



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera,
Metalúrgica y Geográfica
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Análisis geotécnico para la estabilidad de taludes del sector av. Ferrocarril cruce con el río Anya, San Pedro de Saño, Huancayo, región Junín

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo

AUTOR

Dajhanna Sofía D'Jesús GRADOS ALVARADO

ASESOR

Dr. Ciro Sergio BEDIA GUILLEN

Lima, Perú

2025



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Grados, D. (2025). *Análisis geotécnico para la estabilidad de taludes del sector av. Ferrocarril cruce con el río Anya, San Pedro de Saño, Huancayo, región Junín*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Dajhanna Sofia D' Jesús Grados Alvarado
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70131744
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0007-3784-1582
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Ciro Sergio Bedia Guillén.
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06130412
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-9990-2722
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Rosendo Olimpio Ángeles Girón
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08490597
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Jorge Luis Capuñay Sosa
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08427959
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Rosa Julia Medina Sandoval.
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06132417

Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.1.14. Geología Aplicada a la Ingeniería
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Junín Provincia: Huancayo Distrito: San Pedro de Saño Latitud: -11.9649 Longitud: -75.2673
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2024-2025
URL de disciplinas OCDE	Geotecnia https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.02



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO

En el salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, el lunes 13 de octubre del 2025, siendo las 5:00 pm, en presencia de los señores docentes designados como miembros de Jurado Calificador:

Ing. Rosendo Olimpio Ángeles Girón

(Presidente de Jurado)

Msc. Jorge Luis Capuñay Sosa

(Miembro de Jurado)

Ing. Rosa Julia Medina Sandoval

(Miembro de Jurado)

Reunidos para el acto académico público de colación de la Tesis de la Bach. **DAJHANNA SOFÍA D'JESÚS GRADOS ALVARADO** quien sustentará la Tesis titulada: **"ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL SECTOR AV. FERROCARRIL CRUCE CON EL RÍO ANYA, SAN PEDRO DE SAÑO, HUANCAYO, REGIÓN JUNÍN"** su asesor el docente **DR. CIRO SERGIO BEDIA GUILLEN**, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Geólogo.

Los miembros del Jurado, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas:

A SATISFACCIÓN DE LOS JURADOS

El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue:

APROBADO CON LA NOTA 15 (QUINCE)

Habiendo sido aprobada la sustentación de Tesis por el Jurado Calificador, el presidente recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, proponga se le otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO** a la Bach. **DAJHANNA SOFÍA D'JESÚS GRADOS ALVARADO**.

Siendo las 18:10 horas se dio por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (05) actas originales de la Sustentación de la Tesis.

Lima, 13 de octubre de 2025


ING. ROSENDO OLIMPIO ÁNGELES GIRÓN
PRESIDENTE DE JURADO


ING. JORGE LUIS CAPUÑAY SOSA
MIEMBRO DE JURADO


ING. ROSA JULIA MEDINA SANDOVAL
MIEMBRO DE JURADO


DR. CIRO SERGIO BEDIA GUILLEN
MIEMBRO ASESOR



Anexo 1

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **CIRO SERGIO BEDIA GUILLEN** en mi condición de asesor acreditado con el Dictamen de la EP N° 000846-2025-D-FIGMMG de la tesis, cuyo título es “**ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL SECTOR AV. FERROCARRIL CRUCE CON EL RÍO ANYA, SAN PEDRO DE SAÑO, HUANCAYO, REGIÓN JUNÍN**”, presentada por la bachiller

DAJHANNA SOFÍA D´JESÚS, GRADOS ALVARADO para optar el título en **INGENIERO GEÓLOGO** ,

CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 9% de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título INGENIERO GEÓLOGO

Lima, 29 de setiembre de 2025

Firma del Asesor

Nombres y Apellidos del asesor: **CIRO SERGIO BEDIA GUILLEN**

DNI: 06130412

* Según corresponda: bachiller, magíster, doctor; título profesional o título de segunda especialidad

La vigencia del presente certificado corresponde a un período de noventa (90) días desde la fecha de su emisión; siempre que no haya observaciones en el texto durante el proceso de revisión por el jurado informante o surja alguna contingencia.

DEDICATORIA

A Dios, por iluminar mi camino con sabiduría, darme fortaleza en cada reto y permitir que cada experiencia sea un aprendizaje que moldea mi vida.

A mi padre, Roberto Grados, por su apoyo constante a lo largo de mi etapa universitaria, y por su exigencia firme que forjó en mí los valores y la perseverancia que hoy me definen.

A mi madre, Yolanda Alvarado, por su apoyo incondicional en cada día de mi vida, por su paciencia infinita, por estar siempre a mi lado con palabras de aliento, y por recordarme que nunca estoy sola.

A mi esposo, Marco Santivañez, por impulsarme a seguir adelante, por confiar en mí en los momentos más difíciles y por ayudarme a ver siempre lo mejor de mí misma.

Y a mi hija, Cristina Santivañez, por ser mi motor, mi inspiración y mi mayor motivo para superarme.
Porque deseo ser para ella no solo una madre, sino también un ejemplo de esfuerzo, lucha y logro profesional.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser mi guía, por darme el aliento de vida, salud y fuerza para no rendirme, y por cuidar de mí y de mi familia en cada paso de este camino. En los momentos de cansancio y dudas, sentí su presencia dándome paz y esperanza.

A mi madre, Yolanda Alvarado, mi mayor ejemplo de amor y fortaleza, gracias por ser mi pilar cada día, por tu inmenso corazón, por tus palabras de aliento y tu paciencia infinita. Este logro también es tuyo.

A mi padre, Roberto Grados, por todo el apoyo brindado durante mi etapa universitaria. Siempre llevaré conmigo las enseñanzas y el impulso que me dio para iniciar este camino.

A mi hija, Cristina Santivañez, por ser mi motor, mi alegría y la luz que me impulsa a ser mejor cada día. Ella es el motivo más profundo por el que nunca dejé de avanzar, y por quien deseo ser siempre un ejemplo de esfuerzo y superación.

A mi esposo, Marco Santivañez, mi compañero de vida, gracias por estar conmigo en cada paso de este camino. Por ser el refugio donde encontré calma en medio del caos, por levantarme cuando sentí que no podía más, por recordarme todo lo que valgo, incluso cuando yo lo olvidaba. Gracias por ser el sostén silencioso en mis noches de desvelo, por creer en mis sueños y hacerlos también tuyos. Este logro no habría sido posible sin ti.

A mi suegro, Luis Santivañez, por estar siempre pendiente de mi crecimiento profesional y personal. Gracias por insistirme una y otra vez para no abandonar esta meta, por preocuparte, por tu fe en mí y por impulsarme con tanto cariño.

A mi familia querida, Fiorella Grados, Meredith Holgado y Joaquín Holgado, por su amor, compañía y apoyo constante. Gracias por estar conmigo en cada etapa de este proceso, por darme motivos para sonreír y por hacerme sentir abrazada incluso en los momentos más difíciles.

A mis amigas de siempre, Sonia Villacorta y Jhamila Melchor, por ser parte de mi vida desde hace tantos años. Gracias por su amistad sincera, por sus palabras de aliento, por celebrar mis avances y sostenerme en los momentos difíciles. Su apoyo ha sido fundamental para no rendirme y llegar hasta aquí.

A mi amigo y colega Jhonathan Huamaní, siempre dispuesto a compartir sus conocimientos con paciencia y generosidad. Su apoyo constante, tanto en lo técnico como en lo personal, ha sido invaluable y deja en mí, una huella que recordaré siempre.

Quiero expresar mi reconocimiento al Dr. Ciro Bedia, decano y docente de la UNMSM, asesor de esta investigación, por su valioso tiempo, por sus consejos sabios y certeros, y por alentarme siempre a seguir aprendiendo y compartiendo conocimiento. Su orientación fue clave para culminar este trabajo.

Al Consorcio Vial Huancayo, por facilitarme la información técnica necesaria para el desarrollo de esta investigación. Sin su colaboración, este estudio no hubiera sido posible.

A cada uno de ustedes, gracias por caminar conmigo, por creer en mí y por ser parte de este logro. Esta meta marca el comienzo de nuevos sueños. Porque todo lo que se alcanza con amor, esfuerzo y fe, permanece para siempre.

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	9
--------------------------------	----------

1. INTRODUCCIÓN	11
------------------------------	-----------

1.1	Generalidades.....	11
1.2	Planteamiento del problema.....	12
1.3	Formulación del problema.....	13
1.3.1	Problema general	13
1.3.2	Problemas específicos.....	14
1.4	Justificación del estudio	14
1.5	Objetivos del estudio	15
1.5.1	Objetivo principal	15
1.5.2	Objetivos específicos.....	15
1.6	Hipótesis y variables	15
1.6.1	Hipótesis general.....	15
1.6.2	Hipótesis específicas.....	16
1.6.3	Variables de estudio	16
1.6.3.1	Variable independiente	16
1.6.3.2	Variable dependiente.....	16

2. MARCO TEÓRICO	17
-------------------------------	-----------

2.1	Antecedentes	17
2.2	Bases teóricas.....	20
2.2.1	Mecánica de suelos aplicada a la estabilidad de taludes	20
2.2.2	Parámetros físicos.....	20
2.2.2.1	Plasticidad de suelos	20
2.2.2.2	Análisis granulométrico.....	21
2.2.2.3	Clasificación SUCS.....	21
2.2.2.4	Humedad natural (w)	22
2.2.2.5	Porosidad.....	22
2.2.2.6	Peso unitario (γ).....	23
2.2.3	Parámetros mecánicos	23
2.2.3.1	Resistencia al corte.....	23
2.2.3.2	Angulo de fricción interna	24
2.2.3.3	Cohesión (c).....	25
2.2.3.4	Fricción lateral:.....	25
2.2.3.5	Cargas estáticas y dinámicas:	25
2.2.4	Parámetros hidráulicos.....	25
2.2.4.1	Grado de saturación	25
2.2.4.2	Presión de poros.....	26
2.2.4.3	Permeabilidad.....	26
2.2.4.4	Nivel freático	27
2.2.5	Método de investigación.....	28
2.2.5.1	Calicatas	28
2.2.6	Ensayos <i>in situ</i>	28
2.2.6.1	Ensayos DPL	28
2.2.6.2	Ensayos de densidad natural – método del cono de arena	28
2.2.7	Definición de talud	29
2.2.8	Análisis de estabilidad de talud	29
2.2.8.1	Métodos determinísticos	29
2.2.9	Factor de seguridad del talud	30
2.2.10	Principales métodos de equilibrio límite.....	32
2.2.10.1	Método de cálculo de taludes por dovelas	32
2.2.10.2	Método de Bishop.....	33
2.2.10.3	Método de Spencer.....	34
2.2.10.4	Método ordinario o de Fellenius.....	35

2.2.11	Factores que influyen en la inestabilidad de taludes	35
2.2.11.1	Erosión.....	35
2.2.11.2	Características geológicas.....	36
2.2.11.3	Sismicidad	36
2.2.11.4	El Clima y la hidrología.....	36
2.2.11.5	Cargas extremas	37
2.2.11.6	Excavaciones y/o rellenos.....	37
2.2.12	Medidas de estabilización de taludes	38
2.2.12.1	Muros de contención y muros mecánicamente estabilizados (MSE) ..	38
2.2.12.2	Drenaje superficial y subterráneo.	38
2.2.12.3	Revegetación y control de erosión superficial.....	38
2.2.12.4	Anclajes y soil nailing.....	38
2.2.12.5	Sistemas combinados.....	39
3.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	39
3.1	Tipo y método de investigación.....	39
3.2	Descripción del ámbito de la investigación.....	40
3.3	Población	40
3.4	Tamaño de la muestra	40
3.5	Selección de la muestra.....	41
3.6	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	41
4.	INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO	42
4.1	Ubicación y accesibilidad	42
4.2	Clima e hidrología	44
5.	MARCO GEOLÓGICO	45
5.1	Geología regional.....	45
5.2	Geología local	48
5.2.1	Estratigrafía	48
5.3	Geomorfología	50
5.4	Geología estructural.....	51
5.5	Sismicidad.....	52
5.6	Geodinámica externa	54
5.7	Análisis meteorológico e hidrológico local.....	54
5.7.1	Serie— resumen anual y máxima diaria por año (2012–2023).....	55
5.7.2	Ajuste Gumbel (máximas diarias anuales)	55
5.7.3	Curvas IDF aproximadas	57
6.	INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS DE CAMPO	58
6.1	Generalidades.....	58
6.2	Supervisión de calicatas.....	58
6.3	Ensayos <i>in situ</i> de campo	60
6.3.1	Ensayos de densidad natural	60
6.3.2	Ensayos DPL.....	61
7.	ENSAYOS DE LABORATORIO	64
7.1	Generalidades.....	64
7.2	Ensayos de propiedades físicas.....	64
7.3	Ensayo de corte directo.....	66
8.	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA	66
8.1	Descripción geotécnica del terraplén existente	66
8.2	Unidades geotécnicas.....	67
8.3	Nivel de fundación.....	67
8.3.1	Determinación de Df (nivel de fundación):.....	68

8.4	Sección de análisis.....	68
8.5	Propiedades de resistencia de los materiales	69
8.5.1	Memoria descriptiva del parámetro de resistencia al corte – Material CL.....	70
8.5.1.1	Datos de partida (muestras CL usadas)	70
8.5.1.2	Paso 1 — Estadística descriptiva.....	70
8.5.1.3	Paso 2 — Valor característico (percentil 5%)	71
8.5.1.4	Paso 3 — Aplicación de factores parciales / reducción para obtener valores de diseño.....	72
8.5.1.5	Paso 4 — Validación cruzada con ensayos DPL (interpretación y correlaciones)	72
8.5.1.5.1	Estimación NSPT equivalente.....	73
8.5.1.6	Paso 5 — Análisis comparativo y sensibilidad.....	74
8.6	Nivel de agua	75
8.7	Lluvia e influencia hidrológica	75
8.8	Coeficiente sísmico	76
8.9	Metodología de análisis.....	77
9.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD	78
9.1	Escenarios de análisis.....	78
9.1.1	Escenario A – Condición actual (vía férrea ocasional)	78
9.1.2	Escenario B – Condición futura (carga proyectada)	79
9.1.3	Análisis e interpretación.....	81
9.2	Propuesta de solución: muro de contención tipo Terramesh	82
9.2.1	Justificación	82
9.2.2	Criterios generales de diseño	83
9.2.3	Objetivo de la solución.....	85
9.3	Evaluación post-muro (simulación en <i>Slidev6.0</i>).....	86
9.3.1	Escenario C – Condición futura (carga proyectada con muro Terramesh)	86
9.3.2	Escenario D – Condición futura (carga proyectada con muro Terramesh) – Análisis Pseudoestático.....	89
9.3.3	Análisis e interpretación.....	91
10.	CONCLUSIONES	94
11.	RECOMENDACIONES	97
12.	REFERENCIAS	99
13.	ANEXOS	103

