Nº 35: Clasificación de suelos (SUCS) tramo III - 3º estrato.



FIGURA Nº 36: Clasificación de suelos (AASHTO) tramo III - 3º estrato.

4.1.5.4. Tramo IV: Km. 19+500 al Km. 24+000

Al igual que el tramo anterior estos suelos son de origen eluvio - coluvial, conformado íntegramente por suelos residuales originados por la alteración de las rocas volcánicas de la Formación Umayo.

Descripción del Primer Estrato.

El diseño de la nueva vía toma en cuenta sectores de la carretera existente, razón por la cual se analiza el espesor promedio que presenta la primera capa o estrato en el 100% del tramo. La capa existente está constituida de suelos granulares, arenas y limos, cuyas pruebas de identificación (ensayos granulométricos y límites de atterberg) han dado como resultado que los materiales corresponden a los tipos A-1-a (0) con un 33.30 %, A-1-b (0) con un 33.30 % y A-4 (0) con un 33.40 %.

Los resultados de las pruebas se procesaron estadísticamente como se muestran en los cuadros de resumen.

El espesor promedio de la primera capa existente es igual a 0.70 m. y el rango de dispersión del espesor de la capa varía de 0.15 m. hasta 1.50 m.

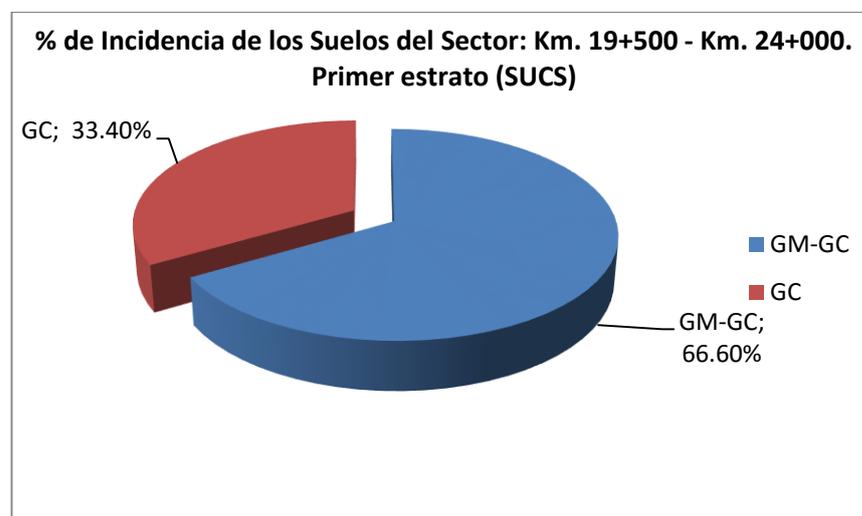


FIGURA N° 37: Clasificación de suelos (SUCS) tramo IV - 1° estrato.

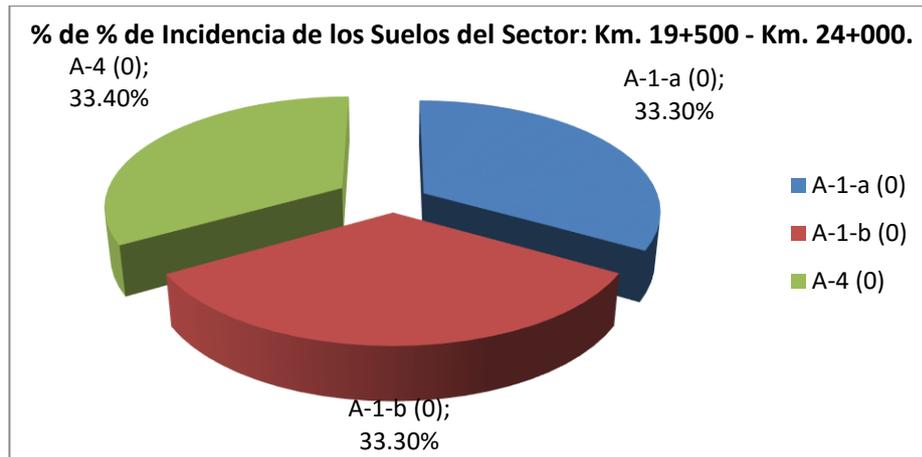


FIGURA Nº 38: Clasificación de suelos (AASHTO) tramo IV - 1º estrato.

Descripción del Segundo Estrato. (Suelo de Fundación)

La capa existente está constituida de suelos granulares, arenas y limos, cuyas pruebas de identificación (ensayos granulométricos y límites de Atterberg) han dado como resultado que los materiales corresponden a los tipos A-2-4 (0) con un 66.60% y roca volcánica de la formación umayo con un 33.40%, el cual es representado por dos calicatas.

Los resultados de las pruebas se procesaron estadísticamente como se muestran en los cuadros de resumen.

La profundidad promedio de la segunda capa existente es igual 1.10 m. y el rango de dispersión de la profundidad es de 0.50 m. hasta 1.50 m.

En este tramo la capacidad de soporte es de 14.8 % al 95 % de la máxima densidad seca del suelo, con esa capacidad de soporte este terreno de fundación es buena.

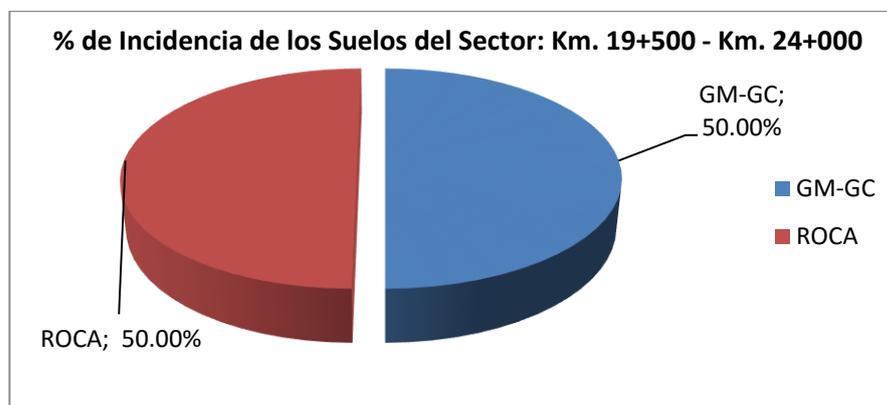


FIGURA Nº 39: Clasificación de suelos (SUCS) tramo IV - 2º estrato.

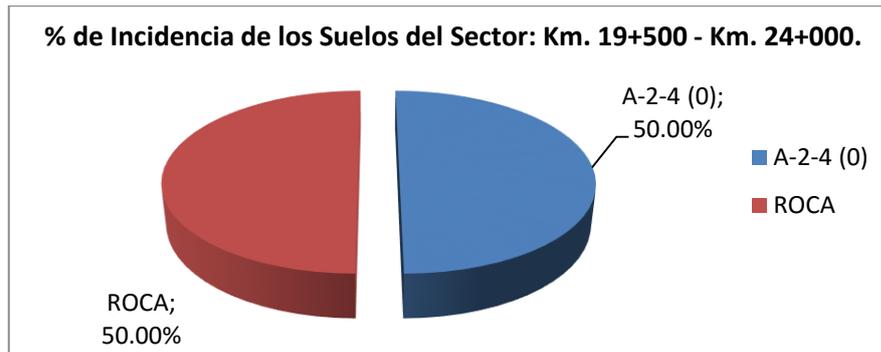


FIGURA Nº 40: Clasificación de suelos (AASHTO) tramo IV - 2º estrato.

4.1.5.5. Tramo V: Km. 24+000 al Km. 29+900

Este tramo a diferencia de los tramos anteriores es de origen aluvial, conformado íntegramente por suelos finos originados por el arrastre de los cauces de pequeños flujos de agua existentes en la zona, por ser una depresión.

Descripción del Primer Estrato.

El diseño de la nueva vía toma en cuenta sectores de la carretera existente, razón por la cual se analiza el espesor promedio que presenta la primera capa o estrato en el 100% del tramo. La capa existente está constituida de suelos finos, mezclas de arenas, limos y arcillas, cuyas pruebas de identificación (ensayos granulométricos y límites de atterberg) han dado como resultado que los materiales corresponden a los tipos A-1-a (0) con un 33.33 %, A-1-b (0) con un 16.67 % y A-2-4 (0) con un 50.00 %.

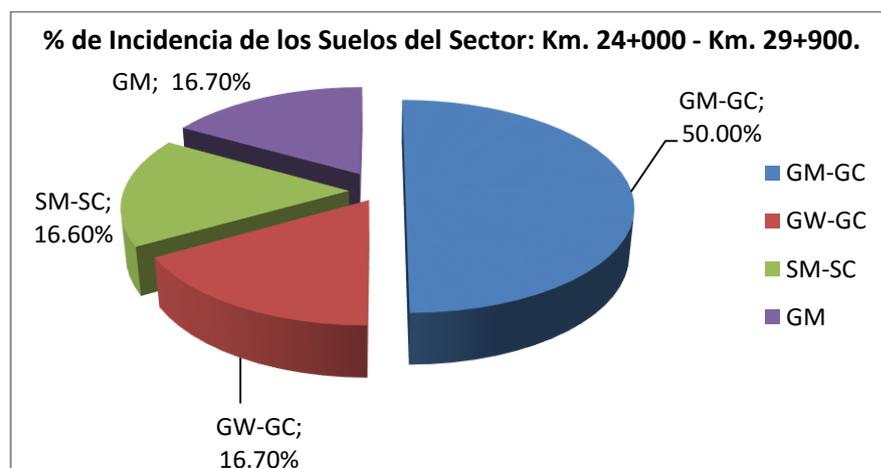


FIGURA Nº 41: Clasificación de suelos (SUCS) tramo V - 1º estrato.

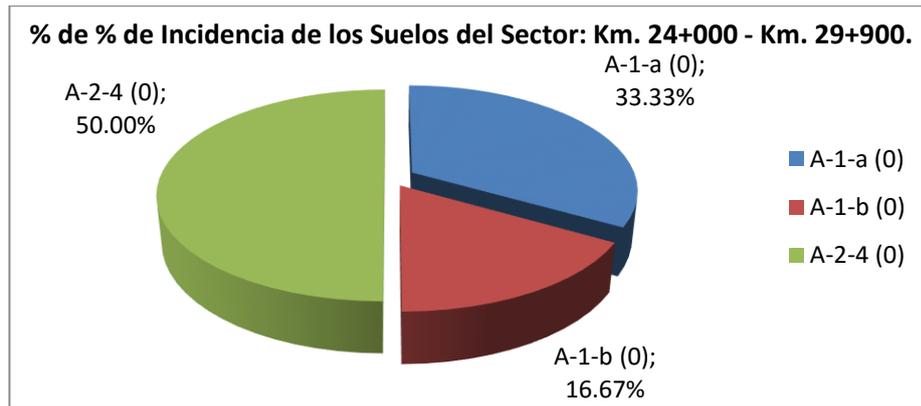


FIGURA Nº 42: Clasificación de suelos (AASHTO) tramo V - 1º estrato.

Los resultados de las pruebas se procesaron estadísticamente como se muestran en los cuadros de resumen.

El espesor promedio de la primera capa existente es igual a 0.27 m. y el rango de dispersión del espesor de la capa varia de 0.20 m. hasta 0.40 m.

Descripción del Segundo Estrato. (Suelo de Fundación)

La capa existente está constituida de suelos finos; mezclas de arenas, limos y arcillas; cuyas pruebas de identificación (ensayos granulométricos y límites de Atterberg) han dado como resultado que los materiales corresponden a los tipos A-4 con un 33.33%, A-7-5 con 16.67% y A-7-6 con un 50.00%,

Los resultados de las pruebas se procesaron estadísticamente como se muestran en los cuadros de resumen.

La profundidad promedio de la segunda capa existente es igual 1.23 m. y el rango de dispersión de la profundidad es hasta 1.50 m.