Tablas

Tabla 2.1	Factor de seguridad vs Estado del talud	31
Tabla 2.2	Factor de seguridad global.....	31
Tabla 5.1	Factores de zona	52
Tabla 5.2	Serie anual y máxima diaria	55
Tabla 5.3	Valores de lluvia máxima diaria.....	56
Tabla 5.4	Intensidad – Duración – Frecuencia.....	57
Tabla 6.1	Ubicación de calicatas	59
Tabla 6.2	Resumen de ensayos de densidad de campo – Método del cono de arena.....	61
Tabla 6.3	Resumen de ensayos de penetración dinámica ligera (DPL).	62

Tabla 7.1 Resumen de ensayos de clasificación de suelos.....	65
Tabla 7.2 Resumen de ensayos de corte directo.....	66
Tabla 8.2 Resumen de muestras de arcilla de baja plasticidad	70
Tabla 8.3 Valores de ensayos DPL.....	73
Tabla 8.4 Análisis comparativo de escenarios	74
Tabla 8.5 Parámetros de diseño adoptados	75
Tabla 9.1 Criterios generales de diseño del muro Terramesh	85
Tabla 9.2 Cuadro comparativo de Escenarios vs Estado de Estabilidad	93

Figuras

Figura 1. Envolvente del Criterio de rotura lineal de Mohr-Coulomb.....	24
Figura 2. Métodos de cálculo de estabilidad de taludes.	30
Figura 3. División de la masa deslizando en dovelas.	33
Figura 4. Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	43
Figura 5. Mapa de ubicación de los distritos de Huancayo.....	44
Figura 6. Geología regional del área de estudio.	48
Figura 7. Vista panorámica del área de estudio.....	49
Figura 8. Geología local del área de estudio.....	50
Figura 9. Representación de zonas sísmicas	53
Figura 10. Ubicación de calicatas.	60
Figura 11. Ubicación de ensayos DPL.....	63
Figura 12. Nivel de fundación.	68
Figura 13. Análisis de estabilidad del talud – Escenario A.....	79
Figura 14. Análisis de estabilidad del talud – Escenario B.....	81
Figura 15. Análisis de estabilidad del talud – Escenario C.....	88
Figura 16. Análisis de estabilidad del talud – Escenario C – Saturado	89
Figura 17. Análisis de estabilidad del talud – Escenario D.....	91
Figura 18. Análisis de estabilidad del talud – Escenario D - Saturado.....	91

Anexos

Anexo A - Registro de campo

Anexo A.1 - Registro de calicatas

Anexo A.2 - Registro de ensayos de densidad de campo por el método de cono de arena

Anexo A.3 – Registro de ensayos DPL

Anexo B - Panel fotográfico

Anexo C - Resultados de ensayos de laboratorio

Anexo D - Mapa geológico de la zona de estudio

Anexo E - Memoria de cálculo del muro Terramesh

Anexo F – Análisis de estabilidad de taludes

RESUMEN EJECUTIVO

La inestabilidad de taludes es una condición recurrente en zonas montañosas del Perú, en la región de Junín, la geología y topografía incrementan la susceptibilidad a deslizamientos. En este contexto, la investigación tuvo como objetivo evaluar la estabilidad del terraplén en el sector Av. Ferrocarril – río Anya, en San Pedro de Saño, Huancayo, considerando los efectos de cargas adicionales proyectadas. Se aplicó un enfoque metodológico integral, que incluyó la recopilación de datos geológicos y geotécnicos en campo, ensayos de laboratorio e *in situ* y modelamiento bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas.

El área de estudio se ubica en el cuadrángulo geológico de Jauja (Hoja 24m, INGEMMET, 2021) sobre depósitos cuaternarios aluviales y fluviales de la Formación Concepción. Se identificaron dos unidades geotécnicas: la superior (I), constituida por gravas arcillosas (GC) con ángulo de fricción de 32° y espesor de 1 m; y la inferior (II), compuesta por arcillas de baja plasticidad (CL) con ángulo de fricción de 26° y espesor de 2 m.

El nivel de fundación ($D_f = 0.30$ m) se estableció luego del retiro de la capa orgánica, apoyando la estructura sobre el estrato CL competente. Se consideró un nivel freático conservador ubicado a 0.30 m por debajo del pie del talud.

Se determinó que el talud actual presenta un FS de 1.54 (estable), mientras que con el ensanchamiento del terraplén y la carga vehicular proyectada, el FS se reduce a 0.69 indicando inestabilidad. La construcción de un muro tipo Terramesh en la base del terraplén modificado permite recuperar la estabilidad con un FS de 1.62 en condición estática y 1.28 en condición sísmica. La caracterización geotécnica detallada, la consideración de parámetros ajustados al comportamiento real del terreno y la implementación de soluciones de ingeniería son necesarias para mejorar la seguridad vial y mitigar riesgos geológicos.

Palabras clave: Estabilidad de taludes, análisis geotécnico, talud de relleno, carga vehicular, muro Terramesh, riesgos geotécnicos, geología aplicada.

ABSTRACT

Slope instability is a recurrent condition in the mountainous regions of Peru. In the Junín region, geological and topographic factors increase susceptibility to landslides. In this context, this study aimed to evaluate the stability of the embankment located in the Av. Ferrocarril – Río Anya sector, in San Pedro de Saño (Huancayo), considering the effects of projected additional vehicular loads. An integrated methodological approach was applied, including the collection of geological and geotechnical field data, laboratory and in-situ testing, and numerical modeling under static and pseudo-static conditions.

The study area lies within the Jauja geological quadrangle (Sheet 24m, INGEMMET, 2021), over Quaternary alluvial and fluvial deposits of the Concepción Formation. Two main geotechnical units were identified: an upper layer (I) of clayey gravel (GC) with a friction angle of 32° and an average thickness of 1 m, and a lower layer (II) of low-plasticity clay (CL) with a friction angle of 26° and thickness of 2 m. The foundation level ($D_f = 0.30$ m) was defined after removing the organic surface layer, resting the structure on the competent CL stratum. A conservative groundwater level was assumed at 0.30 m below the toe of the slope.

The analysis showed that the existing embankment has a factor of safety (FS) of 1.54, indicating stability, while the widened embankment under projected vehicular loading presents an FS of 0.69, indicating instability. The construction of a Terramesh reinforced soil wall at the toe of the modified embankment restores stability, achieving $FS = 1.62$ under static conditions and $FS = 1.28$ under seismic conditions. The study concludes that detailed geotechnical characterization, adjusted design parameters, and the implementation of engineered reinforcement solutions are essential to improve road safety and mitigate geotechnical risks in mountainous areas.

Keywords: Slope stability, geotechnical analysis, fill slope, vehicular load, Terramesh wall, geotechnical risks, applied geology.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

La inestabilidad de taludes es uno de los asuntos más significativos en las áreas montañosas del Perú, debido a la combinación de factores condicionantes y desencadenantes, como la geología compleja, la topografía abrupta y las condiciones climáticas variables que contribuyen a los procesos de erosión, caída de roca, derrumbes, deslizamiento, entre otros fenómenos de geodinámica. En la región Junín, ubicada en la sierra central, se han registrado numerosos casos de taludes inestables que representan riesgos tanto para la infraestructura vial como para las poblaciones cercanas. La presencia de suelos heterogéneos, rellenos antrópicos y la constante intervención del hombre incrementan la probabilidad de mecanismos de falla, especialmente en sectores donde se proyectan nuevas vías de transporte.

El presente trabajo de investigación se desarrolla en un sector de la Av. Ferrocarril (tramo Av. Circunvalación – Cruce con el río Anya), distrito de San Pedro de Saño, provincia de Huancayo, región Junín. En esta zona se emplaza un talud conformado principalmente por materiales de relleno, que actualmente soporta el tránsito del ferrocarril de manera ocasional en la parte superior. Sin embargo, ante la futura ampliación de la plataforma y la habilitación de una vía vehicular, se prevé un incremento significativo de la carga superficial y de la frecuencia de tránsito, estas condiciones hacen necesaria la evaluación geotécnica del talud existente, que constituye el área de fundación de la ampliación del terraplén, a fin de determinar su comportamiento ante las nuevas solicitaciones y proponer medidas correctivas que mejoren la seguridad tanto de la estructura como de las personas que la utilizan.

Para alcanzar este objetivo, se llevaron a cabo investigaciones geotécnicas de campo y laboratorio, así como un mapeo geológico-geotécnico del sector. Las investigaciones de campo comprendieron la excavación de calicatas exploratorias, ensayos de densidad in situ mediante

el método del cono de arena, y pruebas de penetración dinámica ligera (DPL) para evaluar la compactación relativa del suelo. Complementariamente, en el laboratorio se realizaron análisis granulométricos, determinación de límites de Atterberg, humedad natural, densidad de campo y ensayos de corte directo, con el propósito de obtener las propiedades físicas y mecánicas de los materiales.

Los resultados de estas investigaciones permitieron caracterizar las unidades que conforman el talud —principalmente gravas arcillosas (GC) en el nivel superior y arcillas de baja plasticidad (CL) en la base— y proporcionar los parámetros geotécnicos necesarios en el desarrollo del modelo de estabilidad.

El análisis fue ejecutado mediante el software *Slidev6.0* (Rocscience), evaluando distintos escenarios de carga superficial: la condición actual, asociada al tránsito ocasional del ferrocarril, y la condición proyectada, vinculada al paso de vehículos sobre el terraplén modificado.

Finalmente, se plantea como medida de estabilización la construcción de un muro de suelo reforzado tipo Terramesh, cuya incorporación permite recuperar factores de seguridad adecuados frente al incremento de cargas. Este trabajo no solo aporta un análisis aplicado a un caso puntual, sino que también resalta la importancia de la geología aplicada y la caracterización geotécnica en la prevención de riesgos y en el diseño de soluciones sostenibles para la infraestructura vial en zonas andinas.

1.2 Planteamiento del problema

En muchas ciudades del mundo, la inestabilidad de taludes representa una problemática crítica cuya falla conlleva a la obstrucción de vías terrestres, así como a considerables pérdidas materiales y humanas. Esta inestabilidad ocurre cuando los esfuerzos actuantes sobre el talud superan la resistencia de los materiales que lo conforman, situación que puede originarse por

múltiples factores como la gravedad, la presión de poros, la sismicidad, la actividad tectónica, las cargas, las vibraciones y la intervención humana.

En el sector de la Av. Ferrocarril, el talud de relleno existente actualmente soporta el tránsito ocasional del ferrocarril. Sin embargo, se ha planificado su ampliación mediante un terraplén de relleno, con el fin de habilitar una vía alternativa para el tránsito vehicular y aliviar la saturación de la Carretera Central. Esta modificación implica un incremento significativo de carga y frecuencia de solicitaciones sobre el talud, lo que podría comprometer su estabilidad si no se adoptan medidas preventivas.

Por ello, se considera necesario realizar un análisis geotécnico de la estabilidad física del talud en el área investigada considerando la condición actual del talud de relleno y la carga proyectada. Este análisis permitirá identificar las condiciones de peligro y vulnerabilidad asociados al nuevo uso previsto, y, con base en ello, proponer medidas de mitigación que mejoren la estabilidad del talud, reduciendo así las posibles pérdidas humanas y económicas mediante el diseño y modelamiento de una configuración más segura y estable para la futura vía de transporte.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema general

¿Cómo influye la carga vehicular proyectada sobre el terraplén modificado ubicado en el sector Av. Ferrocarril, cruce con el río Anya, en la estabilidad del talud de relleno existente y qué medidas de control geotécnico se pueden implementar para mejorar su estabilidad?

1.3.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es la condición actual de estabilidad del talud de relleno en el sector de estudio, considerando la carga existente por el tránsito del tren ocasional y las condiciones geológicas y topográficas?
- ¿Qué medidas de control de ingeniería geotécnica pueden implementarse para mitigar los efectos adversos de la carga vehicular proyectada sobre el terraplén modificado?

1.4 Justificación del estudio

La justificación del presente proyecto se basa en el peligro geológico que puede generarse debido al incremento de cargas dinámicas asociado a la habilitación de una vía vehicular sobre el terraplén modificado en el sector Av. Ferrocarril – cruce con el río Anya, en el distrito de San Pedro de Saño, Huancayo, región Junín, área que se caracteriza por presentar una geología cuaternaria. Esta zona se caracteriza por la presencia de depósitos cuaternarios, conformados por gravas y arcillas de comportamiento heterogéneo, que al integrarse en un relleno constituyen un material susceptible a inestabilidad si no se aplican medidas de control adecuadas.

En la actualidad, el talud existente soporta únicamente el tránsito ocasional del ferrocarril con un comportamiento estable; sin embargo, la ampliación de la plataforma y el tránsito vehicular continuo previsto sobre el nuevo relleno generarán mayores esfuerzos cortantes y variaciones de carga que pueden comprometer la seguridad de la obra y de sus usuarios. Por ello, resulta necesario desarrollar un análisis geotécnico de estabilidad que permita evaluar los escenarios actuales y proyectados, cuantificar el riesgo y diseñar medidas de mitigación, que mejoren la seguridad y funcionalidad de la vía.

Asimismo, la investigación tiene un valor académico, al realizar una correcta caracterización geotécnica para evaluar escenarios de carga actuales y proyectados apoyado en herramientas de modelamiento numérico, integrando criterios de geología aplicada a la

ingeniería. De esta manera, se aporta conocimiento que puede ser replicado en otros sectores con condiciones similares en la sierra central del Perú, contribuyendo a una gestión más eficiente del riesgo geotécnico.

Finalmente, la justificación también se sostiene en la dimensión social y económico, ya que la estabilidad del terraplén modificado asegura la protección de la vida de los usuarios, reduce posibles pérdidas materiales y garantiza la continuidad del transporte y las actividades productivas en la zona, contribuyendo al desarrollo sostenible de la región.

1.5 Objetivos del estudio

1.5.1 Objetivo principal

Realizar un análisis de la influencia de la carga vehicular proyectada sobre el terraplén modificado ubicado en el sector Av. Ferrocarril – cruce con el río Anya, en el distrito de San Pedro de Saño, y proponer medidas de mitigación que apoyen a la gestión de seguridad y funcionalidad de la vía.

1.5.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las condiciones geológicas, topográficas y geotécnicas actuales del talud de relleno en el área de estudio, considerando la carga existente.
- Proponer alternativas de mitigación geotécnica para mejorar la estabilidad del terraplén modificado y reducir el riesgo de deslizamientos mediante la implementación de medidas geotécnicas.

1.6 Hipótesis y variables

1.6.1 Hipótesis general

La carga vehicular proyectada sobre el terraplén modificado en el sector Av. Ferrocarril – cruce con el río Anya incrementará el riesgo de inestabilidad del terreno, el cual requiere

medidas estructurales a partir de un análisis geotécnico y la aplicación de medidas estructurales que permitan alcanzar factores de seguridad adecuados para la futura condición vehicular.

1.6.2 Hipótesis específicas

- El talud de relleno presenta un factor de seguridad superior al mínimo requerido, bajo las condiciones actuales debido a su geología y topografía.
- La implementación de soluciones geotécnicas de estabilización permitirá incrementar el factor de seguridad hasta valores aceptables, mejorando la estabilidad del terraplén modificado frente a la nueva condición de carga proyectada.

1.6.3 Variables de estudio

1.6.3.1 Variable independiente

Caracterización geotécnica del talud de relleno. – Consiste en los resultados obtenidos a partir de la exploración en campo (calicatas, ensayos de densidad in situ y DPL) y de los ensayos de laboratorio (granulometría, límites de Atterberg, humedad natural), para determinar las propiedades físicas y mecánicas del talud de relleno, compuesto principalmente por gravas (GC) en el estrato superior y arcillas de baja plasticidad (CL) en la base. La caracterización geotécnica constituye el insumo esencial para evaluar el comportamiento del talud frente a cargas adicionales.

1.6.3.2 Variable dependiente

Estabilidad del terraplén modificado y modelo de solución estructural. – Esta variable se expresa mediante la determinación del factor de seguridad (FS) en distintos escenarios de carga (actual ferroviaria y proyectada vehicular), calculado con el software *Slidev6.0*. Asimismo, se incluye la propuesta de estabilización con un muro de suelo reforzado tipo

Terramesh, cuyo objetivo es alcanzar un nivel de estabilidad aceptable para la infraestructura vial.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2015) elaboró el informe técnico sobre la estabilidad de taludes en carreteras de la Sierra Central, donde se estudiaron taludes de corte y relleno afectados por deslizamientos recurrentes. Se identificó que las fallas constantes en la infraestructura vial se debían principalmente a la ausencia de caracterizaciones geotécnicas detalladas, lo que limitaba un diseño adecuado de las estructuras de contención. El propósito fue analizar la estabilidad de los taludes y proponer soluciones específicas para cada tipo. Para ello, se aplicó el método de equilibrio límite considerando aspectos geológicos, geométricos y las cargas generadas por el tráfico vehicular. Los resultados indicaron que los taludes de corte requerían anclajes y sostenimiento de rocas, mientras que los taludes de relleno necesitaban refuerzos con suelos seleccionados y la construcción de muros de suelo reforzado. Finalmente, se concluyó que una adecuada caracterización geotécnica y el diseño específico son necesarias para mejorar la estabilidad de estos taludes.

En un estudio realizado por Rojas Poma (2016) en la ciudad de Cusco, se analizó la estabilidad de taludes de relleno en zonas urbanas con pendientes pronunciadas. El problema principal identificado fue la inestabilidad causada por depósitos antrópicos formados por suelos finos y una compactación inicial deficiente, agravados por la infiltración de agua durante temporadas de lluvia. El estudio tuvo como objetivo evaluar las causas de falla y proponer medidas de mitigación para reducir el riesgo de deslizamientos. Mediante la observación de campo y análisis de la influencia del agua y la compactación, se concluyó que la falta de drenaje

y la baja densidad del relleno eran los factores determinantes para la pérdida de estabilidad. Se recomendaron la implementación de sistemas de drenaje superficial y subterráneo, el uso de geomallas para mejorar la cohesión del suelo y la revegetación para disminuir la erosión superficial.

Huamán Cárdenas (2018) evaluó la estabilidad de taludes de relleno en proyectos viales ubicados en Ayacucho, donde se identificó que los rellenos mal compactados presentaban factores de seguridad menores a uno en condiciones de saturación, lo que representaba un riesgo importante para la integridad de las obras. El objetivo de su estudio fue analizar el comportamiento de estos taludes bajo cargas estáticas y condiciones de humedad variables. Se realizó una modelación numérica que consideró diferentes escenarios de saturación, usando parámetros obtenidos en laboratorio. Los resultados evidenciaron que los taludes presentaban inestabilidad significativa, principalmente debido a la compactación deficiente y heterogeneidad de los materiales empleados. Como solución, se recomendó el uso de muros mecánicamente estabilizados y la mejora de los procesos de compactación durante la construcción para asegurar la estabilidad a largo plazo.

En Huancayo, Cerna Gutiérrez (2019) desarrolló un estudio sobre la estabilidad de taludes de relleno en áreas urbanas en expansión, donde se identificó la recurrencia de fallas superficiales durante la temporada de lluvias. Estas fallas se asociaron a rellenos heterogéneos compuestos por gravas y arcillas, los cuales presentaban un manejo inadecuado del agua superficial. El objetivo fue evaluar los factores que provocaban estas fallas y plantear soluciones técnicas. A través de ensayos de laboratorio y observación de campo, se determinó que la infiltración de agua y la heterogeneidad del material favorecían la pérdida de resistencia y deformaciones progresivas. Como medida correctiva, se recomendó la instalación de sistemas

de drenaje eficientes y la construcción de muros tipo Terramesh, que permiten estabilizar la pendiente y controlar la erosión.

Pérez Velarde (2019) estudió la estabilidad de taludes de relleno en zonas de expansión urbana en Arequipa, donde se detectó que la recurrencia de deslizamientos superficiales se debía al uso de materiales heterogéneos y no controlados durante la construcción de rellenos. El objetivo fue evaluar el comportamiento de estos taludes ante condiciones de lluvia y tránsito ligero. Para ello, se realizaron ensayos de penetración estándar (SPT), límites de Atterberg y modelación de estabilidad, que evidenciaron factores de seguridad bajos cuando el suelo estaba saturado. Se concluyó que la falta de control en la selección y compactación de materiales incrementaba el riesgo de falla. Por ello, se recomendó la sustitución parcial de los materiales y la implementación de muros de suelo reforzado como estrategia para mejorar la estabilidad.

Flores Huamán (2020) abordó el problema de la estabilidad de taludes de relleno en la Carretera Central, específicamente en el tramo La Oroya – Huancayo, donde el tránsito vehicular pesado sobre materiales heterogéneos reducía la estabilidad de los taludes. El objetivo fue evaluar el impacto de las cargas dinámicas generadas por el tránsito pesado sobre estos taludes. A través de modelación numérica se analizaron diferentes escenarios considerando la variabilidad de los suelos, incluyendo arcillas y gravas sueltas. Los resultados demostraron que el incremento en las cargas vehiculares disminuía significativamente el factor de seguridad, aumentando el riesgo de falla. Por ello, se recomendó el uso de muros mecánicamente estabilizados y un control riguroso en la selección y compactación de los materiales de relleno para mitigar los efectos de las cargas dinámicas.

2.2 Bases teóricas

En el desarrollo del presente proyecto se utilizaron conceptos teóricos y conceptuales que permiten argumentar técnica y científicamente los resultados. A continuación, se exponen el marco teórico del proyecto.

2.2.1 Mecánica de suelos aplicada a la estabilidad de taludes

2.2.2 Parámetros físicos

Según Terzaghi (1943), la Mecánica de Suelos consiste en aplicar los principios de la Mecánica y la hidráulica a los desafíos ingenieriles relacionados con sedimentos y depósitos no consolidados de partículas sólidas, formados a partir de la descomposición química o la fragmentación mecánica de rocas, sin importar si contienen o no materia orgánica. Se centra en caracterizar el comportamiento físico y mecánico del suelo —en términos de resistencia, deformabilidad y permeabilidad— para diseñar estructuras seguras y funcionales. En el contexto de taludes, su aplicación permite evaluar la estabilidad, determinar factores de seguridad y proponer medidas de refuerzo.

2.2.2.1 Plasticidad de suelos

La plasticidad es la capacidad que tienen los suelos finos, especialmente aquellos con minerales arcillosos, de deformarse sin agrietarse y sin recuperar completamente su forma original después de la aplicación de una carga deformante. Esta propiedad está estrechamente relacionada con la cantidad de agua presente en el suelo, ya que los minerales arcillosos absorben agua y modifican el comportamiento del material, otorgándole un rango que va desde un estado sólido hasta uno líquido.

Para describir estas variaciones de estado, se emplean los límites de consistencia o límites de Atterberg (Casagrande, 1942), los cuales establecen las transformaciones entre los estados sólido, plástico y líquido. Estos límites incluyen el límite líquido, límite plástico y límite de contracción, y son fundamentales para clasificar suelos finos como limos y arcillas. La determinación de estos parámetros permite predecir el comportamiento mecánico, volumétrico y la estabilidad de los suelos en diferentes condiciones de humedad, lo cual es importante en el diseño geotécnico y la prevención de problemas como la expansividad, retracción o licuación (Craig, 2012; Das, 2011).

2.2.2.2 Análisis granulométrico

Este proceso, denominado estudio de la distribución de tamaños, posibilita establecer la cantidad de diferentes dimensiones de partículas en una muestra de suelo o agregado. La técnica empleada varía según la granulometría: se utiliza el tamizado para partículas superiores a 0.075 mm y el hidrómetro para aquellas menores a dicho tamaño. Su objetivo es cuantificar la cantidad de arenas, limos y arcillas que se encuentran en la muestra que es esencial para clasificar el suelo y evaluar sus características mecánicas y de permeabilidad. La curva granulométrica obtenida permite identificar suelos bien graduados, mal graduados o con predominancia de finos, y constituye una de las bases para la clasificación SUCS (Holtz, Kovacs & Sheahan, 2011).

2.2.2.3 Clasificación SUCS

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) es un método estandarizado que agrupa los suelos en función de su granulometría y sus límites de consistencia. Desarrollado inicialmente por Casagrande en 1942, este sistema distingue entre:

- Suelos gruesos (arenas y gravas): más del 50 % retenido en el tamiz N.º 200. Se subdividen en bien graduados (W), mal graduados (P) y con presencia de finos (M: limosos, C: arcillosos).
- Suelos finos (limos y arcillas): más del 50 % pasa el tamiz N.º 200. Se clasifican según su plasticidad en limos (M) o arcillas (C), y de acuerdo a su compresibilidad como de baja (L) o alta plasticidad (H).
- Suelos orgánicos y turbas (O, Pt): con alto contenido de materia orgánica, de baja resistencia y alta compresibilidad.

El SUCS es ampliamente utilizado en ingeniería geotécnica para la identificación y comparación de suelos en estudios de cimentación y estabilidad de taludes (ASTM D2487-17).

2.2.2.4 *Humedad natural (w)*

La humedad natural (w) se refiere al porcentaje que representa el peso del agua presente en una muestra de suelo en comparación con el peso de sus sólidos secos. Indica la cantidad de agua que hay en el suelo en el momento de la medición y afecta su consistencia, influyendo en características clave como la resistencia al corte, la compresibilidad y la permeabilidad. En taludes, valores elevados de humedad pueden indicar riesgo potencial de saturación y pérdida de estabilidad (Craig, 2012).

2.2.2.5 *Porosidad*

La porosidad (n) se refiere a la relación entre el volumen de espacios vacíos y el volumen total del suelo, presentada en forma de porcentaje. Este indicador refleja el nivel de compactación del material y tiene una conexión directa con su densidad, permeabilidad y capacidad de almacenamiento de agua. Un suelo con alta porosidad tiende a ser más

compresible y menos resistente, aumentando su susceptibilidad a la infiltración y a la pérdida de resistencia al corte bajo condiciones saturadas (Holtz, Kovacs & Sheahan, 2011).

2.2.2.6 *Peso unitario (γ)*

El peso por unidad de volumen del suelo (γ) es una característica física esencial que muestra la conexión entre el peso total del suelo (que abarca sólidos, agua y aire) y el volumen que ocupa, usualmente indicado en kN/m³. El valor de este peso por unidad varía según la composición del suelo, su nivel de compactación, así como su humedad y porosidad.

2.2.3 **Parámetros mecánicos**

2.2.3.1 *Resistencia al corte*

Se entiende por resistencia al corte del suelo la capacidad del material para enfrentar fuerzas que inducen su desplazamiento sobre un plano de falla. Esta propiedad se controla principalmente por la cohesión (c), vinculada a la atracción entre partículas, arcillas o procesos de cementación, y por el ángulo de fricción interna (ϕ), que refleja la fricción entre granos bajo carga. En términos prácticos, esta resistencia se expresa mediante la formulación de Mohr–Coulomb:

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan(\phi)$$

Donde la resistencia cortante del suelo, siendo τ el esfuerzo cortante máximo y σ el esfuerzo normal aplicado. Este concepto es central en geotecnia y geología aplicada, pues facilita el análisis de la estabilidad en taludes, cimentaciones y estructuras de soporte. Un suelo con buena cohesión y alto ángulo de fricción interna podrá resistir mejor las solicitaciones, mientras que suelos como las arcillas blandas o arenas sueltas, al presentar baja cohesión y fricción, son más propensos a fallas ante cargas externas o saturación hídrica.

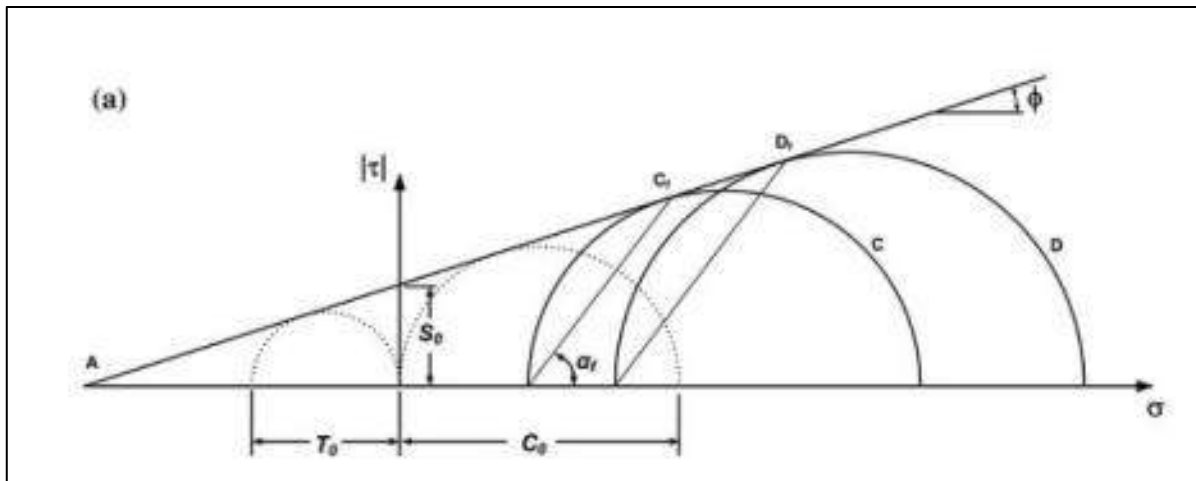


Figura 1. Envolvente del Criterio de rotura lineal de Mohr-Coulomb.