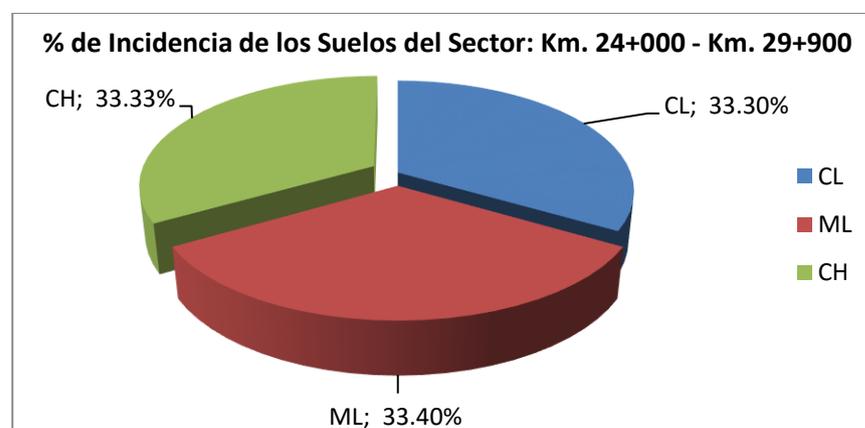


FIGURA Nº 43: Clasificación de suelos (SUCS) tramo V - 2º estrato.

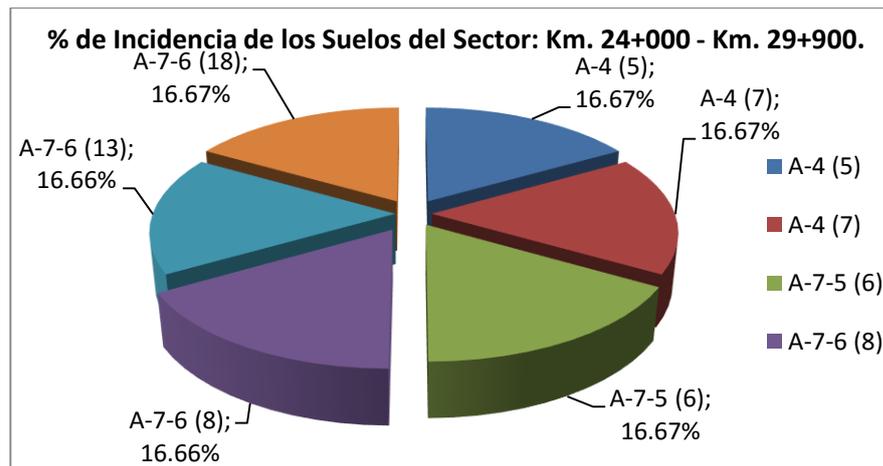


FIGURA Nº 44: Clasificación de suelos (AASHTO) tramo V - 2º estrato.

En este tramo la capacidad de soporte es de 3.9 % al 95 % de la máxima densidad seca del suelo, con esa capacidad de soporte este terreno de fundación es pobre a malo.

4.1.5.6. Tramo VI: Km. 29+900 al Km. 33+500

Este tramo presenta materiales de origen coluvial y aluvial, conformado por suelos granulares, originados por el arrastre del cauce del rio Vilque que se encuentra cruzando el eje de la carretera.

Descripción del Primer Estrato.

El diseño de la nueva vía toma en cuenta sectores de la carretera existente, razón por la cual se analiza el espesor promedio que presenta la primera capa o estrato en el 100% del tramo. La capa existente está constituida de suelos granulares, arenas y limos, cuyas pruebas de identificación (ensayos granulométricos y límites de atterberg) han dado como resultado que los materiales corresponden a los tipos A-1-b (0) con un 50.00 % y A-2-4 (0) con un 50.00 %.

Los resultados de las pruebas se procesaron estadísticamente como se muestran en los cuadros de resumen.

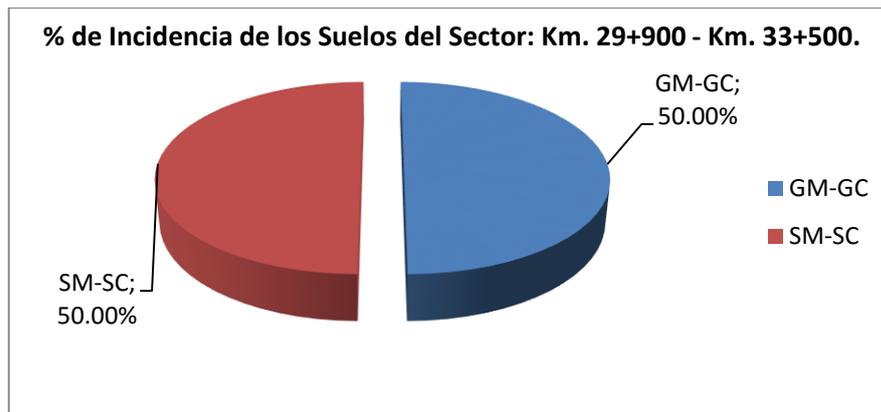


FIGURA N° 45: Clasificación de suelos (SUCS) tramo VI - 1° estrato.

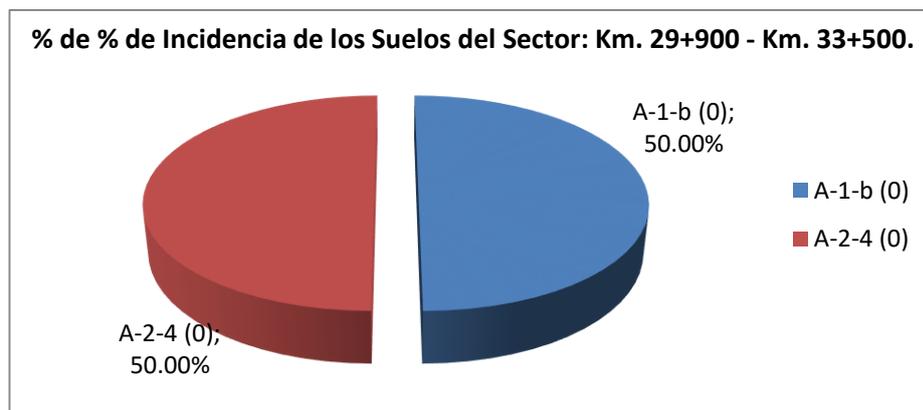


FIGURA N° 46: Clasificación de suelos (AASHTO) tramo VI - 1° estrato.

El espesor promedio de la primera capa existente es igual a 0.50 m. y el rango de dispersión del espesor de la capa varia de 0.20 m. hasta 0.80 m.

Descripción del Segundo Estrato. (Suelo de Fundación)

La capa existente está constituida de suelos granulares; mezclas de arenas y limos; cuyas pruebas de identificación (ensayos granulométricos y límites de Atterberg) han dado como resultado que los materiales corresponden a los tipos A-1-a con un 50.00% y A-2-4 con un 50.00%

Los resultados de las pruebas se procesaron estadísticamente como se muestran en los cuadros de resumen.

La profundidad promedio de la segunda capa existente es igual 1.00 m. y el rango de dispersión de la profundidad es hasta 1.50 m.

En este tramo la capacidad de soporte es de 36.3 % al 95 % de la máxima densidad seca del suelo, con esa capacidad de soporte este terreno de fundación es excelente.

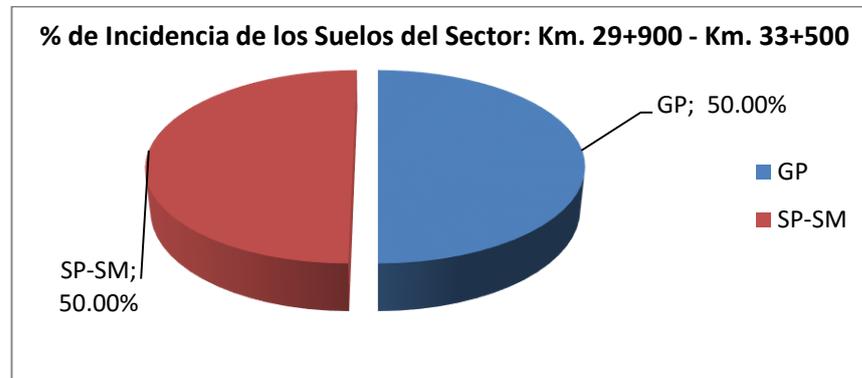


FIGURA N° 47: Clasificación de suelos (SUCS) tramo VI - 2° estrato.

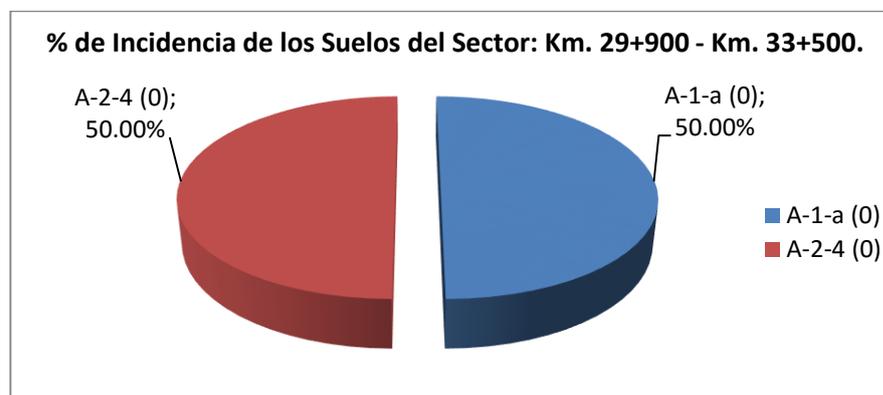


FIGURA N° 48: Clasificación de suelos (AASHTO) tramo VI - 2° estrato.

4.1.5.7. Tramo VII: Km. 33+500 al Km. 46+350

Este tramo a diferencia de los tramos anteriores son de origen aluvial y coluvio aluvial, conformado por suelos gruesos y finos originados por el arrastre de los cauces de pequeños flujos de agua existentes en la zona y los ríos Mañazo y Conaviri, que atraviesan por el eje de la carretera.

Descripción del Primer Estrato.

El diseño de la nueva vía toma en cuenta sectores de la carretera existente, razón por la cual se analiza el espesor promedio que presenta la primera capa o estrato en el 100% del tramo. La capa existente está constituida de suelos granulares, arenas y limos, cuyas pruebas de identificación (ensayos granulométricos y límites de atterberg) han dado como resultado que los

materiales corresponden a los tipos A-1-a (0) con un 22.22 %, A-1-b (0) con un 55.56 % y A-2-4 (0) con un 22.22 %.

Los resultados de las pruebas se procesaron estadísticamente como se muestran en los cuadros de resumen.

El espesor promedio de la primera capa existente es igual a 0.32 m. y el rango de dispersión del espesor de la capa varia de 0.15 m. hasta 0.50 m.

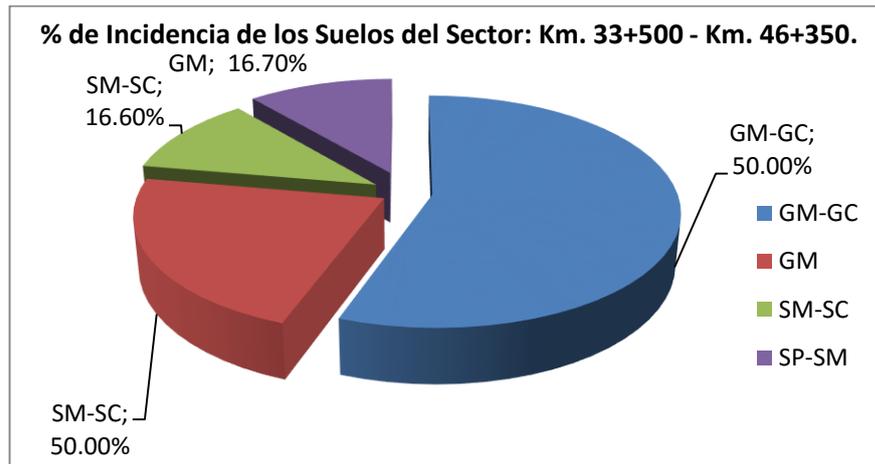


FIGURA Nº 49: Clasificación de suelos (SUCS) tramo VII - 1º estrato.

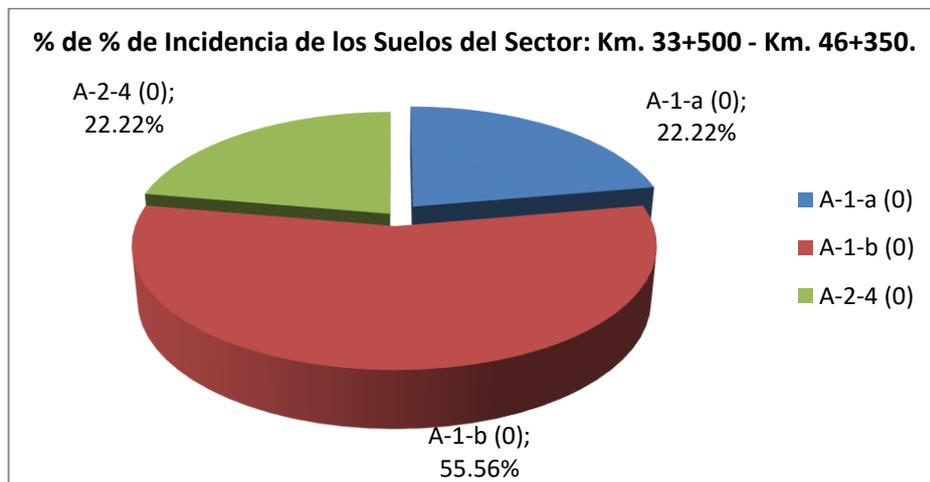


FIGURA Nº 50: Clasificación de suelos (AASHTO) tramo VII - 1º estrato.

Descripción del Segundo Estrato. (Suelo de Fundación)

La capa existente está constituida de suelos finos; mezclas de arenas, limos y arcillas; cuyas pruebas de identificación (ensayos granulométricos y límites de Atterberg) han dado como resultado que los materiales corresponden

a los tipos A-4 con un 22.22%, A-6 con 33.34%, A-7-5 con 11.11% y A-7-6 con un 33.33%

Los resultados de las pruebas se procesaron estadísticamente como se muestran en los cuadros de resumen.

La profundidad promedio de la segunda capa existente es igual 1.25 m. y el rango de dispersión de la profundidad es 0.80 m. hasta 1.50 m.

En este tramo la capacidad de soporte es de 4.5 % al 95 % de la máxima densidad seca del suelo, con esa capacidad de soporte este terreno de fundación es pobre.

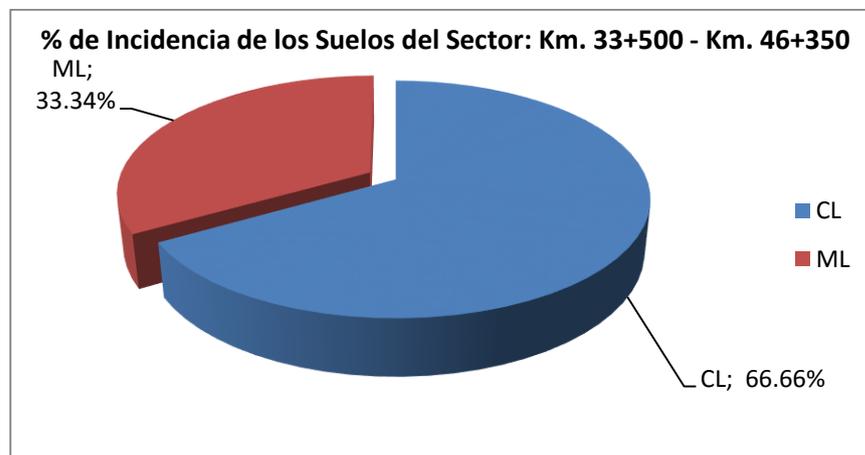


FIGURA Nº 51: Clasificación de suelos (SUCS) tramo VII - 2º estrato.

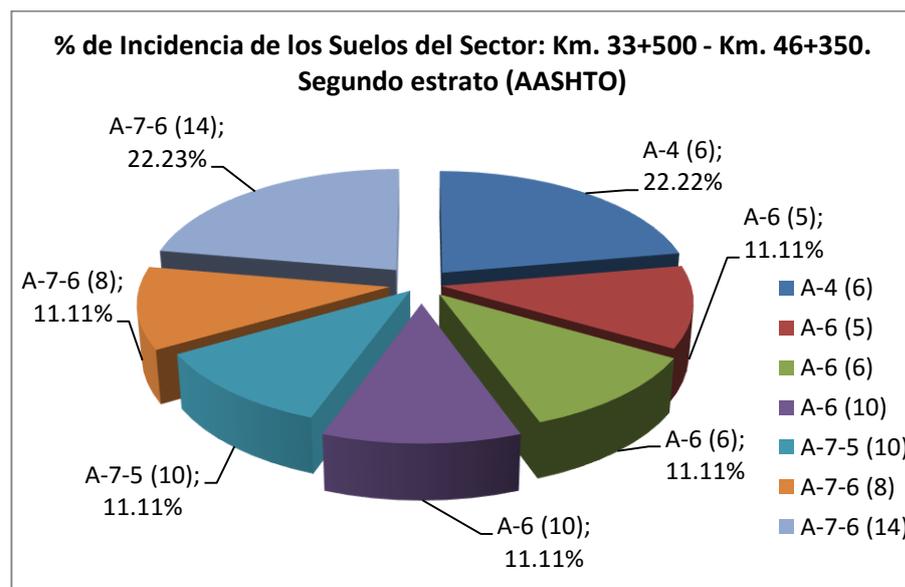


FIGURA Nº 52: Clasificación de suelos (AASHTO) tramo VII - 2º estrato.

Descripción del Tercer Estrato. (Suelo de Fundación)

La caracterización de los suelos se ha efectuado en base a la investigación de campo llevada a cabo del 100% de la longitud del tramo de carretera.

En este sector se tiene la prospección de 01 calicata ubicada en la progresiva Km. 44+500, que presenta un tercer estrato, teniendo como espesor de 0.70 m.; el cual está representado en un 100% por suelos granulares con mezclas de arena, limos y arcillas.

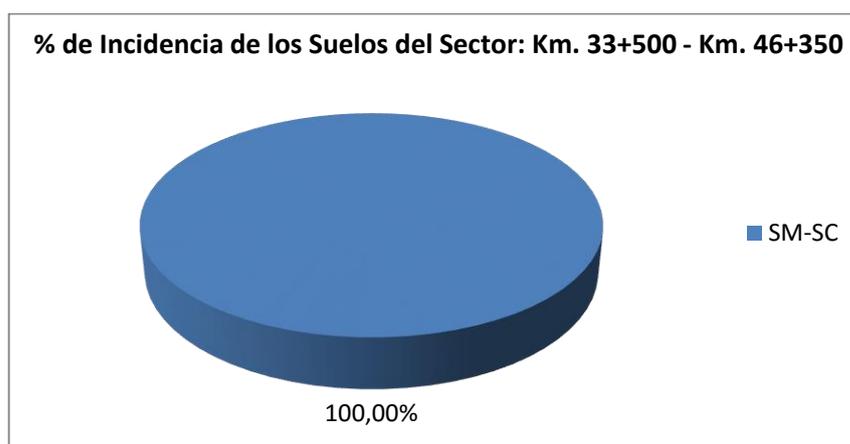


FIGURA N° 53: Clasificación de suelos (SUCS) tramo VII - 3° estrato.

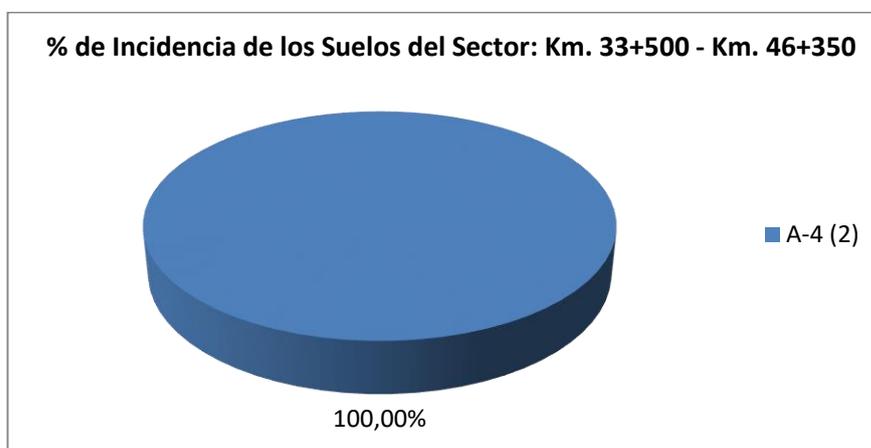


FIGURA N° 54: Clasificación de suelos (AASHTO) tramo VII - 3° estrato.

4.1.5.8. Tramo VIII: Km. 46+350 al Km. 46+900

Este tramo a diferencia de los tramos anteriores son de origen eluvial, conformado íntegramente por suelos granulares originados por la alteración y desintegración de la roca madre que en este caso es del grupo puno.

Descripción del Primer Estrato.

El diseño de la nueva vía toma en cuenta sectores de la carretera existente, razón por la cual se analiza el espesor promedio que presenta la primera capa o estrato en el 100% del tramo. La capa existente está constituida de suelos granulares, arenas y limos, cuyas pruebas de identificación (ensayos granulométricos y límites de atterberg) han dado como resultado que los materiales corresponden a los tipos A-1-b (0) con un 100.00 %.

Los resultados de las pruebas se procesaron estadísticamente como se muestran en los cuadros de resumen.



FIGURA Nº 55: Clasificación de suelos (SUCS) tramo VIII - 1º estrato.



FIGURA Nº 56: Clasificación de suelos (AASHTO) tramo VIII - 1º estrato.

El espesor promedio de la primera capa existente es igual a 0.20 m. y el rango de dispersión del espesor es 0.20 m.

Descripción del Segundo Estrato. (Suelo de Fundación)

La capa existente está constituida de suelos finos; mezclas de arenas, limos y arcillas; cuyas pruebas de identificación (ensayos granulométricos y

límites de Atterberg) han dado como resultado que los materiales corresponden a los tipos A-4 con un 100.00%.

Los resultados de las pruebas se procesaron estadísticamente como se muestran en los cuadros de resumen.

La profundidad promedio de la segunda capa existente es igual 0.80 m.



FIGURA N° 57: Clasificación de suelos (SUCS) tramo VIII - 2° estrato.



FIGURA N° 58: Clasificación de suelos (AASHTO) tramo VIII - 2° estrato.

En este tramo la capacidad de soporte es de 7.5 % al 95 % de la máxima densidad seca del suelo, con esa capacidad de soporte este terreno de fundación es regular.

Descripción del Tercer Estrato. (Suelo de Fundación)

La caracterización de los suelos se ha efectuado en base a la investigación de campo llevada a cabo del 100% de la longitud del tramo de carretera.

En este sector se tiene la prospección de 01 calicata ubicada en la progresiva Km. 46+550, que presenta un tercer estrato, teniendo como espesor de 0.70 m. a más; el cual está representado en un 100% por rocas del grupo Puno.



FIGURA N° 59: Clasificación de suelos (SUCS) tramo VIII - 3° estrato.



FIGURA N° 60: Clasificación de suelos (AASHTO) tramo VIII - 3° estrato.

4.1.5.9. Tramo IX: Km. 46+900 al Km. 55+000

Este tramo a diferencia de los tramos anteriores es de origen coluvial y eluvial, conformado por suelos granulares y finos, originados por la alteración y desintegración de rocas presentes en la zona.

Descripción del Primer Estrato.