Fuente: Suarez (2002)

De acuerdo con Terzaghi, Peck y Mesri (1996), la resistencia al corte constituye la base de la mecánica de suelos aplicada, ya que describe el comportamiento último del terreno frente a cargas externas y explica la génesis de fallas en obras de ingeniería. Asimismo, Craig (2012) resalta que su adecuada determinación mediante ensayos de laboratorio y de campo es necesaria para mejorar la gestión de seguridad de obras geotécnicas y prevenir deslizamientos en terrenos naturales o de relleno.

2.2.3.2 *Angulo de fricción interna*

Es un valor físico que indica la oposición al movimiento entre los granos del suelo provocada por la fricción. De acuerdo con Das y Sobhan (2018), este ángulo depende de factores como la forma y textura de las partículas, la densidad relativa, el grado de compactación y la distribución del tamaño de grano, especialmente en suelos granulares. Un mayor ángulo de fricción implica mayor resistencia al corte. Este parámetro es importante en análisis de estabilidad, diseño de estructuras de contención y evaluación de capacidad portante, además de ser parte del criterio de resistencia al corte de Mohr-Coulomb.

2.2.3.3 *Cohesión (c)*

La cohesión se refiere a las fuerzas de atracción interparticulares, presentes principalmente en suelos finos como limos y arcillas, producto de fenómenos fisicoquímicos como la atracción electrostática entre partículas, la presión de succión y la retención capilar de agua. Este parámetro es importante en el análisis de estabilidad de taludes arcillosos, en condiciones no drenadas o cuando se evalúa la resistencia del suelo en función del criterio de Mohr-Coulomb, expresado como $\tau = c + \sigma \cdot \tan \phi$.

2.2.3.4 *Fricción lateral:*

Es un parámetro de interacción suelo – estructura. En taludes y muros mecánicamente estabilizados, la fricción lateral es la resistencia que el suelo desarrolla en contacto con refuerzos, geotextiles o elementos estructurales. Es clave para transferir cargas del relleno al sistema de refuerzo y evitar el deslizamiento relativo (Koerner, 2012).

2.2.3.5 *Cargas estáticas y dinámicas:*

Las sobrecargas en la corona del talud (tránsito vehicular, estructuras temporales) generan esfuerzos adicionales que reducen el factor de seguridad si no son debidamente consideradas. En zonas sísmicas, las cargas dinámicas elevan los esfuerzos cortantes y pueden inducir licuación (Castañón Garay, 2011). Son parámetros externos o condicionantes.

2.2.4 **Parámetros hidráulicos**

2.2.4.1 *Grado de saturación*

El grado de saturación (S_r) es un parámetro físico-hidráulico que expresa la proporción del volumen de vacíos de un suelo que está ocupado por agua. Se define como la relación entre el volumen de agua (V_w) y el volumen total de vacíos (V_v) del suelo:

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \%$$

Este parámetro indica cuán saturado se encuentra un suelo:

- $S_r = 0 \%$ → todos los vacíos llenos de aire (suelo completamente seco).
- $S_r = 100 \%$ → todos los vacíos llenos de agua (suelo completamente saturado).

El grado de saturación es importante porque afecta directamente las propiedades mecánicas e hidráulicas del suelo, tales como la cohesión aparente, la presión de poros y la resistencia al corte. En suelos parcialmente saturados, la succión capilar puede incrementar temporalmente la resistencia, mientras que al aumentar la saturación esta resistencia disminuye (Fredlund & Rahardjo, 1993; Das & Sobhan, 2018).

2.2.4.2 *Presión de poros*

La presión de poros (u), conocida también como presión intersticial, se refiere a la fuerza que ejerce el agua que está en los espacios vacíos del suelo. Este factor es clave en la evaluación de la estabilidad de los taludes, ya que la existencia de agua en los poros disminuye la tensión efectiva que se produce entre las partículas sólidas, lo que a su vez reduce la capacidad de resistencia al corte del material. Según Terzaghi (1943), la tensión efectiva — determinante para la estabilidad— se obtiene restando la presión de poros de la tensión total aplicada. Por lo tanto, un incremento de la presión de poros ya sea por lluvias intensas, ascenso del nivel freático o cargas externas, puede desencadenar deslizamientos o licuación en suelos susceptibles.

2.2.4.3 *Permeabilidad*

La permeabilidad se refiere a una característica hidráulica del suelo que evalúa su habilidad para dejar que el agua fluya a través de sus poros conectados bajo un gradiente

hidráulico. Se representa con el coeficiente de permeabilidad (k), habitualmente en medidas de m/s o cm/s.

Matemáticamente se describe por la ley de Darcy:

$$q = k i A$$

donde q es el caudal, i el gradiente hidráulico y A el área de flujo.

La permeabilidad depende de factores como el tamaño y la forma de las partículas, la estructura del suelo, su grado de saturación y la viscosidad del fluido. Su determinación es importante para estudios de drenaje, estabilidad de taludes y diseño de cimentaciones, ya que controla la velocidad de filtración del agua y la disipación de presiones de poros (Craig, 2012; Das & Sobhan, 2018).

2.2.4.4 Nivel freático

El nivel del agua subterránea representa la capa del suelo en la que la presión del agua se equipara a la presión del aire, lo que significa que es la parte más elevada de la zona donde el suelo está saturado. En la porción superior de este nivel, los espacios en el suelo pueden albergar tanto aire como agua (zona no saturada o vadosa), mientras que en la parte inferior, los espacios están completamente ocupados por agua (zona saturada).

El nivel del agua en el suelo cambia con las estaciones debido a las precipitaciones, las infiltraciones y los bombeos, lo que influye en la presión de los poros, la resistencia al corte y la estabilidad de los taludes. Su detección es fundamental en los proyectos de ingeniería civil y geotécnica, pues establece las verdaderas condiciones hidráulicas del suelo (Fredlund y Rahardjo, 1993; Terzaghi, Peck y Mesri, 1996).

2.2.5 Método de investigación

2.2.5.1 Calicatas

Las calicatas son una de las metodologías más antiguas y efectivas para el análisis geotécnico de un suelo. Consisten en excavaciones superficiales, con profundidades que varían de poco a moderado (normalmente entre 1.5 y 5 metros), las cuales facilitan la observación directa de los diferentes estratos y la recolección de muestras representativas para realizar pruebas en el laboratorio. A través de ellas se obtiene información cualitativa y cuantitativa de los materiales, tales como color, textura, humedad, estructura, presencia de raíces, grado de alteración, entre otros aspectos. Su importancia radica en que proporcionan un registro visual y táctil del perfil del suelo, permitiendo correlacionar los resultados de ensayos de campo con las propiedades observadas in situ (Holtz, Kovacs & Sheahan, 2011).

2.2.6 Ensayos *in situ*

2.2.6.1 Ensayos DPL

El ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) es un procedimiento de campo que mide la resistencia relativa de un suelo frente a la penetración de un cono, introducido mediante golpes estandarizados. Su principal utilidad radica en la detección de cambios estratigráficos y la estimación de la compacidad de suelos granulares o la consistencia de suelos finos. Los resultados se expresan en términos de golpes por cada tramo de penetración (generalmente 10 cm), lo cual permite correlacionarlos con parámetros geotécnicos como la densidad relativa y la resistencia al corte (Rodríguez Ortiz, 2006).

2.2.6.2 Ensayos de densidad natural – método del cono de arena

El método del cono de arena es una técnica in situ utilizada para determinar la densidad aparente o compactación del suelo, especialmente en suelos granulares y cohesivos. Consiste en llenar un cono con arena de densidad conocida y permitir que esta caiga en un volumen

excavado previamente en el suelo, midiendo el volumen desplazado por la arena para calcular la densidad del terreno. Esta técnica es valorada por su simplicidad, rapidez y precisión razonable, siendo ampliamente utilizada en obras de ingeniería civil para controlar la compactación de suelos en rellenos y cimentaciones (ASTM D1556, 2014).

2.2.7 Definición de talud

Un talud es una superficie inclinada respecto al plano horizontal, que puede presentarse de forma permanente o temporal en estructuras de tierra. Estos taludes pueden ser de origen artificial, como los generados por actividades de ingeniería (terraplenes o desmontes), o naturales, como ocurre en laderas. Además, pueden estar compuestos por suelos, rocas o una combinación de ambos, lo que implica diferentes enfoques metodológicos para su estudio.

2.2.8 Análisis de estabilidad de talud

En taludes naturales, cortes o terraplenes, las masas de suelo pueden experimentar movimientos por acción de su peso, fuerzas de masa, filtraciones y cargas adicionales, tanto estáticas como dinámicas. La estabilidad del talud depende de que la resistencia al esfuerzo cortante supere estas fuerzas; si no ocurre, se desencadena un deslizamiento.

Con el propósito de determinar la estabilidad de un talud y calcular su factor de seguridad mínimo, se recurre al análisis geotécnico, el cual exige una correcta identificación, caracterización y clasificación de los distintos comportamientos de masa. La clasificación tradicional más aceptada a nivel internacional es la clasificación de Varnes (1988), que considera el mecanismo de falla y la dinámica del desplazamiento como criterios principales. En función de la morfología, pueden distinguirse varios tipos de movimientos.

2.2.8.1 Métodos determinísticos

Van Westen (1993) indica que estas técnicas, que se fundamentan en modelos numéricos precisos, se utilizan para evaluar la estabilidad de pendientes en laderas, así como

en edificaciones de hormigón. Si bien brindan una alta confiabilidad en el ámbito de la ingeniería, su efectividad está sujeta a la calidad de la información empleada. Sin embargo, presentan limitaciones cuando se trata de zonas de análisis extensas o en contextos que requieren respuesta rápida.

Según Toro (2012), el factor de seguridad (F:S) debe definirse en función de las condiciones de inestabilidad. A través de un enfoque determinístico, los modelos se desarrollan a partir de la caracterización geotécnica del terreno, considerando únicamente cargas estáticas, así como la geometría del talud y los niveles de saturación o fluidificación de agua.

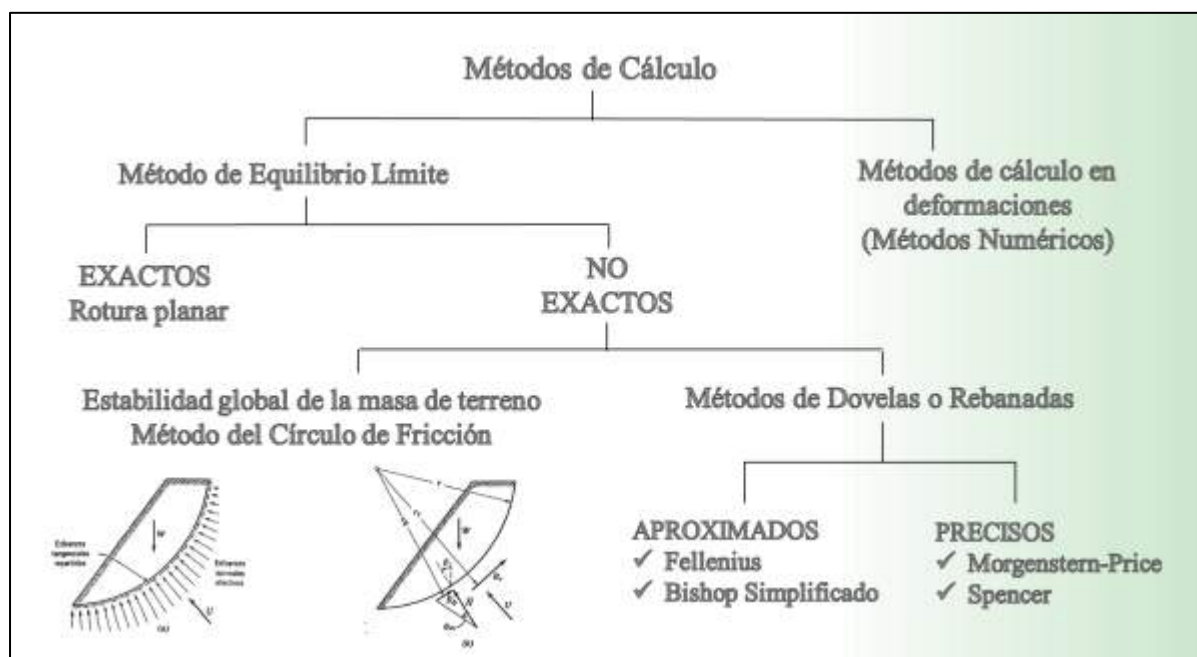


Figura 2. Métodos de cálculo de estabilidad de taludes.

Fuente: Geocursos. (2025). *Métodos de cálculo para estabilidad de taludes*.

2.2.9 Factor de seguridad del talud

De acuerdo con Suarez B. (2016), el factor de seguridad se utiliza para asegurar el desempeño estructural de un talud, siendo también identificado como un índice que refleja el comportamiento frente a cortes o fallas en macizos rocosos. Su cálculo se fundamenta en ecuaciones que consideran los esfuerzos sobre superficies de falla inclinadas, bajo el marco

teórico del método de equilibrio límite, el cual integra escenarios estáticos y dinámicos de ruptura.

Fellenius (1922) introdujo una metodología que permite evaluar la resistencia al corte del suelo en un talud, considerando el esfuerzo cortante crítico dentro del supuesto dominio de falla. Esta técnica se centra en equilibrar las fuerzas a lo largo de la superficie de deslizamiento, identificando el centro de rotación donde se aplican los momentos y se realiza el análisis. Bajo un enfoque estático, se deriva el factor de seguridad correspondiente.

Tabla 2.1
Factor de seguridad vs Estado del talud

Factor de seguridad	Estado del talud
FS<1	Inestable
FS>1	Estable
FS=1	Riesgo de falla inminente

Fuente: Fellenius (1922).

El Ministerio de Transporte y Comunicaciones, de acuerdo con el Manual de Carreteras, en el numeral 304. 10 sobre Taludes, sugiere los valores de referencia en relación con el talud, dependiendo del tipo de material.

Tabla 2.2
Factor de seguridad global

Clasificación de materiales de corte		Roca fija	Roca suelta	Material		
				Grava	Limo arcilloso o arcilla	Arenas
Altura de corte	<5m	1:10	1:6-1:4	1:1-1:3	1:1	2:1
	5-10 m	1:10	1:4-1:2	1:1	1:1	*
	>10m	1:8	1:2	*	*	*

(*) Requerimiento de banquetas o estudio de estabilidad.