El diseño de la nueva vía toma en cuenta sectores de la carretera existente, razón por la cual se analiza el espesor promedio que presenta la primera capa o estrato en el 100% del tramo. La capa existente está constituida de suelos granulares, arenas y limos, cuyas pruebas de identificación (ensayos

granulométricos y límites de atterberg) han dado como resultado que los materiales corresponden a los tipos A-1-a (0) con 37.50%, A-1-b (0) con un 37.50 % y A-4 con 25.00%.

Los resultados de las pruebas se procesaron estadísticamente como se muestran en los cuadros de resumen.

El espesor promedio de la primera capa existente es igual a 0.60 m. y el rango de dispersión del espesor es 0.20 m. hasta 1.50 m.

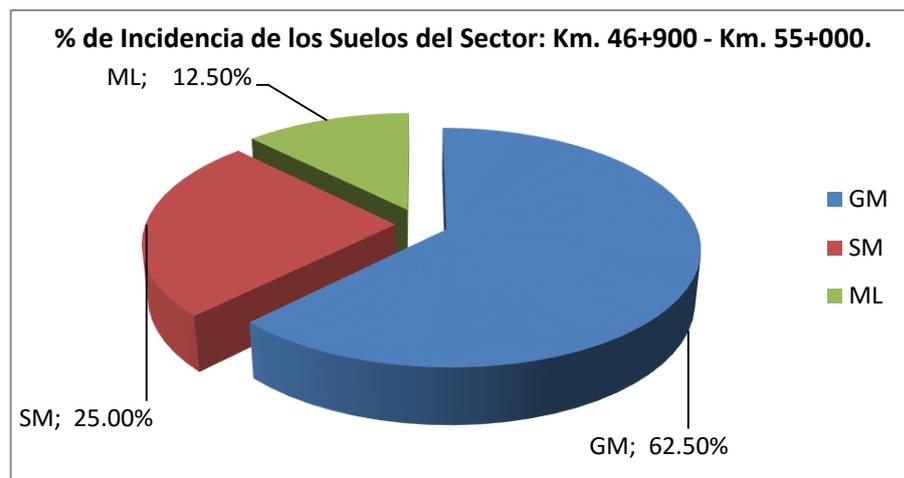


FIGURA Nº 61: Clasificación de suelos (SUCS) tramo IX - 1º estrato.

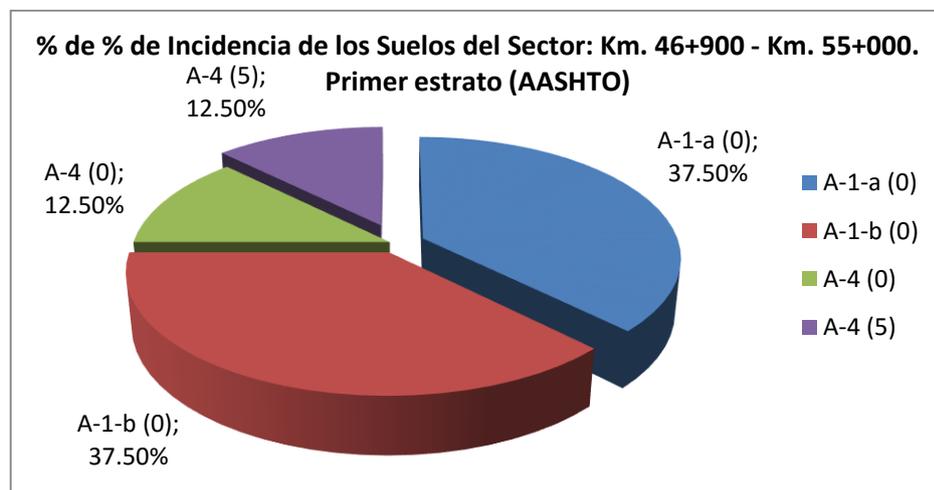


FIGURA Nº 62: Clasificación de suelos (AASHTO) tramo IX - 1º estrato.

Descripción del Segundo Estrato. (Suelo de Fundación)

La capa existente está constituida de suelos finos; mezclas de arenas, limos y arcillas; cuyas pruebas de identificación (ensayos granulométricos y límites de Atterberg) han dado como resultado que los materiales corresponden

a los tipos A-2-4 (0) con 12.50%, A-4 con un 62.50% y A-6 con 12.50%, el cual es representado por siete calicatas.

Los resultados de las pruebas se procesaron estadísticamente como se muestran en los cuadros de resumen.

La profundidad promedio de la segunda capa existente es igual 1.00 m.

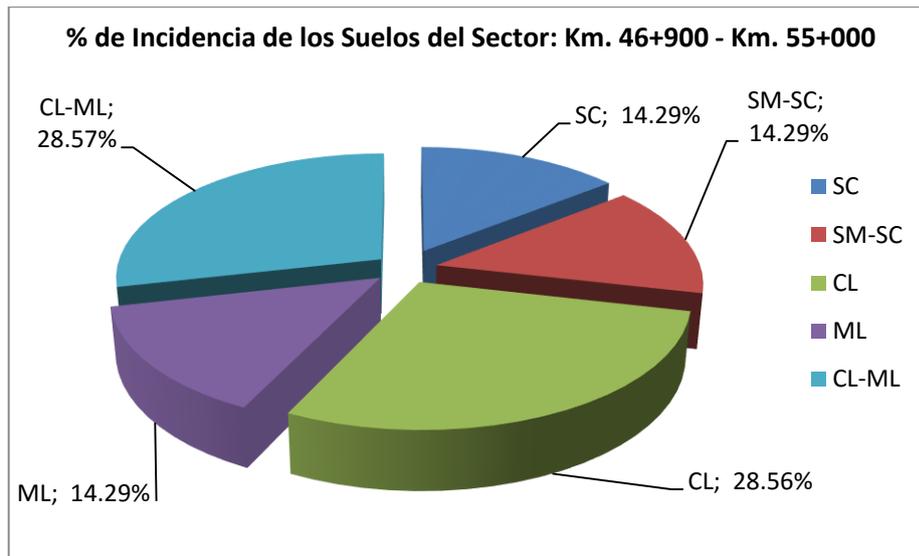


FIGURA Nº 63: Clasificación de suelos (SUCS) tramo IX - 2º estrato.

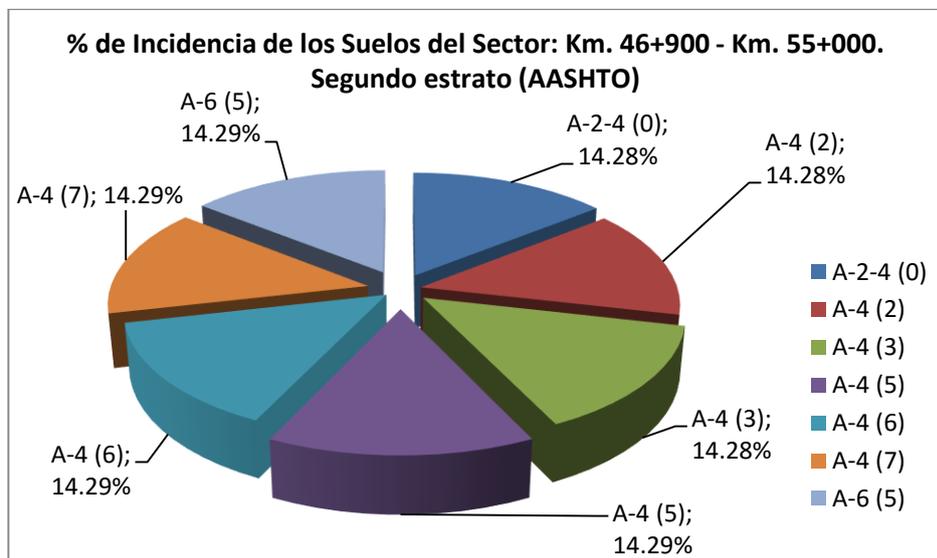


FIGURA Nº 64: Clasificación de suelos (AASHTO) tramo IX - 2º estrato.

En este tramo la capacidad de soporte es de 7.6 % al 95 % de la máxima densidad seca del suelo, con esa capacidad de soporte este terreno de fundación es regular.

4.1.5.10. Tramo X: Km. 55+000 al Km. 56+108

Este tramo presenta materiales de origen aluvial, conformado íntegramente por suelos granulares originados por el arrastres del cauce del río Cabanillas, que se encuentra en el final del tramo de carretera.

Descripción del Primer Estrato.

El diseño de la nueva vía toma en cuenta sectores de la carretera existente, razón por la cual se analiza el espesor promedio que presenta la primera capa o estrato en el 100% del tramo. La capa existente está constituida de suelos granulares, arenas y limos, cuyas pruebas de identificación (ensayos granulométricos y límites de atterberg) han dado como resultado que los materiales corresponden a los tipos A-2-4 (0) con un 100.00 %.

Los resultados de las pruebas se procesaron estadísticamente como se muestran en los cuadros de resumen.

El espesor promedio de la primera capa existente es igual a 0.20 m. y el rango de dispersión del espesor es 0.20 m.

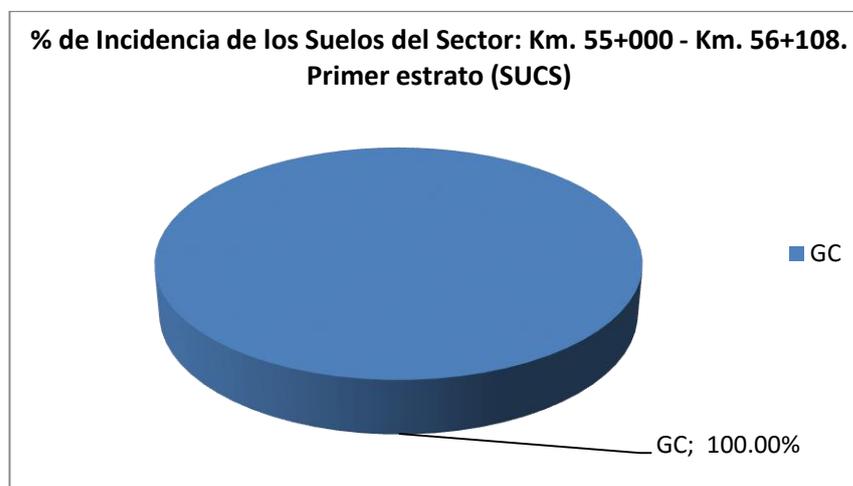


FIGURA N° 65: Clasificación de suelos (SUCS) tramo X - 1° estrato.

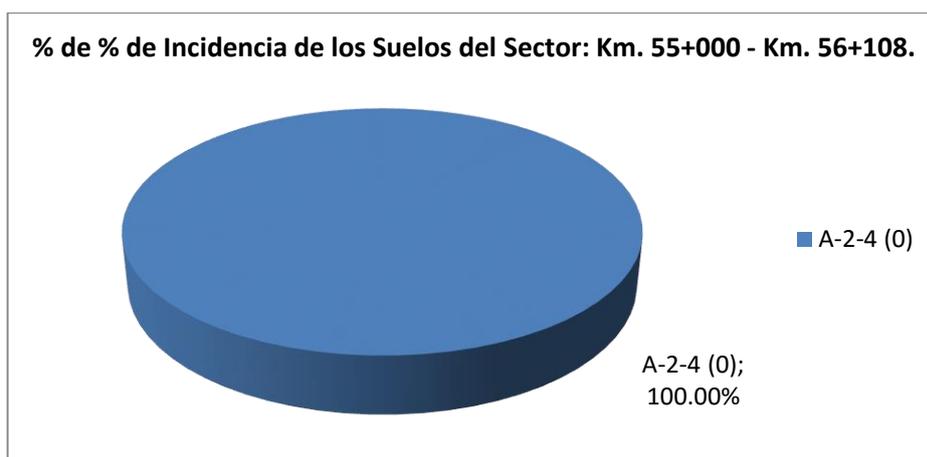


FIGURA N° 66: Clasificación de suelos (AASHTO) tramo X - 1° estrato.