Fuente: Manual de Carreteras, Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2014).

2.2.10 Principales métodos de equilibrio límite

2.2.10.1 Método de cálculo de taludes por dovelas

Dentro del análisis clásico de estabilidad de taludes, el método por dovelas se basa en fragmentar la masa inestable en bloques verticales (*slices*) para simplificar el balance de fuerzas y momentos. Esta técnica busca determinar el factor de seguridad (FS), definido como el cociente entre las fuerzas estabilizadoras cohesión y ángulo de fricción interna y las fuerzas desestabilizadoras, tales como el peso propio del suelo, la presencia de agua, sobrecargas y otras cargas externas.

En este método se analizan los esfuerzos actuantes sobre cada dovela, considerando:

- El peso de la dovela, obtenido a partir de la geometría del talud y el peso unitario del material.
- Las fuerzas resistentes al corte (cohesión y fricción interna) que se movilizan en la base de cada dovela, de acuerdo al criterio de Mohr–Coulomb.
- Las fuerzas *interslice* o fuerzas entre dovelas, que representan la interacción lateral entre bloques adyacentes.

Existen varias formulaciones del método de dovelas, cada una con diferentes supuestos acerca de la dirección de las fuerzas entre dovelas:

- Método de Fellenius o círculo sueco: asume que no existen fuerzas entre dovelas (simplificado).

- Método de Bishop simplificado: considera únicamente las componentes verticales de las fuerzas entre dovelas.
- Método de Janbu: toma en cuenta la fuerza horizontal media entre dovelas.
- Método de Spencer (1967): asume que todas las fuerzas interslice son paralelas, logrando una solución más rigurosa y ampliamente aceptada en la práctica geotécnica.

Actualmente, estos métodos se implementan en programas especializados como Slide, GeoStudio o Slope/W, lo que permite realizar análisis más precisos de estabilidad de taludes bajo diferentes escenarios de carga e hidráulicos.

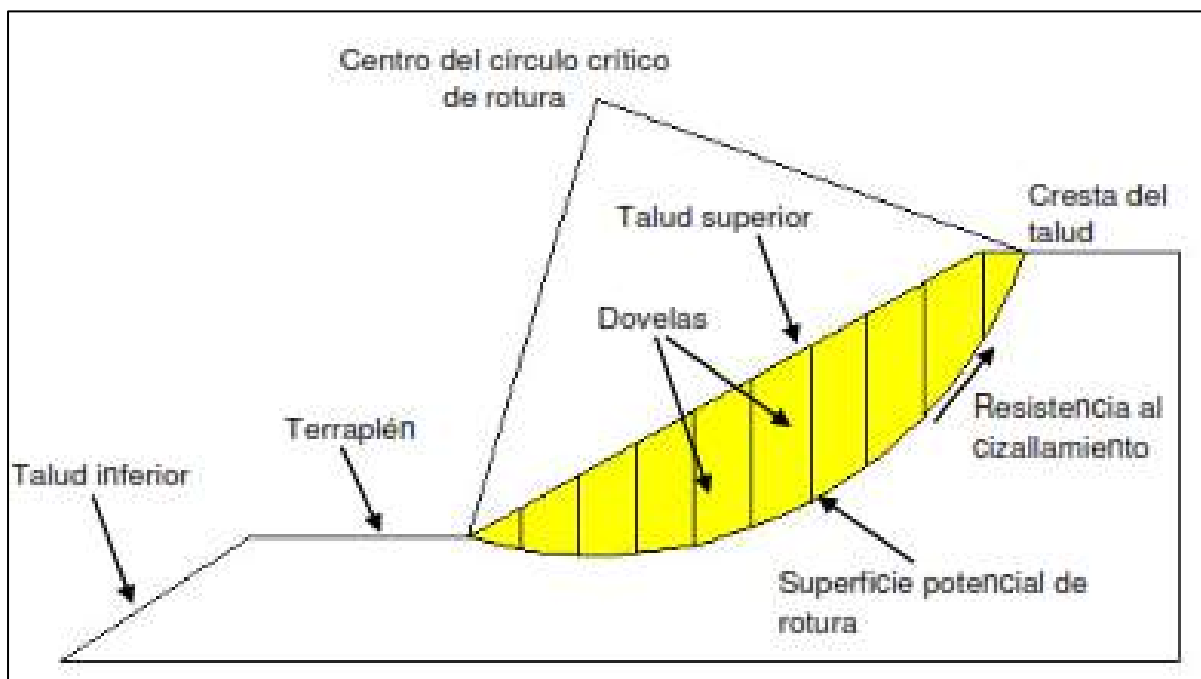


Figura 3. División de la masa deslizante en dovelas.

Fuente: Sackschewski (2019).

2.2.10.2 Método de Bishop

Según Bishop (1955), el método se fundamenta en la segmentación del talud en bloques o dovelas, analizando los esfuerzos internos y el equilibrio general del cuerpo. A pesar de implicar un enfoque analítico más elaborado, se resume mediante un conjunto de

ecuaciones simplificadas que permiten representar de forma práctica el comportamiento del sistema:

$$FS = \frac{\sum [C' b + (W - ub) \frac{\tan \phi}{ma}]}{\sum W \sin \alpha}$$

donde,

$$ma = \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi}{FS} \right)$$

b : la base de la dovela

W : peso de cada una de las dovelas

C', ϕ : parámetros obtenidos de resistencia de un tipo suelo

u : presión de poros, (cada una de las dovelas $= \gamma_w \cdot H_w$)

α : ángulo de radio (de cada dovela).

2.2.10.3 Método de Spencer

De acuerdo con Spencer (1967), el método propuesto garantiza el equilibrio simultáneo de fuerzas y momentos. También menciona que las fuerzas consideradas son paralelas y mantienen un ángulo específico en relación con la pendiente del terreno. Aunque en su origen se aplicaba exclusivamente a superficies circulares, posteriormente se adaptó para abordar geometrías no circulares.

Ecuaciones generales:

1. Equilibrio de fuerzas:

$$\sum (F_{\text{resistentes}}) = \sum (F_{\text{deslizantes}})$$

2. Equilibrio de momentos:

$$\sum (M_{\text{resistentes}}) = \sum (M_{\text{deslizantes}})$$

2.2.10.4 Método ordinario o de Fellenius

Conocido también como método sueco o método de las dovelas, este enfoque se desarrolla sobre superficies de falla circulares precisas, dividiendo la masa inestable en tajadas verticales. A partir del análisis de fuerzas en cada tajada y su equilibrio, se calcula el factor de seguridad total del talud.

Ecuación general:

$$FS = \frac{\sum (c' \cdot L + (W \cdot \cos \alpha - u \cdot L) \cdot \tan \phi')}{\sum (W \cdot \sin \alpha)}$$

donde:

- c' : cohesión efectiva del suelo
- ϕ' : ángulo de fricción interna efectiva
- W : peso de la dovela
- L : longitud de la base de la dovela
- α : ángulo de la base de la dovela con la horizontal
- u : presión de poros en la base de la dovela

Es un método conservador, ya que tiende a subestimar el FS por omitir las interacciones entre dovelas.

2.2.11 Factores que influyen en la inestabilidad de taludes

2.2.11.1 Erosión

Budhu (2011) afirma que tanto el agua como el viento son agentes erosivos que actúan de manera continua sobre los taludes, alterando progresivamente su geometría. Estas modificaciones inciden directamente en los esfuerzos internos que el talud debe resistir, lo cual genera cambios en su forma y comportamiento a lo largo del tiempo.

2.2.11.2 Características geológicas

Dentro de la ingeniería geotécnica, se consideran fallas geológicas aquellas manifestaciones identificadas en taludes durante un diagnóstico de campo riguroso. La determinación del factor de seguridad (F.S.) aún pendiente en muchos casos es el criterio fundamental que permite evaluar el estado y el desempeño del talud.

2.2.11.3 Sismicidad

Castañón Garay (2011) destaca que los taludes, diseñados para cargas estáticas durante su vida útil, pueden verse significativamente afectados por cargas sísmicas que elevan los esfuerzos cortantes y reducen la estabilidad del terreno.

De acuerdo con la Norma Técnica E. 030 “Diseño Sismorresistente”, el área analizada se encuentra en la Zona Sísmica 3, que se relaciona con lugares de gran peligrosidad sísmica, aplicando un factor de zona sísmica $Z = 0.35$. Este número indica la mayor aceleración sísmica prevista en relación con la gravedad, y es un aspecto a tener en cuenta en la evaluación de la estabilidad de los taludes.

Durante un sismo, las cargas dinámicas inducen esfuerzos cortantes adicionales que pueden reducir la resistencia del terreno, especialmente en suelos sueltos o saturados. En estos casos, existe riesgo de fenómenos como la licuación, que ocurre cuando la presión de poros aumenta y el suelo pierde su capacidad portante, comprometiendo la estabilidad del talud.

2.2.11.4 El Clima y la hidrología

Según Suarez (2013), los taludes presentan modificaciones en su estabilidad con el paso del tiempo, mostrando desplazamientos vinculados a las lluvias. Sin embargo, en ausencia de precipitaciones, estos cambios pueden desarrollarse más adelante, durante el estiaje. Además, destaca que la reptación, como movimiento lento del suelo, puede derivar en deslizamientos conforme avanzan las estaciones. El clima en los Andes centrales, incluyendo la región de

Huancayo en el valle del Mantaro, está marcado por una estacionalidad hídrica pronunciada, con lluvias concentradas en los meses de diciembre a marzo, periodo que representa hasta el 60 % de la precipitación anual

2.2.11.5 Cargas extremas

Las cargas externas extremas, como las generadas por nuevas sobrecargas ubicadas en la cima del talud, deben ser cuidadosamente consideradas en el análisis de estabilidad, ya que producen un incremento significativo en los esfuerzos internos del macizo, afectando su comportamiento estructural. Estas cargas pueden provenir de infraestructuras nuevas, rellenos, acumulación de materiales o tránsito frecuente de vehículos pesados.

En particular, la habilitación de vías para tráfico vehicular constante representa una amenaza importante para la estabilidad, debido a que se introduce una carga dinámica variable que puede inducir fatiga en los materiales, aumento de los esfuerzos cortantes y deformaciones progresivas, especialmente en zonas con pendientes pronunciadas o con condiciones geológicas desfavorables. A diferencia del tránsito ferroviario esporádico, el paso continuo de vehículos genera también vibraciones mecánicas que pueden alterar el equilibrio del talud o acelerar procesos de erosión superficial, más aún si la superficie se encuentra saturada o mal drenada. Ante estas condiciones, una medida mitigante efectiva consiste en la ejecución de bermas de corte distribuidas a lo largo de la pendiente, las cuales ayudan a reducir la altura efectiva del talud, disminuir los esfuerzos internos y mejorar el factor de seguridad global (Liang et al., 2015).

2.2.11.6 Excavaciones y/o rellenos

En proyectos viales, es habitual efectuar trabajos en el pie del talud, especialmente relacionados con excavación y relleno. Las excavaciones en esta zona pueden generar inestabilidad, al disminuir los esfuerzos internos y la resistencia cortante del suelo, provocando además un aumento negativo en la presión de poros que afecta la estructura del talud.

2.2.12 Medidas de estabilización de taludes

La estabilización de taludes constituye un conjunto de técnicas de ingeniería geotécnica orientadas a mejorar las condiciones de resistencia del suelo y controlar los factores que generan inestabilidad. Estas medidas pueden ser estructurales, superficiales, hidráulicas o de refuerzo interno, dependiendo de las características geológicas y del tipo de falla predominante. Entre las soluciones más empleadas se encuentran las siguientes:

2.2.12.1 Muros de contención y muros mecánicamente estabilizados (MSE).

Estos sistemas permiten aumentar la resistencia global del talud y controlar deslizamientos en su base. Los muros de suelo reforzado, como el Terramesh, integran refuerzos metálicos o sintéticos con relleno granular compactado, otorgando una solución flexible y eficiente para taludes de relleno (Koerner, 2012).

2.2.12.2 Drenaje superficial y subterráneo.

La presencia de agua reduce la resistencia al corte del suelo y aumenta los esfuerzos actuantes, por lo que la implementación de cunetas, subdrenes y drenes horizontales es fundamental para mantener condiciones estables (Das, 2011).

2.2.12.3 Revegetación y control de erosión superficial.

El uso de cobertura vegetal protege al talud de la acción directa de las lluvias y disminuye la erosión hídrica. En combinación con geomantas o hidrosiembra, contribuye al control de taludes superficiales de poca altura (Gray & Sotir, 1996).

2.2.12.4 Anclajes y soil nailing.

Los anclajes activos o pasivos incrementan la resistencia al corte del macizo y permiten estabilizar taludes de gran altura o rocosos. Su efectividad radica en transferir esfuerzos desde la superficie inestable hacia estratos más competentes (FHWA, 2003).

2.2.12.5 Sistemas combinados.

En muchos casos, se requiere una combinación de medidas —como drenaje, muros de refuerzo y revegetación— para obtener una solución integral que asegure tanto la estabilidad como la durabilidad de la infraestructura asociada (López Jimeno, 1994).

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Con base en la revisión de antecedentes, el análisis del problema y la elaboración del marco teórico y conceptual, se determina el tipo de investigación a realizar, tomando como referencia las teorías analizadas. Este enfoque permite delimitar el nivel del estudio y dirigir su desarrollo metodológico, empleando las herramientas pertinentes para favorecer su aplicación efectiva.

3.1 Tipo y método de investigación

Esta investigación es de carácter aplicado, puesto que consiste en un análisis geotécnico destinado a evaluar la estabilidad de los taludes en el área que abarca el cruce de la av. Ferrocarril con el río Anya, ubicado en San Pedro de Saño, en la región Junín de Huancayo. El enfoque es descriptivo, ya que se examinan y explican las variables geotécnicas pertinentes, usando un método cuantitativo que permite validar la hipótesis a través del análisis de datos concretos de la zona. Asimismo, se llevarán a cabo ensayos experimentales en el laboratorio, utilizando pruebas estándar como la determinación del contenido de humedad, el análisis granulométrico, los límites de plasticidad y el peso específico, junto con pruebas especiales como la de corte directo, para evaluar la cohesión y el ángulo de fricción interna, lo cual ayudará a lograr una correcta caracterización geotécnica del terraplén del área en cuestión.

3.2 Descripción del ámbito de la investigación

El estudio actual se clasifica como una investigación no experimental y de tipo transversal, ya que las variables no se alteran directamente, sino que se examinan en su estado natural, tanto en el campo como en el laboratorio. La información empleada en esta investigación se origina de observaciones, pruebas y registros recolectados en un momento específico, lo que permite una mejor valoración de la estabilidad actual y futura del talud. Por tanto, el enfoque metodológico se orienta a la descripción, análisis y modelado del comportamiento del suelo frente a cargas externas, mediante herramientas de simulación numérica y caracterización geotécnica, sin realizar intervenciones físicas en el entorno natural.