Descripción del Segundo Estrato. (Suelo de Fundación)

La capa existente está constituida de suelos granulares; mezclas de arenas y limos; cuyas pruebas de identificación (ensayos granulométricos y límites de Atterberg) han dado como resultado que los materiales corresponden a los tipos A-2-4 (0) con un 100.00%.

Los resultados de las pruebas se procesaron estadísticamente como se muestran en los cuadros de resumen.

La profundidad promedio de la segunda capa existente es igual 1.30 m.



FIGURA N° 67: Clasificación de suelos (SUCS) tramo X - 2° estrato.

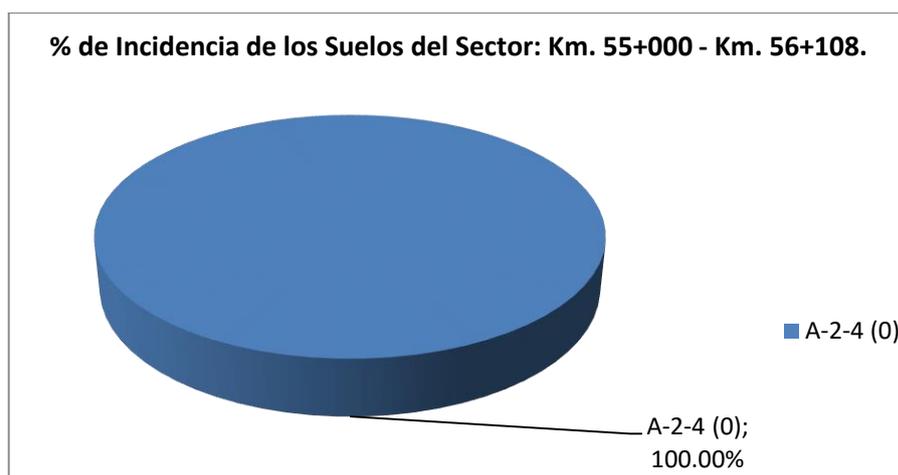


FIGURA Nº 68: Clasificación de suelos (AASHTO) tramo X - 2º estrato.

En este tramo la capacidad de soporte es de 13.8 % al 95 % de la máxima densidad seca del suelo, con esa capacidad de soporte este terreno de fundación es Bueno.

4.2. ESTUDIO DE CANTERAS O MATERIALES DE PRESTAMO

Con el reconocimiento de fuentes de aprovisionamiento de materiales de préstamo para obras, que se realizó a lo largo del sector de evaluación, se ubicaron bancos de materiales coluviales y aluviales, apropiados para los procesos de explotación. Las muestras de estos materiales fueron remitidas al laboratorio con la finalidad de conocer la calidad de los materiales para ser empleados en las diferentes partidas de la obra, que son necesarias para la construcción de la carretera.

Para este tramo de carretera se ha determinado 12 (doce) canteras, para las diferentes capas que son necesarias en la construcción, las cuales se nombran en el capítulo anterior y se desarrollan más adelante.

4.2.1. CALICATAS Y MUESTREO

Se efectuaron excavaciones de calicatas en cada una de las canteras, con la finalidad de obtener las muestras para determinar sus características físicas mecánicas. La obtención de muestras fueron en cantidad suficiente para efectuar los ensayos de laboratorio y estimar su uso, y el tratamiento necesario para las partidas proyectadas en la obra.

4.2.2. ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos correspondientes para el estudio de canteras que se han considerado en esta oportunidad son los siguientes:

- Análisis Granulométrico MTC E-107
- Limite Líquido MTC E-110
- Limite Plástico MTC E-111
- Proctor Modificado MTC E-115
- Valor Relativo de Soporte (CBR) MTC E-132
- Abrasión los Ángeles MTC E-207
- Caras Fracturadas MTC E-210
- Chatas Alargadas ASTMD-4791
- Equivalente de Arena MTC E-114
- Durabilidad MTC E-209

4.2.2.1. Clasificación de Suelos por Método SUCS y AASHTO

El sistema más usual de clasificación de suelos, es el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el cual clasifica a los suelos en 15 grupos identificados por nombre y términos simbólicos.

El sistema de clasificación para Construcción de Carreteras AASHTO, es también muy usado de manera general. Los suelos pueden ser también clasificados en grandes grupos, pueden ser porosos, de grano grueso o grano fino, granular o no granular y cohesivo, semi cohesivo y no cohesivo.

Otra característica importante de los suelos es su humedad natural, puesto que la resistencia de los suelos de subrasante, en especial de los finos, se encuentra directamente asociada con las condiciones de humedad y densidad que estos suelos presenten.

Con los resultados de propiedades índices y análisis granulométrico, se presenta el cuadro N° 11 “clasificación de Suelos – Canteras”, que resume los resultados principales de los materiales ensayados, incluyendo las clasificaciones SUCS y AASHTO.

CUADRO N° 11: Clasificación de Materiales - Canteras

N°	CANTERA	SUCS	AASHTO	USOS
1	Km. 10+400	SM	A-1-b (0)	Rellenos, Sub base
2	Sircuni	GM	A-2-4 (0)	Sub base, relleno
3	Km. 26+800	SP	A-1-a (0)	Concreto, Slurry Seal
4	Rio Vilque	GM	A-1-a (0)	Concreto, basa, sub base
5	Km. 31+460	GM-GP	A-1-a (0)	Sub base, base, relleno
6	Qda. Huayllani	GP	A-1-a (0)	Sub base, base
7	Rio Mañazo	GP	A-1-a (0)	Concreto, base, sub base, relleno
8	Rio Jatunmayo	GP	A-1-a (0)	Concreto, base, sub base, relleno
9	Km. 46+400	GM	A-1-b (0)	Sub base, relleno
10	Rio Cabanillas	GP	A-1-a (0)	Concreto, base, sub base
11	Rio Paxa	GP	A-1-a (0)	Concreto, base, sub base
12	Qda. Conduriri	GM	A-1-a (0)	Sub base, base

4.2.2.2. Propiedades Mecánicas

Son ensayos que permiten determinar la resistencia de los suelos o comportamiento frente a las solicitaciones de carga.

a). Ensayo de Próctor Modificado (MTC E-115)

El ensayo de Próctor Modificado, se efectúa para obtener un óptimo contenido de humedad, para la cual se consigue la máxima densidad seca del suelo con una compactación determinada. Este ensayo se debe realizar antes de usar el agregado sobre el terreno, para así saber que cantidad de agua se debe agregar para obtener la mejor compactación.

b). California Bearing Ratio - CBR (MTC E-132)

El índice de California (CBR) es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, bajo condiciones de densidad y humedad, cuidadosamente controladas.

c). Ensayo de Equivalente de Arena (MTC E-114)

Los ensayos de equivalente de arena sirven como prueba rápida para determinar la proporción relativa del contenido de polvo (finos) nocivo, ó material arcilloso, en suelos o agregados finos.

La prueba separa la arena de la parte gruesa, se determina una lectura comparativa entre la arena suspendida y la arena asentada en el cilindro de medición. Las pruebas se pueden hacer en el laboratorio o en el terreno.

4.2.3. DESCRIPCION DE CANTERAS

Existen bancos de materiales cuyos agregados pueden ser utilizados como materiales de construcción en las diferentes etapas. Se han seleccionado aquellas cuya cantidad y calidad del material existente, son adecuadas y suficientes para la realización de la obra total de la vía.

En el tramo en estudio se ubicaron 12 canteras para el aprovisionamiento e materiales para la conformación de rellenos, afirmado, sub base y base granular. Los trabajos de exploración de campo fueron realizados durante los meses de Febrero a Abril del 2012.

4.2.3.1. Cantera Km. 10+400

Esta cantera se encuentra ubicada en el Km. 10+400 de la carretera Puno – Vilque – Mañazo – Huataquita, dentro del sector de influencia del área de estudio; tiene un acceso de 300 m., al lado izquierdo del eje de carretera, de conservación regular. Esta cantera está conformada por material de tipo coluvio-aluviales. Son suelos finos con poca presencia de material granular, por lo que para su utilización se debe realiza una combinación con otra cantera.

FICHA DE CANTERA

Nombre:	Cantera km 10+400.
Ubicación:	km. 10+400 Lado Izquierdo.
Referencia:	En la vía a vilque.
Lado:	Lado Izquierdo de la vía.
Acceso:	Directo (a 300 m. del eje de la Vía).
Tipo de Material:	El material corresponde a una mezcla de arena con limos, predominan la clasificación A-1-b (0), hasta una profundidad suficiente para determinar sus características

básicas, se puede mencionar que presenta poca o nada de plasticidad.

- Volumen: El volumen se estima en 8,600 m³.
- Usos: Se podrá emplear con la mezcla de la cantera km. 12+820 LI. En la conformación de rellenos.
- Explotación: La explotación se realizará empleando retroexcavadora.
- Recomendaciones: Se recomienda el uso de esta cantera con la mezcla de la cantera km. 12+820 LI, porque no se puede usar solo el material, por presentar muchos finos para los rellenos por las características que presenta el material de esta cantera.

4.2.3.2. Cantera Sircuni

Esta cantera se encuentra ubicada en el Km. 12+820 de la carretera Puno – Vilque – Mañazo – Huataquita, dentro del sector de influencia del área de estudio; tiene un acceso de 120 m., al lado izquierdo del eje de carretera, de conservación regular. Esta cantera está conformada por material de tipo coluvio-eluviales. Son suelos granulares con poca presencia de material fino, por lo que para su utilización se debe realizar una combinación con otra cantera, además se debe seleccionar el material por intermedio de una zaranda.

FICHA DE CANTERA

- Nombre: Cantera Sircuni.
- Ubicación: km. 12+820 Lado Izquierdo.
- Referencia: En la vía a vilque.
- Lado: Lado Izquierdo de la vía.
- Acceso: Directo (a 120 m. del eje de la Vía).
- Tipo de Material: El material corresponde a una mezcla de gravas y arena con limos, predominan la clasificación A-2-4 (0), hasta una profundidad suficiente para determinar sus

características básicas, se puede mencionar que presenta de baja a mediana plasticidad.

- Volumen: El volumen se estima en 10,000 m³.
- Usos: Se podrá emplear con la mezcla de la cantera km. 10+400 LI. En la conformación de rellenos.
- Explotación: La explotación se realizará empleando excavadora, tractor oruga.
- Recomendaciones: Se recomienda el uso de esta cantera con la mezcla de la cantera km. 10+400 LI, porque no se puede usar solo el material, por presentar mucha grava para los rellenos por las características que presenta el material de esta cantera.

4.2.3.3. Cantera Km. 26+800

Esta cantera se encuentra ubicada en el Km. 26+800 de la carretera Puno – Vilque – Mañazo – Huataquita, dentro del sector de influencia del área de estudio; tiene un acceso de 50 m., al lado derecho del eje de carretera, de conservación regular. Esta cantera está conformada por material de tipo aluvial, que se encuentran en el lecho del río. Son agregados finos con poca presencia de material gravoso, esta cantera esta propuesto para ser usado como agregado fino de concreto y Slurry Seal.

FICHA DE CANTERA

- Nombre: Km. 26+800.
- Ubicación: km. 26+800 Lado Derecho.
- Referencia: En la vía a vilque.
- Lado: Lado Derecho de la vía.
- Acceso: Directo (a 50 m. del eje de la Vía).
- Tipo de Material: El material corresponde a una arena mal gradada, predominan la clasificación A-1-a (0), hasta una

profundidad suficiente para determinar sus características básicas, se puede mencionar que presenta plasticidad nula.

- Volumen: El volumen se estima en 4,000 m³.
- Usos: Propuesto para ser utilizado como agregado fino para Concreto y Slurry Seal (Mortero Asfáltico).
- Explotación: La explotación se realizará empleando excavadora, tractor oruga.
- Recomendaciones: Para el uso se recomienda el uso de equipo convencional, además de realizar la selección para su uso mediante una zaranda estacionaria.