3.3 Población

La población del presente estudio está conformada por el talud ubicado en el sector de la Av. Ferrocarril, cruce con el río Anya, en el distrito de San Pedro de Saño, provincia de Huancayo, región Junín. Este talud corresponde a un depósito de relleno con materiales heterogéneos, expuestos a procesos de inestabilidad asociados a las condiciones topográficas, geológicas e intervenciones antrópicas del área. La elección de esta población responde a la necesidad de evaluar el riesgo geotécnico que supone la futura habilitación de una vía vehicular sobre la zona.

3.4 Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra considerada en la investigación corresponde a cinco (05) calicatas abiertas dentro del área de estudio. Estas excavaciones proporcionaron información detallada sobre la estratigrafía, la composición de los suelos y sus propiedades físicas y mecánicas. El número de calicatas fue determinado en función de la extensión del terreno y de la representatividad geotécnica necesaria para el análisis de estabilidad, permitiendo obtener datos suficientes para caracterizar los materiales del talud.

3.5 Selección de la muestra

La selección de la muestra se realizó de manera estratégica a partir del análisis del entorno, eligiendo puntos dentro del talud que permitieran observar las variaciones litológicas y condiciones de los materiales de relleno y de la base natural. Este criterio de selección responde a la necesidad de obtener información confiable y representativa, enfocada en las zonas más relevantes para el análisis de estabilidad. De esta forma, los resultados obtenidos de las calicatas constituyen la base para la modelación geotécnica y la propuesta de medidas de mitigación.

3.6 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Dentro del desarrollo metodológico de la investigación, se aplican técnicas basadas en fuentes de información primarias y secundarias. En particular, las fuentes primarias son utilizadas para contrastar los datos analíticos y cálculos realizados, los cuales permiten generar resultados específicos. Estas fuentes incluyen:

- Observación directa: se realizaron visitas de campo en el sector de estudio con el fin de identificar las condiciones topográficas y geológicas del talud. Asimismo, se llevaron a cabo excavaciones de calicatas y ensayos de campo (densidad *in situ*, DPL), lo que permitió obtener información empírica sobre las características del suelo.
- Análisis documental: se consultaron fuentes secundarias como tesis, informes técnicos y libros especializados en mecánica de suelos y estabilidad de taludes, que aportaron el marco teórico de la investigación. Entre las referencias empleadas destacan: Terzaghi (1943), Das (2011), Craig (2012), Holtz, Kovacs & Sheahan (2011), así como antecedentes de tesis nacionales (Torres García, 2017; Gómez Morales, 2018; Flores Huamán, 2020, entre otros).

4. INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO

4.1 Ubicación y accesibilidad

Ubicado en el Departamento de Junín, San Pedro de Saño es uno de los veintiocho distritos que forman parte de la Provincia de Huancayo, el área contemplada en el proyecto se extiende desde la avenida Ferrocarril en el punto donde cruza el río Anya, hasta un segmento de la carretera central.

La accesibilidad es desde la ciudad de Huancayo, por vía asfaltada Carretera Central hasta el distrito de San Pedro de Saño, el acceso a los diferentes al tramo de la carretera cruce con el río Anya es por vía afirmada.

Desde la Ciudad de Lima el acceso es a través de la vía asfaltada Carretera Central Lima – Huancayo, después es afirmada hasta San Pedro de Saño.

Las zonas donde se ejecutaron trabajos como el cartografiado geológico, la excavación de calicatas o pozos de exploración y la extracción de muestras para pruebas de laboratorio, cuentan con acceso local desde la ciudad de Huancayo, utilizando vías afirmadas.



Figura 4. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

Fuente: Imagen tomada de Google Earth.



Figura 5. Mapa de ubicación de los distritos de Huancayo.

Fuente: INEI (2015)

4.2 Clima e hidrología

En el contexto específico del distrito de San Pedro de Saño, ubicado en la parte baja del valle del Mantaro, el clima corresponde al de valle interandino, templado subhúmedo, con

inviernos secos (mayo–septiembre) y lluvias intensas en primavera y verano (octubre–abril), como describe la climatología local

El talud de relleno, que se asienta sobre depósitos aluviales de terraza, presenta riesgo de inestabilidad por saturación, escurrimiento superficial y pérdida de rigidez, durante la estación lluviosa.

Aunque la quebrada Anya —de régimen esporádico— cruza la base del talud, su comportamiento puede cambiar en episodios de lluvias intensas, potencialmente afectando la estabilidad si no hay drenaje o encauzamiento adecuado.

5. MARCO GEOLÓGICO

5.1 Geología regional

La zona del proyecto se encuentra ubicado al sureste de la Hoja Geológica 24m3 del Cuadrángulo de Jauja, elaborado por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 2021) a escala 1/ 50 000.

Las rocas que afloran en el sitio son sedimentarias pertenecientes al Jurásico que conforma la formación Concepción, el Grupo Mitu y depósitos cuaternarios conformados por suelos fluviales, coluviales y aluviales.

- **Formación Concepción:** esta formación está constituida por la alternancia de areniscas de grano fino a medio, con coloraciones grises a pardas y pátina herrumbrosa, en bancos de aproximadamente un metro de espesor, interestratificados con lutitas, limolitas y areniscas muy finas. La sucesión refleja un ambiente sedimentario marino profundo con depósitos turbidíticos, donde los estratos de arenisca ofrecen resistencia estructural, a diferencia de las lutitas y limolitas que actúan como planos de debilidad, afectando la estabilidad de los taludes en la zona de estudio.

- Grupo Mitu (PET-m): representado por facies detríticas y volcánicas. Las primeras están compuestas por conglomerados, areniscas y limolitas rojas, depositadas en ambientes continentales de tipo fluvial y aluvial, con clastos mal seleccionados y evidencias de oxidación. Las facies volcánicas, en cambio, incluyen lavas andesíticas, basaltos, tufos e ignimbritas, intercaladas con las secuencias detríticas, resultado de episodios de vulcanismo explosivo. Esta variabilidad litológica refleja la compleja evolución tectosedimentaria de la región y explica la presencia de suelos heterogéneos derivados de la meteorización de estas rocas, que condicionan la estabilidad actual de los taludes en el área de estudio.
- Depósitos cuaternarios: estos depósitos se encuentran ubicados cerca a los afloramientos rocosos (limolitas, lutita, areniscas, calizas) y se encuentran representados por depósitos coluviales, aluviales y fluviales.
 - Depósito aluvial: están conformados por bloques y gravas heterométricas con clastos subredondeados en matriz areno-limosa, incluyendo variedades como gravas bien gradadas, limosas y arcillosas con arena. Estos materiales forman terrazas aluviales T2 y T3, donde la T2 está compuesta por gravas y arenas de mejor selección, mientras que la T3 presenta conglomerados más cementados con clastos de mayor tamaño, lo que evidencia un mayor grado de consolidación. Geotécnicamente, se trata de depósitos heterogéneos en los que las gravas y conglomerados aportan resistencia, pero las fracciones finas pueden reducir su estabilidad en condiciones de saturación.

- o Depósitos fluviales: se encuentran constituidos por materiales de gravas gruesas a finas, arenas sueltas y niveles intercalados de sedimentos limo-arcillosos, que evidencian un origen fluvial y aluvial reciente. Estos se presentan acompañados de fragmentos rocosos subangulosos a subredondeados, inmersos en una matriz areno-limosa, lo que refleja una sedimentación heterométrica y poco seleccionada. En conjunto, esta composición le confiere al depósito un comportamiento geotécnico heterogéneo, donde las gravas y arenas aportan resistencia, pero la presencia de limos y arcillas puede reducir su estabilidad en condiciones de humedad o saturación.
- o Depósito coluvial: consiste en bloques angulosos, bolones y gravas de areniscas y lutitas, envueltos en matriz limo arcillosa y arenosa, tales como: grava bien gradada, grava pobremente gradada con limo y arcilla, grava arcillosa, grava limosa, transportados y depositados por efectos de la gravedad y agua de escorrentía superficial. Se presentan sueltos a moderadamente compactos y leve a moderadamente plásticos.

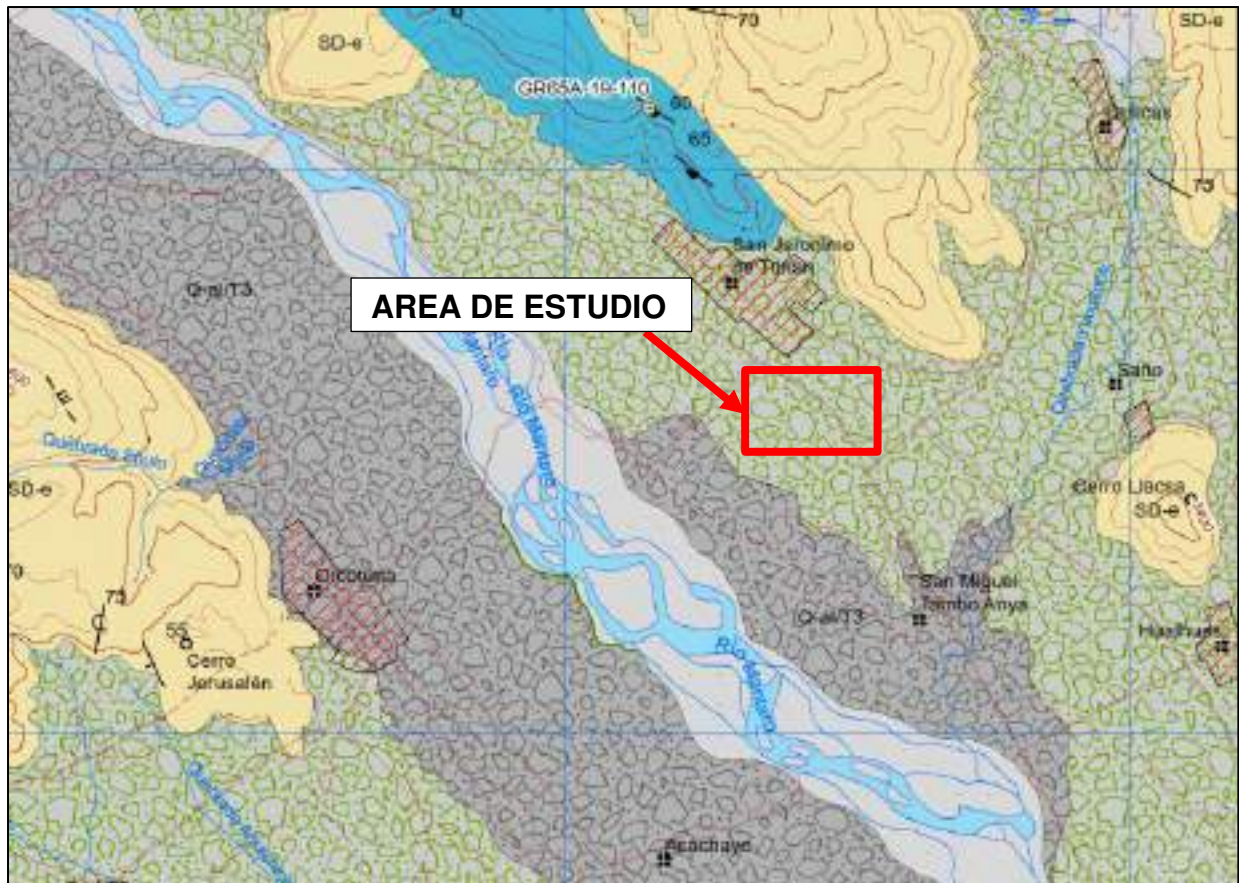


Figura 6. Geología regional del área de estudio.

Fuente: Cuadrángulo de Jauja (INGEMMET, 2021).

5.2 Geología local

5.2.1 Estratigrafía

El área del proyecto está conformada por depósitos cuaternarios como depósitos aluviales y depósitos fluviales.

- Depósitos cuaternarios: estos depósitos se encuentran ubicados cerca a los afloramientos rocosos (limolitas, lutita, areniscas, calizas) y se encuentran representados por depósitos aluviales y fluviales.

- Depósito aluvial: formado por materiales transportados y sedimentados por flujos. Este tipo de depósito se encuentra en la parte norte y suroeste del área de estudio y están caracterizadas visualmente por materiales gravosos con clastos subredondeados en matriz arenosa y limosa, presenta un espesor estimado de 2 a 15 m.
- Depósito fluvial: formado por materiales transportados por el agua del río Anya. Este tipo de depósito se encuentra en la parte noreste y oeste del área de estudio y se caracteriza por presentar material gravoso gruesos y finos, arenas bien gradadas en matriz limo arcilloso. Estos materiales son de consistencia sueltas en suelos granulares y blandas a firmes en suelos finos, presenta un espesor estimado de 1 a 5 m.



Figura 7. Vista panorámica del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 8. Geología local del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Geomorfología

El distrito de San Pedro de Saño se encuentra ubicado entre las cordilleras oriental y occidental, presentando un relieve moderadamente accidentado, característico de los valles interandinos con procesos fluviales activos. De acuerdo con la observación de campo y la revisión de información técnica disponible (INGEMMET, 2021), se determinó la presencia de la siguiente unidad geomorfológica en el área de estudio:

- Unidad terraza fluvial: está compuesta por depósitos aluviales no consolidados, conformados por conglomerados con cantos redondeados de hasta 20 cm, intercalados con lentes arenosos y limosos. Estas características reflejan una dinámica fluvial variable, propia de procesos de transporte y sedimentación antiguos. (INGEMMET, 2021). Constituye la base natural sobre la cual se ha construido un talud de relleno artificial, afectando su comportamiento geotécnico e interacción con los suelos adyacentes, que incluyen depósitos fluviales y suelos orgánicos.
- Unidad quebrada: la quebrada Anya es un curso de agua estacional de bajo caudal que atraviesa la base del talud, actualmente canalizado mediante una alcantarilla. Aunque su influencia es limitada, puede incidir en procesos de erosión superficial o saturación puntual en épocas de lluvia intensa

5.4 Geología estructural

El área de estudio se encuentra dentro de la zona occidental del cuadrángulo de Jauja (Hoja 24m), la cual presenta una configuración geológica influenciada por la deformación andina. El relieve regional está determinado por pliegues antiguos de orientación predominante NO–SE, que afectan principalmente a rocas sedimentarias del Mesozoico, como las del Grupo Pucará y formaciones asociadas.

Sin embargo, en el sector puntual de Av. Ferrocarril - San Pedro de Saño, no se ha identificado la presencia de fallas activas ni estructuras tectónicas mayores que atraviesen o condicionen directamente la estabilidad del talud en evaluación. La estructura plegada regional aporta una morfología general al paisaje, pero no representa un factor determinante en la geodinámica local del sitio. La estabilidad del talud está más influenciada por la naturaleza del relleno, los materiales coluviales y la acción del agua que por la tectónica.