4.2.3.4. Cantera Rio Vilque

Esta cantera se encuentra ubicada en el Km. 30+860 de la carretera Puno – Vilque – Mañazo – Huataquita, dentro del sector de influencia del área de estudio; tiene un acceso de 200 m., a ambos lado del eje de carretera, de conservación regular. Esta cantera está conformada por material de tipo aluvial, que se encuentra en el lecho del rio del mismo nombre. Son suelos granulares con buena presencia de material fino (hormigón de rio), para su utilización se debe realizar una selección mediante una zaranda para eliminar gravas mayores a 3”.

FICHA DE CANTERA

- Nombre: Cantera Rio Vilque.
- Ubicación: km. 30+860.
- Referencia: En la vía a Mañazo.
- Lado: Ambos lados del eje de la vía.
- Acceso: Directo (a 200 m. del eje de la Vía).
- Tipo de Material: El material corresponde a una grava limosa, predominan la clasificación A-1-a (0), hasta una profundidad suficiente para

determinar sus características básicas, se puede mencionar que presenta plasticidad nula.

Volumen: El volumen se estima en 15,000 m³, en el lado derecho y 12,000 m³ en el lado izquierdo.

Usos: Se podrá emplear como material de concreto, relleno, sub base y base granular.

Explotación: La explotación se realizará empleando excavadora, tractor oruga.

Recomendaciones: Para la extracción del material, se recomienda que se realice con equipo convencional, asimismo el material se procesará in situ, las mismas que constaran de zarandas para la separación de los agregados pétreos mayores de 2" y 3", para su empleo en relleno sub base y base granular.

4.2.3.5. Cantera Km. 31+460

Esta cantera se encuentra ubicada en el Km. 31+460 de la carretera Puno – Vilque – Mañazo – Huataquita, dentro del sector de influencia del área de estudio; tiene un acceso de 80 m., al lado izquierdo del eje de carretera, de conservación regular. Esta cantera está conformada por material de tipo aluvial. Son suelos granulares con buena presencia de material fino, se presenta en un banco de material de aproximadamente 5 m. de espesor, que fue un lecho de río abandonado con presencia de poca vegetación en la superficie.

FICHA DE CANTERA

Nombre: Cantera Km. 31+460.

Ubicación: km. 31+460 Lado Izquierdo.

Referencia: En la vía a Mañazo.

Lado: Lado Izquierdo de la vía.

Acceso: Directo (a 80 m. del eje de la Vía).

Tipo de Material: El material corresponde a una mezcla de grava y arena limosa mal gradada, predominan la clasificación A-1-a (0), hasta una profundidad suficiente para determinar sus características básicas, se puede mencionar que presenta plasticidad baja a nula.

Volumen: El volumen se estima en 22,000 m³.

Usos: Se podrá emplear como material de relleno, sub base y base.

Explotación: La explotación se realizará empleando excavadora, tractor oruga.

Recomendaciones: Para la extracción del material, se recomienda que se realice con equipo convencional, asimismo el material se procesará in situ, las mismas que constarán de zarandas para la separación de los agregados pétreos mayores de 2", para su empleo en relleno sub base y base granular; además se recomienda realizar la limpieza y desbroce de un espesor de 0.30 m. que es la capa vegetal.

4.2.3.6. Cantera Quebrada Huayllani

Esta cantera se encuentra ubicada en el Km. 36+900 de la carretera Puno – Vilque – Mañazo – Huataquita, dentro del sector de influencia del área de estudio; tiene un acceso de 450 m., al lado izquierdo del eje de carretera, de conservación regular. Esta cantera está conformada por material de tipo coluvio-aluvial, son suelos granulares con buena presencia de material fino, se presenta en el lecho de una pequeña quebrada y laterales, como material coluvial, que es una terraza de 3 m de altura con presencia de poca vegetación en la superficie.

FICHA DE CANTERA

Nombre: Cantera Quebrada Huayllani.

Ubicación: km. 36+900 Lado Izquierdo.

- Referencia: En la vía a Mañazo.
- Lado: Lado Izquierdo de la vía.
- Acceso: Directo (a 450 m. del eje de la Vía).
- Tipo de Material: El material corresponde a una grava mal gradada, predominan la clasificación A-1-a (0), hasta una profundidad suficiente para determinar sus características básicas, se puede mencionar que presenta plasticidad nula.
- Volumen: El volumen se estima en 13,000 m³.
- Usos: Se podrá emplear como material de relleno y sub base.
- Explotación: La explotación se realizará empleando excavadora, tractor oruga.
- Recomendaciones: Para la extracción del material, se recomienda que se realice con equipo convencional, asimismo el material se procesará in situ, que constarán de zarandas para la separación de los agregados pétreos mayores de 2" y 3", para su empleo en relleno y sub base; además, se recomienda realizar la limpieza y desbroce de un espesor de 0.30 m. que es la capa vegetal.

4.2.3.7. Cantera Rio Mañazo

Esta cantera se encuentra ubicada en el Km. 40+280 de la carretera Puno – Vilque – Mañazo – Huataquita, dentro del sector de influencia del área de estudio; tiene un acceso de 250 m., a ambos lados del eje de carretera, de conservación regular. Esta conformada por material de tipo aluvial, son suelos granulares con buena presencia de material fino, se presenta en el lecho del río del mismo nombre; para su utilización se debe realizar la selección in situ mediante una zaranda, para eliminar material mayor a 2" y 3" y así usar como material de relleno, sub base y base granular.

FICHA DE CANTERA

Nombre: Cantera Rio Mañazo.

Ubicación: km. 40+280.

Referencia: En la vía a Huataquita.

Lado: Ambos lados del eje de la vía.

Acceso: Directo (a 250 m. del eje de la Vía).

Tipo de Material: El material corresponde a una grava mal gradada, predominan la clasificación A-1-a (0), hasta una profundidad suficiente para determinar sus características básicas, se puede mencionar que presenta plasticidad nula.

Volumen: El volumen se estima en 3,500 m³, en el lado derecho y 4,000 m³ en el lado izquierdo.

Usos: Se podrá emplear como material de relleno, sub base y base granular.

Explotación: La explotación se realizará empleando excavadora, tractor oruga.

Recomendaciones: Para la extracción del material, se recomienda que se realice con equipo convencional, asimismo el material se procesará in situ, que constarán de zarandas para la separación de los agregados pétreos mayores de 2" y 3". Para su empleo en relleno sub base y base granular.

4.2.3.8. Cantera Rio Jatunmayo

Esta cantera se encuentra ubicada en el Km. 41+920 de la carretera Puno – Vilque – Mañazo – Huataquita, dentro del sector de influencia del área de estudio; tiene un acceso de 400 m., al lado izquierdo del eje de carretera, de conservación regular. Esta cantera está conformada por material de tipo aluvial, son suelos granulares con buena presencia de material fino, se presenta en el lecho del rio del mismo nombre, para su utilización se debe realizar la selección in situ mediante una zaranda, para eliminar material mayor a 2" y 3" y así usar como material de relleno, sub base y base granular; de la misma manera el

material mayor a 3" servirá para la preparación de concreto procesado en chancadora primaria y secundaria.

FICHA DE CANTERA

Nombre: Cantera Rio Jatunmayo.

Ubicación: km. 41+920.

Referencia: En la vía a Huataquita.

Lado: Lado izquierdo del eje de la vía.

Acceso: Directo (a 400 m. del eje de la Vía).

Tipo de Material: El material corresponde a una grava mal gradada, predominan la clasificación A-1-a (0), hasta una profundidad suficiente para determinar sus características básicas, se puede mencionar que presenta plasticidad nula.

Volumen: El volumen se estima en 50,000 m³.

Usos: Se podrá emplear como material de relleno, sub base, base granular y concreto.

Explotación: La explotación se realizará empleando excavadora, tractor oruga.

Recomendaciones: Para la extracción del material, se recomienda que se realice con equipo convencional, asimismo el material se procesará in situ, las mismas que constarán de zarandas para la separación de los agregados pétreos mayores de 2" y 3". Para su empleo en relleno sub base y base granular; con el over mayor a 3" se procesará mediante una chancadora primaria y secundaria, para utilizarlo como agregado grueso en la preparación de mezcla de concreto.

4.2.3.9. Cantera Km. 46+400

Esta cantera se encuentra ubicada en el Km. 46+400 de la carretera Puno – Vilque – Mañazo – Huataquita, dentro del sector de influencia del área de estudio; se encuentra al pie de la carretera en un corte, al lado derecho del eje de la carretera. Esta cantera está conformada por material de tipo eluvial, son suelos granulares con buena presencia de material fino, se presenta en un corte presente al lado derecho de la carretera, es producto de la alteración de las rocas existentes en la zona.

FICHA DE CANTERA

Nombre: Cantera Km. 46+400.

Ubicación: km. 46+400 Lado derecho.

Referencia: En la vía a Huataquita.

Lado: Lado Derecho de la vía.

Acceso: En corte a pie de carretera.

Tipo de Material: El material corresponde a una grava limosa, predominan la clasificación A-1-b (0), hasta una profundidad suficiente para determinar sus características básicas, se puede mencionar que presenta de mediana a baja plasticidad.

Volumen: El volumen se estima en 10,000 m³.

Usos: Se podrá emplear como material de relleno.

Explotación: La explotación se realizará empleando excavadora, tractor oruga.

Recomendaciones: Para la extracción del material, se recomienda que se realice con equipo convencional, asimismo el material se procesará in situ, con zarandas para la separación de los agregados pétreos mayores de 3", para su empleo en relleno; además se recomienda realizar la limpieza y

desbroce de un espesor de 0.50 m. que es la capa vegetal perjudicial para la construcción.

4.2.3.10. Cantera Rio Cabanillas

Esta cantera se encuentra ubicada en el Km. 268+000 de la carretera Juliaca - Arequipa, dentro del sector de influencia del área de estudio; tiene un acceso de 550 m., al lado izquierdo del eje de carretera de conservación regular. Esta cantera está conformada por material de tipo aluvial. Son suelos granulares con buena presencia de material fino, se presenta en lecho del río del mismo nombre, para su utilización se debe realizar la selección in situ mediante una zaranda, para obtener over y procesar en una chancadora primaria y secundaria; para agregado grueso para concreto, el material fino servirá como agregado fino.

FICHA DE CANTERA

Nombre:	Cantera Rio Cabanillas.
Ubicación:	km. 268+000.
Referencia:	En la vía Juliaca – Arequipa.
Lado:	Lado izquierdo del eje de la vía.
Acceso:	Directo (a 550 m. del eje de la Vía).
Tipo de Material:	El material corresponde a una grava mal gradada, predominan la clasificación A-1-a (0), hasta una profundidad suficiente para determinar sus características básicas, presenta plasticidad nula.
Volumen:	El volumen se estima en 65,000 m ³ .
Usos:	Se podrá emplear como material de sub base, base granular y concreto.
Explotación:	La explotación se realizará empleando excavadora, tractor oruga.

Recomendaciones: Para la extracción del material, se recomienda que se realice con equipo convencional, asimismo el material se procesará in situ, en zarandas para la separación de los agregados pétreos mayores de 2" y 3", para su empleo en relleno sub base y base granular; el over mayor a 3" se procesará mediante una chancadora primaria y secundaria para utilizarlo como agregado grueso en la preparación de mezcla de concreto.

4.2.3.11. Cantera Rio Paxa

Esta cantera se encuentra ubicada en el Km. 20+740 de la carretera Puno – Vilque – Mañazo – Huataquita, dentro del sector de influencia del área de estudio; tiene un acceso de 6300 m., al lado izquierdo del eje de carretera de conservación buena. Esta cantera está conformada por material de tipo aluvial, son suelos granulares con buena presencia de material fino, se presenta en el lecho del rio del mismo nombre, para su utilización se debe realizar la selección in situ mediante una zaranda, para eliminar material mayor a 2" y 3" y así usar como material de relleno, sub base y base granular; de la misma manera el material mayor a 3" será procesado en chancadora primaria y secundaria y servirá para la preparación de concreto.

FICHA DE CANTERA

Nombre: Cantera Rio Paxa.

Ubicación: km. 20+740.

Referencia: En la vía a Huataquita.

Lado: Lado izquierdo del eje de la vía.

Acceso: Directo (a 6300 m. del eje de la Vía).

Tipo de Material: El material corresponde a una grava mal gradada, predominan la clasificación A-1-a (0), hasta una profundidad suficiente para determinar sus características básicas, presenta plasticidad nula.

- Volumen: El volumen se estima en 60,000 m³.
- Usos: Se podrá emplear como material de relleno, sub base, base granular y concreto.
- Explotación: La explotación se realizará empleando excavadora, tractor oruga.

Recomendaciones: Para la extracción del material, se recomienda que se realice con equipo convencional, asimismo el material se procesará in situ, con zarandas para la separación de los agregados pétreos mayores de 2" y 3", para su empleo en relleno sub base y base granular; el over mayor a 3" se procesará mediante una chancadora primaria y secundaria para utilizarlo como agregado grueso en la preparación de mezcla de concreto.

4.2.3.12. Cantera Quebrada Conduriri

Esta cantera se encuentra ubicada en el Km. 20+740 de la carretera Puno – Vilque – Mañazo – Huataquita, dentro del sector de influencia del área de estudio, tiene un acceso de 16500 m., al lado izquierdo del eje de carretera de conservación regular. Esta cantera está conformada por material de tipo coluvio-eluvial, son suelos granulares con presencia de material fino, se presenta en una ladera, para su utilización se debe realizar la selección in situ mediante una zaranda, para eliminar material mayor a 2" y así usar como material de sub base y base granular.

FICHA DE CANTERA

- Nombre: Cantera Quebrada Conduriri.
- Ubicación: km. 20+740.
- Referencia: En la vía a Huataquita.
- Lado: Lado izquierdo del eje de la vía.
- Acceso: Directo (a 16500 m. del eje de la Vía).

Tipo de Material: El material corresponde a una grava limosa, predominan la clasificación A-1-a (0), hasta una profundidad suficiente para determinar sus características básicas, presenta de mediana a baja plasticidad.

Volumen: El volumen se estima en 35,000 m³.

Usos: Se podrá emplear como material de sub base y base granular.

Explotación: La explotación se realizará empleando excavadora, tractor oruga.

Recomendaciones: Para la extracción del material, se recomienda que se realice con equipo convencional, asimismo el material se procesará in situ, con zarandas para la separación de los agregados pétreos mayores de 2". Para su empleo en sub base y base granular.

4.2.4. TRABAJOS DE GABINETE

En base a los resultados de laboratorio y a la información de campo de los espesores de las capas utilizables de acuerdo a las prospecciones y el área disponible, se han podido calcular los volúmenes utilizables efectivos de cada una de las canteras.

Asimismo, teniendo en consideración la información de los tamaños máximos y la proporción del material para chancar se determinarán el rendimiento de cada cantera. El cálculo de rendimiento de las canteras seleccionadas, se presentan en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 12: Rendimiento de canteras. (Elaboración propia).

CANTERA	ACCESO (m.)	POTENCIA	UTILIDAD	RENDIMIENTO
Km. 10+400	300	8600 m ³	Sub base, relleno, afirmado	95%
Sircuni	120	10000 m ³	Relleno, afirmado	85%
Km. 26+800	50	4000 m ³	Concreto, Slurry Seal	95%
Rio Vilque	200	27000 m ³	Concreto, base, sub base, relleno	90%
Km. 31+460	80	22000 m ³	Sub base, base, relleno	95%
Qda. Huayllani	450	13000 m ³	Sub base, relleno	85%

Rio Mañazo	250	7500 m ³	Concreto, base, sub base, relleno	70%
Rio Jatunmayo	400	50000 m ³	Concreto, base, sub base, relleno	60%
Km. 46+400	20	10000 m ³	Relleno, afirmado	85%
Km. 51+460	20	8000 m ³	Relleno	80%
Rio Cabanillas	550	65000 m ³	Concreto, base, sub base	85%
Rio Paxa	6300	60000 m ³	Concreto, base, sub base	85%
Qda. Conduriri	16500	35000 m ³	Sub base, base	90%

El cálculo del rendimiento de cada una de las canteras se realizó con el zarandeo del material por una malla de 4" mediante el cual se obtiene material de tamaño máximo de 3", por lo que la bolonería mayor a 3" se desestima de la potencia total de las canteras; es por ello que se tiene el rendimiento que se muestra en el cuadro N° 12.

4.2.5. PROPIEDADES DE CANTERAS PARA BASE GRANULAR Y SUB BASE

CANTERA Km. 10+400 L.I.

De los resultados mostrados en el cuadro N° 13, podemos apreciar que esta cantera no puede ser utilizada como material de sub base y base granular, porque la capacidad de soporte es inferior al mínimo requerido; de igual manera como material de relleno no puede ser utilizado; para utilizar esta cantera se debe realizar una combinación de material con otra cantera más granular y que tenga una mejor capacidad de soporte.

CUADRO N° 13: Resultados y especificaciones de la cantera Km. 10+400.

ENSAYO	CANTERA KM 10+400 L.I.		
	Resultados	Especificación	Observación
Granulometría	.-	Huso	
Limite Liquido (%)	19.9	35 máx.	Cumple
Índice Plástico (%)	NP	4 máx.	Cumple
Abrasión (%)	.-	40 máx.	.-
CBR (%)	16.2	80 mín.	No Cumple
Equivalente de Arena	.-	35 mín.	.-
Impurezas Orgánicas	Aceptable	.-	
Chatas y alargadas (%)	.-	15 máx.	.-

CANTERA SIRCUNI Km. 12+820 L.I.

De los resultados mostrados en el cuadro N° 14, podemos apreciar que esta cantera no puede ser utilizada como material de sub base y base granular, porque la capacidad de soporte es inferior al mínimo requerido, así mismo la plasticidad es superior al máximo especificado; de igual manera como material de relleno no puede ser utilizado; para utilizar esta cantera se debe realizar una combinación de material con otra cantera menos granular para que sea más trabajable y se reduzca la proporción de grava, para facilitar su compactación.

CUADRO N° 14: Resultados y especificaciones de la cantera sircuni.

ENSAYO	CANTERA SIRCUNI KM 12+820 L.I.		
	Resultados	Especificación	Observación
Granulometría	-.-	Huso	
Limite Liquido (%)	30.4	35 máx.	Cumple
Índice Plástico (%)	7.6	4 máx.	No Cumple
Abrasión (%)	28.4	40 máx.	Cumple
CBR (%)	34.5	80 mín.	No Cumple
Equivalente de Arena	-.-	35 mín.	-.-
Impurezas Orgánicas	Aceptable	-.-	
Chatas y alargadas (%)	-.-	15 máx.	-.-

CANTERA Km. 26+800 L.D.

De los resultados mostrados en el cuadro N° 15, podemos apreciar que esta cantera no puede ser utilizada como material de sub base y base granular, porque el material de esta cantera es arena y puede ser utilizado como material de arena para concreto.

CUADRO N° 15: Resultados y especificaciones de la cantera Km. 26+800.

ENSAYO	CANTERA "KM 26+800" (arena)		
	Resultados	Especificación	Observación
Granulometría	-.-	Huso	-.-
Limite Liquido (%)	NP	35 máx.	Cumple
Índice Plástico (%)	NP	4 máx.	Cumple
Abrasión (%)	-.-	40 máx.	-.-
Durabilidad (%)	-.-	18 máx.	-.-
CBR (%)	-.-	80 mín.	-.-
Equivalente de Arena	-.-	35 mín.	-.-
Impurezas Orgánicas	Aceptable		

CANTERA RIO VILQUE Km. 30+860 L.D.

De los resultados mostrados en el cuadro N° 16, podemos apreciar que esta cantera si puede ser utilizado como material de sub base y base granular, ya que las características de estos materiales cumple holgadamente los requerimientos de las especificaciones técnicas para la construcción de carreteras; de igual manera como material de relleno o mejoramientos, por las características que presentan y su plasticidad nula.

CUADRO N° 16: Resultados y especificaciones de la cantera rio vilque.

ENSAYO	CANTERA "RIO VILQUE" L.I.		
	Resultados	Especificación	Observación
Granulometría	.-	Huso	.-
Limite Liquido (%)	NP	35 máx.	Cumple
Índice Plástico (%)	NP	4 máx.	Cumple
Abrasión (%)	22.2	40 máx.	Cumple
Durabilidad (%)	.-	18 máx.	.-
CBR (%)	81.0	80 mín.	Cumple
Equivalente de Arena	48.0	35 mín.	Cumple
Impurezas Orgánicas	Aceptable	.-	.-
Chatas y Alargadas (%)	12.4	15 máx.	Cumple
Caras de Fractura (%)	82.5 / 62.8	80 / 50	Cumple

CANTERA Km. 31+460 L.I.

De los resultados mostrados en el cuadro N° 17, podemos apreciar que esta cantera si puede ser utilizada como material de sub base y base granular, ya que las características de estos materiales cumple holgadamente los requerimientos de las especificaciones técnicas para la construcción de carreteras; de igual manera como material de relleno, por las características que presentan y su plasticidad nula.

CUADRO N° 17: Resultados y especificaciones de la cantera Km. 31+460.

ENSAYO	CANTERA Km. 31+460 L.I.		
	Resultados	Especificación	Observación
Granulometría	.-	Huso	.-
Limite Liquido (%)	NP	35 máx.	Cumple
Índice Plástico (%)	NP	4 máx.	Cumple
Abrasión (%)	25.7	40 máx.	Cumple
CBR (%)	83.0	80 mín.	Cumple
Equivalente de Arena	61.0	35 mín.	Cumple

Impurezas Orgánicas	Aceptable	-.-	-.-
Chatas y Alargadas (%)	9.8	15 máx.	Cumple
Caras de Fractura (%)	81.5 /58.0	80 / 50	Cumple

CANTERA HUAYLLANI Km. 36+900 L.I.

De los resultados mostrados en el cuadro N° 18, podemos apreciar que esta cantera no puede ser utilizada como material de base granular, porque la capacidad de soporte es inferior al mínimo requerido en las especificaciones técnicas para la construcción de carretera; como material de sub base y relleno puede ser utilizado, porque presentan características adecuadas.

CUADRO N° 18: Resultados y especificaciones de la cantera huayllani.

ENSAYO	CANTERA "HUAYLLANI"		
	Resultados	Especificación	Observación
Granulometría	-.-	Huso	-.-
Limite Liquido (%)	NP	35 máx.	Cumple
Índice Plástico (%)	NP	4 máx.	Cumple
Abrasión (%)	29.5	40 máx.	Cumple
CBR (%)	52.0	80 mín.	No Cumple
Impurezas Orgánicas	Aceptable	-.-	-.-

CANTERA RIO MAÑAZO Km. 40+260 L.D.

De los resultados mostrados en el cuadro N° 19, podemos apreciar que esta cantera no puede ser utilizada como material de base granular, porque la capacidad de soporte es inferior al mínimo requerido; de igual manera como material de sub base y relleno puede ser utilizado por presentar buenas características físico-mecánicas.

CUADRO N° 19: Resultados y especificaciones de la cantera rio mañazo.

ENSAYO	CANTERA "RIO MAÑAZO" L.D.		
	Resultados	Especificación	Observación
Granulometría	-.-	Huso	-.-
Limite Liquido (%)	NP	35 máx.	Cumple
Índice Plástico (%)	NP	4 máx.	Cumple
Abrasión (%)	25.5	40 máx.	Cumple
Durabilidad (%)	-.-	18 máx.	-.-
CBR (%)	76.0	80 mín.	No Cumple
Equivalente de Arena	48.0	35 mín.	Cumple
Impurezas Orgánicas	Aceptable	-.-	-.-
Chatas y Alargadas (%)	11.7	15 máx.	Cumple
Caras de Fractura (%)	82.1 / 53.2	80 / 50	Cumple

CANTERA RIO JATUNMAYO Km. 41+920 L.I.