5.5 Sismicidad

La actividad sísmica en la región del proyecto está vinculada a la zona de subducción de la placa de Nazca bajo la placa continental sudamericana, lo que implica un riesgo geológico capaz de provocar desprendimientos rocosos y derrumbes en sectores con colinas abruptas y laderas de inclinación moderada a empinada.

Según la Norma Técnica E. 030: Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), aprobada mediante D.S. N.° 355-2018-VIVIENDA y modificada por la R.M. N.° 043-2019-VIVIENDA, el área del proyecto se encuentra en la Zona 3 de riesgo sísmico. Esta área se distingue por la probabilidad de experimentar sismos de gran magnitud, estableciéndose una aceleración sísmica máxima de diseño de hasta 0.35 para un intervalo de retorno de 475 años.

Tabla 5.1
Factores de zona

Zona	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

Fuente: Norma Técnica E.030-2018 modificado por R.M. 043-2019-VIVIENDA.

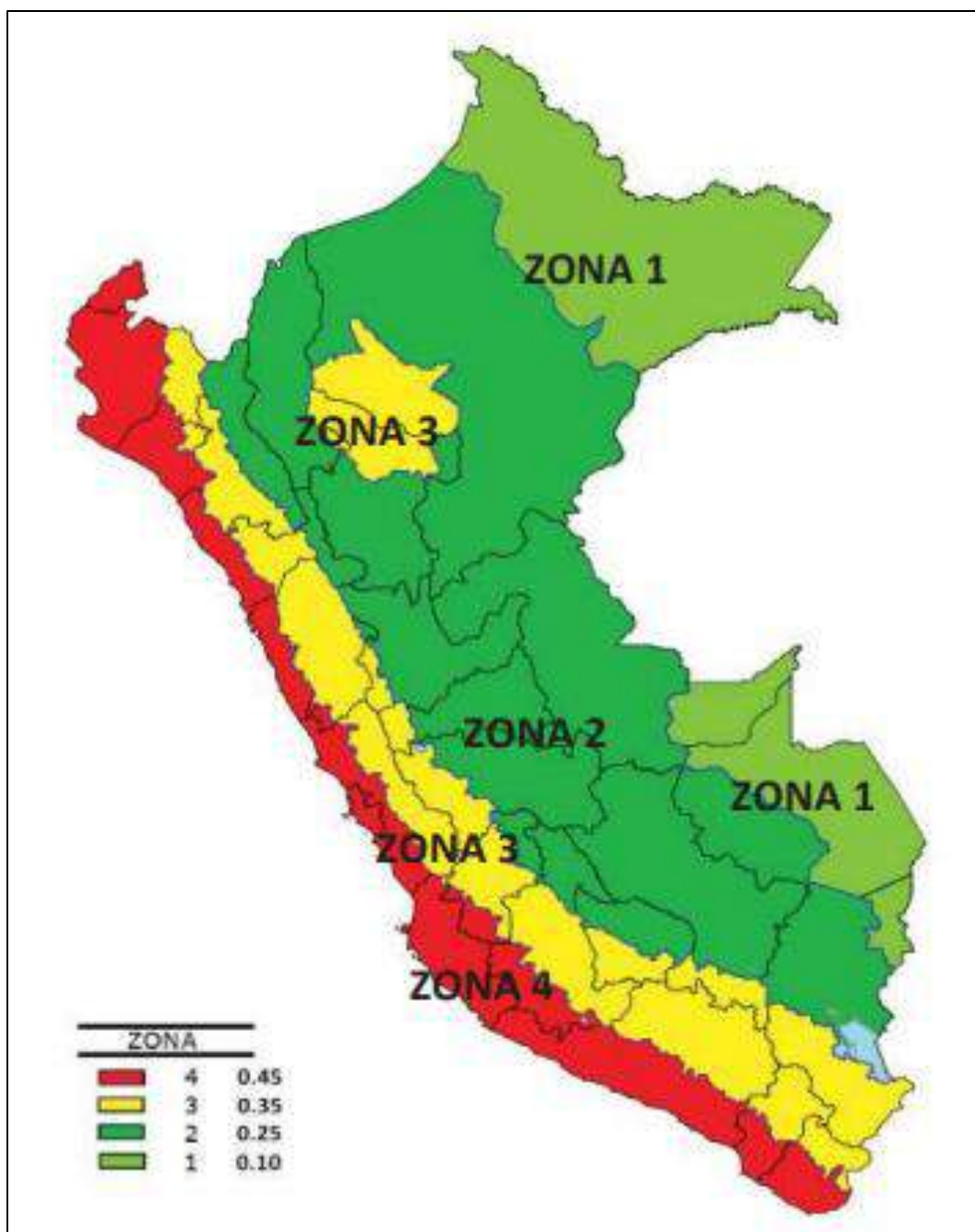


Figura 9. Representación de zonas sísmicas

Fuente: Norma Técnica E.030-2018 modificado por R.M. 043-2019-VIVIENDA.

5.6 Geodinámica externa

Los procesos geodinámicos en el área de estudio, localizada transversalmente en el cauce del río Anya, presenta una geodinámica externa activa, determinada por factores geomorfológicos, climáticos y antrópicos. A continuación, se describen los principales:

- **Deslizamientos:** este proceso se presenta en la zona de la cresta del terraplén, como resultado de su inclinación pronunciada (56°) y de la composición del material de relleno, clasificado como CL (arcilla de baja plasticidad). Estas condiciones geotécnicas lo hacen susceptible a deslizamientos, especialmente cuando el suelo se satura por lluvias intensas. La inestabilidad se incrementa por cargas adicionales, como las generadas por el tránsito vehicular proyectado. El terreno adyacente está conformado por depósitos aluviales y fluviales, lo cual reduce la cohesión en los bordes y contribuye a la pérdida de estabilidad.
- **Erosión hídrica:** se manifiesta durante las épocas de lluvia intensa, típicas del clima de Huancayo, donde ocurren precipitaciones de régimen torrencial. Este fenómeno genera erosión lateral y vertical en las laderas del terraplén, observándose la formación de cárcavas, surcos y lavado de materiales finos en los depósitos superficiales.

5.7 Análisis meteorológico e hidrológico local

Con el fin de caracterizar el régimen pluviométrico de la zona de estudio y sustentar la selección de escenarios de saturación en el análisis de estabilidad, se recopiló una serie representativa de 12 años (2012–2023) para la estación San Pedro de Saño (Huancayo, región Junín), con base en datos de SENAMHI y registros regionales.

5.7.1 Serie— resumen anual y máxima diaria por año (2012–2023)

Tabla 5.2
Serie anual y máxima diaria

Año	Precip. Anual (mm)	Máx. diaria anual (mm)
2012	950	70
2013	1100	85
2014	1200	120
2015	800	60
2016	1050	110
2017	980	95
2018	1250	130
2019	900	80
2020	1000	100
2021	870	75
2022	1350	150
2023	990	90

Fuente: Senamhi (2024)

Promedios:

- **Precipitación anual media:** 1,032 mm/año
- **Máxima diaria media:** 97.1 mm
- **Desviación estándar de máximas anuales:** 26.4 mm

5.7.2 Ajuste Gumbel (máximas diarias anuales)

Se aplicó la distribución de Gumbel de valores extremos tipo I, mediante el método de momentos.

Serie usada: máximas diarias por año (valores de la columna “Máx diaria anual” arriba).

- Estadísticos de la serie máxima anual:
 - Media $\bar{X} = 97.083 \text{ mm}$
 - Desviación estándar $S = 26.42 \text{ mm}$
- Estimación de parámetros Gumbel (method of moments):
 - Constante de Euler $\gamma_E = 0.5772156649$
 - Escala (β): $\beta = S \cdot \frac{\sqrt{6}}{\pi} = S \cdot 0.7797$

 $\beta \approx 26.42 \times 0.7797 = 20.60 \text{ mm.}$
 - Ubicación (α): $\alpha = \bar{X} - \gamma_E \cdot \beta \approx 97.083 - 0.5772 \times 20.60 = 85.19 \text{ mm}$
- Cuantil Gumbel (lluvia diaria para probabilidad $P = 1 - 1/T$):

$$R_T = \alpha + \beta \cdot y_T, y_T = -\ln(-\ln(P)) \text{ con } P = 1 - 1/T$$

Los valores de lluvia máxima diaria estimados para distintos períodos de retorno (T) se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5.3
Valores de lluvia máxima diaria

T (años)	P= 1-1/T	y_T	R_T (mm/día)
2	0.50	0.366	92.7
5	0.80	1.499	116.1
10	0.90	2.252	131.6
25	0.96	3.195	151.0

50	0.98	3.899	165.5
100	0.99	4.600	180.0

Fuente: Senamhi (2024)

Estos R_T son lluvias máximas diarias para los períodos de retorno indicados, estimadas por Gumbel con los parámetros $\alpha = 85.19$ y $\beta = 20.60$.

De esta forma, la lluvia diaria máxima de diseño para un periodo de 25 años es $R_{25} = 151$ mm/día.

5.7.3 Curvas IDF aproximadas

A partir de los valores diarios, se generaron curvas de Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) mediante factores de reducción conservadores, transformando la lluvia diaria en intensidades para distintas duraciones (30 min a 24 h).

Tabla 5.4
Intensidad – Duración – Frecuencia

Duración (h)	I (mm/h)	I (mm/h) T=10	I (mm/h) T=25	I (mm/h) T=100
0.5	61.60	82.8	120.80	151.20
1	39.20	55.7	83.10	104.80
2	24.40	36.9	52.90	66.20
6	9.51	14.37	22.65	28.34
24	3.86	5.59	6.29	7.46

Fuente: Senamhi (2024)

Se utilizó una serie de datos de SENAMHI para la estación de San Pedro de Saño (Huancayo) (≥ 10 años). De la serie se extrajeron las máximas diarias anuales y se ajustó la distribución de Gumbel (metodología de máximos anuales) para estimar las lluvias máximas

diarias de diseño para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Los parámetros estimados por método de momentos son: $\beta = 20.60$ mm (escala) y $\alpha = 85.19$ mm (ubicación).

Los resultados de diseño (lluvia diaria máxima) son, entre otros: $R_2 = 92.7$ mm/día, $R_{10} = 131.6$ mm/día, $R_{25} = 151.0$ mm/día y $R_{100} = 180.0$ mm/día. Para la generación de curvas IDF se emplea una aproximación conservadora (transformación de lluvia diaria a intensidades de 30 min–24 h mediante factores de escala).

Para dimensionamiento de drenajes y evaluación de saturación de taludes se propone usar, por ejemplo, la precipitación de $T = 25$ años, cuyos valores aproximados son $I_{1h} \approx 83.1$ mm/h y precipitación diaria $R_{25} \approx 151$ mm.

6. INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS DE CAMPO

6.1 Generalidades

En el área evaluada, las exploraciones geotécnicas comprendieron la ejecución de calicatas, pruebas de penetración dinámica ligera (DPL) y determinaciones de densidad *in situ* aplicando el método del cono de arena. Estos trabajos fueron desarrollados en el año 2021 por el Consorcio Vial Huancayo, como parte de los estudios técnicos previos en el sector. Los resultados han sido facilitados y empleados en el presente proyecto con fines estrictamente académicos, manteniendo su validez técnica y adaptándolos al marco metodológico de esta tesis.

6.2 Supervisión de calicatas

El programa de investigaciones geotécnicas de campo registró un total de 05 calicatas, ubicadas en el pie del talud existente. Esta ubicación respondió a la necesidad de evaluar los materiales que conforman la base y cuerpo del terraplén existente debido a que en esta zona se concentran los esfuerzos que controlan su estabilidad global.

Siguiendo el estándar ASTM D2488, se realizó una descripción de las capas observadas. Se tomaron muestras alteradas representativas, las cuales fueron marcadas, guardadas en bolsas de plástico y enviadas al laboratorio de geotecnia con el fin de llevar a cabo pruebas que muestren las características físicas y mecánicas de los materiales analizados.

La información obtenida permitió caracterizar los materiales de la base arcillosa y del relleno granular del talud existente, datos que se emplearon en el estudio de estabilidad y en el diseño de la ampliación del terraplén. La Tabla 6.1 muestra la ubicación de calicatas y la descripción estratigráfica se encuentra en el Anexo A.1.

Tabla 6.1
Ubicación de calicatas

Progresiva	Calicata	Coordenadas (UTM) (ver nota 1)		Suelo orgánico (m)	Nivel de agua (m)	Prof. total (m)
		Este	Norte			
0+980	C-01	470 888	8 677 362	NE	NE	2.00
1+030	C-02	470 949	8 677 262	NE	NE	2.00
1+004	C-03	470 914	8 677 297	NE	NE	2.00
1+020	C-04	470 918	8 677 268	NE	NE	2.00
1+088	C-05	470 955	8 677 219	NE	NE	2.00

Abreviaturas: NE: No encontrado.

Prof.: Profundidad.

Nota: (1). Zona 18S del elipsoide de referencia WGS84.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 10. Ubicación de calicatas.

Fuente: Imagen tomada de Google Earth.

6.3 Ensayos *in situ* de campo

6.3.1 Ensayos de densidad natural

Se ejecutaron 04 ensayos de densidad de campo utilizando el método de cono de arena con el propósito de medir la densidad *in situ* del suelo. Las pruebas se realizaron en las calicatas, cumpliendo con los procedimientos sugeridos por la norma D1556 (cono de arena). La Tabla 6. 2 presenta un resumen de las pruebas de densidad natural, y los resultados se encuentran en el Anexo A.2.

Tabla 6.2**Resumen de ensayos de densidad de campo – Método del cono de arena**

Progresiva	Calicata	Clasificación SUCS	Profundidad (m)	CH (%)	DH (g/cm ³)	DS (g/cm ³)
1+030	C-02	CL	0.5	7.3	1.87	1.74
1+004	C-03	CL	0.5	7.8	1.81	1.68
1+020	C-04	CL	0.7	9.9	1.79	1.63
1+088	C-05	CL	0.5	11.3	2.12	1.90

Abreviaturas:**SUCS:** Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.**CH:** Contenido de humedad.**DH:** Densidad húmeda.**DS:** Densidad seca.

Fuente: Elaboración propia.

6.3.2 Ensayos DPL

Se realizaron 07 pruebas DPL conforme a la norma DIN-4094. Este método implica la introducción gradual, cada 10 cm, de una punta cónica de 60°, que es golpeada por un martillo de 10 kg lanzado desde una altura de 50 cm. Este proceso ofrece una medición constante de la resistencia del suelo. Los ensayos DPL se ejecutaron en la arcilla de fundación (CL) para descartar planos débiles y verificar consistencia/rigidez del estrato que sostiene el ensanche; se buscó rechazo y variación de N10 cm para ubicar suelo competente.