De los resultados mostrados en el cuadro N° 20, podemos apreciar que esta cantera si puede ser utilizado como material de sub base y base granular, ya que las características de estos materiales cumplen los requerimientos de las especificaciones técnicas para la construcción de carreteras; de igual manera como material de relleno o mejoramientos, puede ser utilizada por las características que presenta y su plasticidad nula.

CUADRO N° 20: Resultados y especificaciones de la cantera jatunmayo.

ENSAYO	CANTERA "RIO JATUNMAYO" L.I.		
	Resultados	Especificación	Observación
Granulometría	.-	Huso	.-
Limite Liquido (%)	NP	35 máx.	Cumple
Índice Plástico (%)	NP	4 máx.	Cumple
Abrasión (%)	24.2	40 máx.	Cumple
CBR (%)	88.0	80 mín.	Cumple
Equivalente de Arena	50.0	35 mín.	Cumple
Impurezas Orgánicas	Aceptable	.-	.-
Chatas y Alargadas (%)	9.8	15 máx.	Cumple
Caras de Fractura (%)	83.0 / 53.1	80 / 50	Cumple

CANTERA Km. 46+400 L.D.

De los resultados mostrados en el cuadro N° 21, podemos apreciar que esta cantera no puede ser utilizado como material de sub base y base granular, ya que las características físicas de este material no son favorable por el alto contenido de mezclas de limos y arcillas; como material de relleno o mejoramientos puede ser utilizada por las características que presenta y la presencia de material granular.

CUADRO N° 21: Resultados y especificaciones de la cantera Km. 46+400.

ENSAYO	CANTERA "Km. 46+400" L.D.		
	Resultados	Especificación	Observación
Granulometría	.-	Huso	.-
Limite Liquido (%)	23.9	35 máx.	Cumple
Índice Plástico (%)	1.6	4 máx.	Cumple
Abrasión (%)	.-	40 máx.	.-

CANTERA RIO CABANILLAS Km. 286+000 L.I.

De los resultados mostrados en el cuadro N° 22, podemos apreciar que esta cantera no puede ser utilizada como material de base granular, porque la

capacidad de soporte es inferior al mínimo requerido; como material de sub base y relleno puede ser utilizada por presentar buenas características físico-mecánicas.

CUADRO N° 22: Resultados y especificaciones de la cantera rio cabanillas.

ENSAYO	CANTERA "RIO CABANILLAS"		
	Resultados	Especificación	Observación
Granulometría	.-	Huso	.-
Limite Líquido (%)	NP	35 máx.	Cumple
Índice Plástico (%)	NP	4 máx.	Cumple
Abrasión (%)	.-	40 máx.	.-
Durabilidad (%)	.-	18 máx.	.-
CBR (%)	75.3	80 mín.	No Cumple
Equivalente de Arena	.-	35 mín.	Cumple
Impurezas Orgánicas	.-	.-	.-
Chatas y Alargadas (%)	.-	15 máx.	.-
Caras de Fractura (%)	.-/.-	80 / 50	.-

CANTERA RIO PAXA Km. 20+740 L.I.

Los resultados mostrados en el cuadro N° 23, determinan que esta cantera no puede ser utilizada como material de base granular, porque la capacidad de soporte es inferior al mínimo requerido en las especificaciones técnicas para la construcción de carreteras; como material de sub base y relleno puede ser utilizada por cumplir con los requerimientos requeridos en las especificaciones técnicas.

CUADRO N° 23: Resultados y especificaciones de la cantera Km. 20+740.

ENSAYO	CANTERA "RIO PAXA"		
	Resultados	Especificación	Observación
Granulometría	.-	Huso	.-
Limite Líquido (%)	NP	35 máx.	Cumple
Índice Plástico (%)	NP	4 máx.	Cumple
Abrasión (%)	26.1	40 máx.	Cumple
Durabilidad (%)	.-	18 máx.	.-
CBR (%)	75.0	80 mín.	No Cumple
Equivalente de Arena	53.0	35 mín.	Cumple
Impurezas Orgánicas	Aceptable	.-	.-
Chatas y Alargadas (%)	8.8	15 máx.	Cumple
Caras de Fractura (%)	84.3 / 56.7	80 / 50	Cumple

CANTERA CODURIRI Km. 20+740 L.I.

Los resultados obtenidos mostrados en el cuadro N° 24, determinan que esta cantera puede ser utilizada como material de sub base y base granular, ya que las características de estos materiales cumplen los requerimientos de las especificaciones técnicas para la construcción de carreteras.

CUADRO N° 24: Resultados y especificaciones de la cantera conduriri.

ENSAYO	CANTERA "CONDURIRI"		
	Resultados	Especificación	Observación
Granulometría	-.-	Huso	-.-
Limite Liquido (%)	18.9	35 máx.	Cumple
Índice Plástico (%)	1.0	4 máx.	Cumple
Abrasión (%)	26.9	40 máx.	Cumple
Durabilidad (%)	-.-	18 máx.	-.-
CBR (%)	100.1	80 mín.	Cumple
Equivalente de Arena	51.0	35 mín.	Cumple
Impurezas Orgánicas	Aceptable	-.-	-.-
Chatas y Alargadas (%)	10.6	15 máx.	Cumple
Caras de Fractura (%)	87.2 / 77.0	80 / 50	Cumple

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 limite liquido 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.

RECOMENDACIONES

Del estudio de canteras se recomienda realizar algunas mezclas para tener mejores resultados de acuerdo a las normas técnicas.

La buena calidad y permanencia de una obra depende del Control permanente y oportuno de los parámetros de calidad de los materiales antes y durante la ejecución de los proyectos. Por lo tanto, deberán aplicarse en forma estricta y adecuada las técnicas y procedimientos utilizados en Ingeniería.

BIBLIOGRAFIA

1. **ALVA, H. J. E. (1996)** "Terzaghi y la Mecánica de Suelos" Editorial Universidad Nacional de Ingeniería: Lima - Perú.
2. **AYALA, C. F. J. (1992)** "Manual de Ingeniería Geológica" Editorial Instituto Geo minero: Madrid - España.
3. **BAÑON, B. L. (1998).** "Manual de Carreteras de Construcción y Mantenimiento" Segunda Edición: Madrid - España.
4. **BOWLES, J. E. (1978).** "Manual de Laboratorio de Suelos". Ediciones Lerner: México.
5. **BOWLES, J. E. (1982).** "Propiedades Geofísicas de los Suelos". Ediciones Lerner: México.
6. **BOWLES, J. E. (1982).** "Manual de Laboratorio de Mecánica de Suelos". Editorial Mc Graw - Hill, Latinoamericana: Bogotá - Colombia.
7. **CRESCO, V. C. (1990).** "Mecánica de Suelos y Cimentaciones". Editorial Limusa Noriega: México.
8. **DAS, B. M. (2001).** "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica". Editorial Thomson Learning: México.
9. **DAS, B. M. (1984).** "Principios de Ingeniería de Cimentaciones". Editorial Thomson Learning: México.
10. **DAS, B. M. (2012).** "Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones". Editorial Cengage Learning Editores: México D.F.
11. **DAVILA, B. J. (2001)** "Diccionario Geológico". Editorial Ingemmet: Lima - Perú.
12. **DELGADO, V. (1996).** "Ingeniería de Cimentaciones". Editorial Alfa Omega: México.
13. **GONZALES, DE V. L. (2002).** "Ingeniería Geológica". Editorial Pearson Educación: Madrid - España.
14. **HOFFMAN, M. S. DEL AGUILA, P. B. (1985)** "Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en la Interpretación de Curvas de

- Deflexión (ensayos no destructivos)” Editorial Universidad Nacional de Ingeniería: Lima - Perú.
15. **JIMENEZ, S. J. A. (1951).** “Mecánica de Suelos y sus Aplicaciones a la Ingeniería”. Editorial Dossat: Madrid - España
 16. **JUAREZ, B. E. RICO, R. A. (1996).** “Mecánica de Suelos Tomo I Fundamentos de la Mecánica de Suelos”. Editorial Limusa Noriega Editores: México.
 17. **JUAREZ, B. E. RICO, R. A. (2004).** “Mecánica de Suelos Tomo II, Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos”. Editorial Limusa Noriega Editores: México.
 18. **KRYNINE, P. D. JUDD, W. R. (1972).** “Principios de la Geología y la Geotecnia para Ingenieros”. Ediciones Omega: Barcelona - España.
 19. **LAMBE, T. W. WHITMAN. V. R. (1997).** “Mecánica de Suelos”. Editorial Limusa: Mexico.
 20. **MARTINES, V. A. J. (1990).** “Geotecnia para Ingenieros”. Editorial UNI: Lima - Perú.
 21. **MINAYA, G. S. ORDOÑEZ, H. A. (2001)** “Manual de Laboratorio de Ensayos para Pavimentos”. Ediciones Universidad Nacional de Ingeniería: Lima – Perú.
 22. **MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. (MTC-2000)** “Manual de Ensayo de Materiales EM-2000”. Editorial MTC: Lima - Perú.
 23. **MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. (MTC-2000)** “Manual de Especificaciones Generales de Carreteras EG-2000”. Editorial MTC: Lima - Perú.
 24. **MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. (MTC-2008)** “Manual de Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Transito”. Editorial MTC: Lima - Perú
 25. **PALACIOS, O. M. DE LA CRUZ, W. J. S. KLINCK, B. A. (INGEMMET). (1993).** “Proyecto Integrado del Sur”. Boletín N° 42. Editorial INGEMMET: Lima - Perú
 26. **RIVERA, M. H. (2001)** “Geología General”. Editorial INGEMMET, Primera Edición: Lima - Perú.

27. **RUIZ, V. GONSALEZ, H. S. (2002).** “Geología Aplicada a la Ingeniería Civil”. Editorial Limusa: México.
28. **TERZAGHI, K. PECK, B. R. (1978).** “Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica”. Editorial El Ateneo S.A: Madrid - España.
29. **TRONCOSO, J. H. (1997).** “Fundamentos de Ingeniería Geotécnica Antisísmica”. Ediciones Universidad Católica de Chile: Santiago - Chile.
30. **UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO. (2004).** “Manual para Elaborar Proyectos de Tesis en Pregrado”. Editorial UNA: Puno - Perú.
31. **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA. (1975).** “Manual de Laboratorio de Suelos”. Editorial UNI: Lima - Perú.
32. **VALLE, R. R. (1997).** “Carreteras, Calles y Autopistas”. Editorial El Ateneo: Buenos Aires - Argentina.

ANEXOS

ANEXO I

PLANOS

PLANO GEOLOGICO LOCAL

PLANO GEOLOGICO LOCAL

LAMINA PGEO – 01: PLANO GEOLOGICO LOCAL

PLANOS GEOTECNICOS

PLANOS GEOTECNICOS

- LAMINA PG – 01:** PLANO GEOTECNICO DE LA CARRETERA DESDE Km 00+000 al Km 11+000
- LAMINA PG – 02:** PLANO GEOTECNICO DE LA CARRETERA DESDE Km 11+000 al Km 24+000
- LAMINA PG – 03:** PLANO GEOTECNICO DE LA CARRETERA DESDE Km 24+000 al Km 34+000
- LAMINA PG – 04:** PLANO GEOTECNICO DE LA CARRETERA DESDE Km 34+000 al Km 41+000
- LAMINA PG – 05:** PLANO GEOTECNICO DE LA CARRETERA DESDE Km 41+000 al Km 47+000
- LAMINA PG – 06:** PLANO GEOTECNICO DE LA CARRETERA DESDE Km 47+000 al Km 53+000
- LAMINA PG – 07:** PLANO GEOTECNICO DE LA CARRETERA DESDE Km 53+000 al Km 56+108.59

ANEXO II
ENSAYOS EN PLATAFORMA EXISTENTE (TERRENO DE
FUNDACION)