Los valores obtenidos permitieron corroborar los niveles de consistencia del subsuelo. Las profundidades a las que se presentó el rechazo, varía de 1.70 m a 3.10 m, se infiere que el suelo es competente a estas profundidades. La Tabla 6.3 muestra el resumen de ensayos de penetración dinámica ligera y los resultados se encuentran en el Anexo A.3.

Tabla 6.3**Resumen de ensayos de penetración dinámica ligera (DPL).**

Ensayo DPL	Coordenadas UTM (m) ver nota 1		Inicio de estrato resistente ensayado	Prof. Total (m)	Observación
	Este	Norte			
DPL-01	470 906	8 677 284	2.0	2.5	Presenta un N ₁₀ entre 22-27 desde la profundidad de 2,0 m, el cual es un material muy rígido.
DPL-02	470 888	8 677 317	2.9	3.1	Presenta un N ₁₀ entre 20-29 desde la profundidad de 2,9 m, el cual es un material muy rígido.
DPL-03	470 937	8 677 275	1.4	1.7	Presenta un N ₁₀ entre 25-30 desde la profundidad de 1,4 m, el cual es un material muy rígido.
DPL-04	470 939	8 677 258	1.3	1.7	Presenta un N ₁₀ entre 13-30 desde la profundidad de 1,3 m, el cual es un material rígido a muy rígido.
DPL-05	470 957	8 677 236	2.6	3.1	Presenta un N ₁₀ entre 22-46 desde la profundidad de 2,6 m, el cual es un material muy rígido a duro.
DPL-06	470 979	8 677 217	1.6	2.7	Presenta un N ₁₀ entre 18-34 desde la profundidad de 1,6 m, el cual es un material rígido a muy rígido.
DPL-07	470 975	8 677 200	1.5	1.7	Presenta un N ₁₀ entre 30-32 desde la profundidad de 1,5 m, el cual es un material muy rígido.

Abreviatura: Prof.: Profundidad.**Nota:** (1) Coordenadas en el sistema WGS-84.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 11. Ubicación de ensayos DPL.

Fuente: Imagen tomada de Google Earth.

7. ENSAYOS DE LABORATORIO

7.1 Generalidades

Las muestras de suelo se recolectaron de las excavaciones realizadas en el lugar, y se emplearon en pruebas de laboratorio, tanto habituales como específicas, para identificar las propiedades físicas, los parámetros de resistencia y las características de filtración en suelos y minerales. Los resultados de las pruebas de laboratorio aplicadas en este análisis fueron llevados a cabo por el laboratorio SilverGeo por encargo del Consorcio Vial Huancayo en el marco de un estudio previo en el mismo sector (2021). Estos resultados han sido utilizados con fines académicos, manteniendo su formato original para garantizar la fidelidad de la información. Sin embargo, se realizaron pequeñas modificaciones en los códigos de muestra para facilitar su correlación y comprensión dentro del presente trabajo.

7.2 Ensayos de propiedades físicas

Con las muestras obtenidas se llevaron a cabo pruebas de índices y de categorización de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). En la Tabla 7. 1 se presenta un resumen de las pruebas de clasificación de suelos y los resultados se encuentran en el Anexo B: Registro de Laboratorio.

Tabla 7.1
Resumen de ensayos de clasificación de suelos.

Calicata	Prof. (m)	Material	Clasif.	Granulometría			LL (%)	IP (%)	w (%)
				Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)			
C-01	2,00	Grava arcillosa con arena	GC	51.70	17.10	31.20	31.46	9.30	5.11
C-02	2,00	Arcilla de baja plasticidad con arena	CL	N.P.	21.40	78.60	34.02	14.50	6.70
C-03	2,00	Arcilla de baja plasticidad	CL	N.P.	8.90	91.10	33.83	14.50	8.87
C-04	2,00	Arcilla de baja plasticidad	CL	N.P.	9.10	90.90	34.89	13.60	6.04
C-05	2,00	Arcilla de baja plasticidad	CL	N.P.	10.50	89.50	33.53	13.00	4.84

Abreviaturas:

Prof.: Profundidad.

IP: Índice plástico.

LL: Límite líquido.

NP: No presenta.

CH: Contenido de humedad.

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Fuente: SilverGeo para Consorcio Vial Huancayo (2021).

7.3 Ensayo de corte directo

Se seleccionaron muestras representativas obtenidas de las calicatas para la ejecución de ensayos de corte directo, de acuerdo con el estándar ASTM D3080, con el objetivo de estimar de manera indirecta la resistencia en los materiales. La Tabla 7.2 muestra el resumen de ensayos de clasificación de suelos y los resultados encuentran en el Anexo B: Registro de Laboratorio.

Tabla 7.2
Resumen de ensayos de corte directo.

Calicata	Tipo de suelo	Profundidad (m)	Cohesión (kPa)	Ángulo de fricción (°)
C-01	GC	Superficial	19.61	32.20
C-02	CL	Superficial	36.28	28.60
C-03	CL	Superficial	35.30	28.20
C-04	CL	Superficial	34.32	28.50
C-05	CL	Superficial	27.46	28.10

Fuente: SilverGeo para Consorcio Vial Huancayo (2021).

8. CARACTERIZACIÓN GEOTECNICA

8.1 Descripción geotécnica del terraplén existente

El talud en estudio se encuentra ubicado en el sector Av. Ferrocarril – cruce con el río Anya, distrito de San Pedro de Saño, Huancayo – Junín. Corresponde a un talud de relleno conformado por materiales heterogéneos, evidencia características típicas de depósitos antrópicos no controlados, con una altura aproximada de 3 m y pendiente media estimada de 1:0.67 (56°).

8.2 Unidades geotécnicas

La inspección visual y los resultados de campo y laboratorio permitieron establecer una estratigrafía representativa compuesta por dos unidades principales:

- Unidad geotécnica superior (I): conformada por gravas arcillosas (GC), mezcladas con matriz arenosa, de compacidad densa, presenta una mayor fricción interna (32°). Espesor de 1.0 m.
- Unidad geotécnica inferior (II): corresponde a una arcilla de baja plasticidad (CL), con presencia de arena fina, color amarillento, textura cohesiva, estructura homogénea. Presenta un ángulo de fricción corregido de 26° . Espesor de 2.0 m.

8.3 Nivel de fundación

Los ensayos DPL registraron rechazos entre 1.7 y 3.1 m, y las calicatas (profundidad ~2 m) no reportaron presencia de agua libre ni suelos blandos profundos, lo que indica la presencia de un estrato competente a partir de aproximadamente 0.30 m bajo la superficie tras eliminación de la capa orgánica superficial.

Se identifican las siguientes unidades geotécnicas (de arriba hacia abajo):

- **Capa superficial orgánica / suelta (≈ 0.30 m)** — material no competente para cimentación; se propone su excavación y retiro previo a la obra.
- **Relleno granular arcilloso (GC)** — capa superior del terraplén, compactada en obra, adoptada como material de relleno estructural.
- **Arcilla de baja plasticidad (CL)** — unidad subyacente que actúa como fundación competente; los ensayos DPL y corte directo indican consistencia rígida, adecuada para apoyo del muro tras las obras de preparación.

8.3.1 Determinación de Df (nivel de fundación):

El modelo geotécnico fue redefinido considerando la identificación del nivel de fundación real del terraplén, el cual se ubica al inicio del estrato CL competente, una vez retirada la capa orgánica superficial (~0.30 m de espesor), no apto para soportar cargas estructurales. Por debajo de esta capa se desarrolla el material de fundación conformado por arcillas de baja plasticidad (CL), que presentan consistencia rígida según los resultados de penetración dinámica ligera (DPL) y ensayos de corte directo. Sobre esta unidad se apoya el relleno granular arcilloso (GC) de compactación densa, que forma la parte superior del terraplén. Esta delimitación permite representar adecuadamente la transición entre materiales y evaluar de manera más precisa la respuesta del talud frente a cargas estáticas y dinámicas.

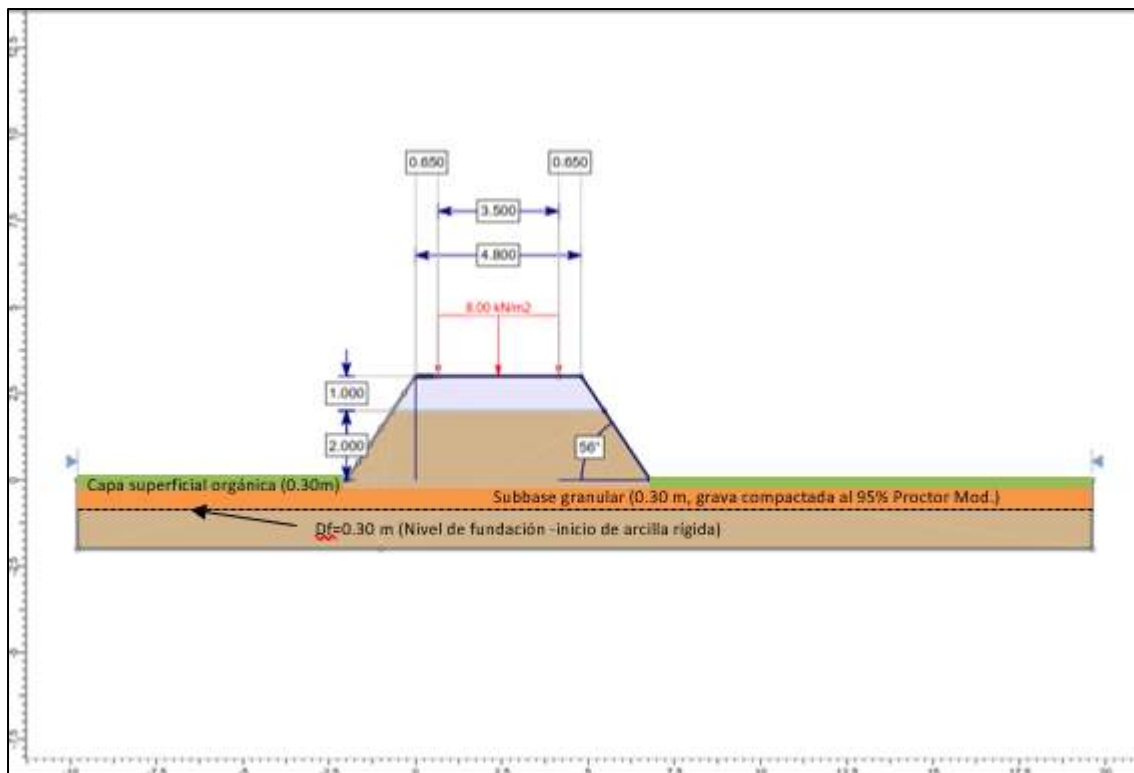


Figura 12. Nivel de fundación.

Fuente: Elaboración propia.

8.4 Sección de análisis

En base a la geometría del talud proyectado se elaboró un corte transversal representativo de toda la sección, el cual corresponde a un ancho total de 100 m y una altura

de 3 m. Dicho corte fue modelado a partir de la información obtenida en la investigación geotécnica, permitiendo definir dos unidades geotécnicas principales: una capa superior de grava arcillosa (GC) y una capa inferior de arcilla de baja plasticidad (CL).

Previo al modelamiento se retiró la capa superficial orgánica de 0.30 m de espesor, alcanzándose el nivel de fundación real a partir del contacto con el estrato CL. Sobre este se dispone una subbase granular de 0.30 m de espesor (grava compactada al 95% Proctor Modificado), sobre la cual se apoya el cuerpo del terraplén. En el modelo numérico, la subbase granular se consideró dentro de la unidad GC superior, dado que su espesor reducido no afecta significativamente el comportamiento global.

La configuración geométrica incluye un ancho de corona de 4.80 m, con bermas laterales de 0.65 m, una altura de 3.00 m y un talud lateral con inclinación de 56° .

Esta configuración geométrica sirvió de base para el análisis de estabilidad del terraplén en los distintos escenarios evaluados (condición actual, carga proyectada y solución con muro de refuerzo).

8.5 Propiedades de resistencia de los materiales

Los valores iniciales obtenidos mediante los ensayos de corte directo en laboratorio reflejaban condiciones drenadas ideales y controladas, lo que tiende a sobreestimar la resistencia real del terreno in situ.

Siguiendo las recomendaciones del USACE (2003), Terzaghi & Peck (1967) y la Norma E.050 del RNE (2018), para el análisis de estabilidad de taludes y muros de suelo reforzado en materiales naturales o rellenos heterogéneos se debe adoptar un enfoque conservador, priorizando la fricción interna como fuente principal de resistencia y considerando cohesión nula en suelos granulares o compactados mecánicamente.

Los parámetros de resistencia al corte fueron determinados mediante ensayos de corte directo sobre las muestras extraídas de las calicatas C-01 a C-05. Los resultados se resumen en la Tabla 8.1 Resumen de ensayos de corte directo.

Para el relleno granular arcilloso (GC), el valor de cohesión obtenido en laboratorio ($c=19.61$ kPa) se considera no representativo del comportamiento real, ya que refleja el efecto de succión o cementación temporal. De acuerdo con la práctica recomendada (USACE, 2003), en el análisis de estabilidad se adopta cohesión nula ($c \approx 0$ kPa) y solo se conserva el ángulo de fricción como parámetro resistente del material granular.

8.5.1 Memoria descriptiva del parámetro de resistencia al corte – Material CL

8.5.1.1 Datos de partida (muestras CL usadas)

Se consideran las muestras de las calicatas C-02 a C-05, correspondientes al material arcilloso de baja plasticidad (CL), que constituye la fundación del muro y parte del talud.

Tabla 8.2
Resumen de muestras de arcilla de baja plasticidad

Calicata	Cohesión (kPa)	Ángulo de fricción (°)
C-02	36.28	28.60
C-03	35.30	28.20
C-04	34.32	28.50
C-05	27.46	28.10

Fuente: SilverGeo para Consorcio Vial Huancayo (2021).

8.5.1.2 Paso 1 — Estadística descriptiva

- Número de muestras: $n=4$
- Media (μ):

- $\mu_c = \frac{36.28+35.30+34.32+27.46}{4} = 33.34 \text{ KPa}$

- $\mu_\phi = \frac{28.60+28.20+28.50+28.10}{4} = 28.35^\circ$

- Desviaciones estándar muestrales (s) — fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}$$

Cálculo (resultados):

- $s_c = 4.0008 \text{ kPa}$ (desviación estándar muestral de c).
- $s_\phi = 0.2380^\circ$ (desviación estándar muestral de ϕ).

8.5.1.3 Paso 2 — Valor característico (percentil 5%)

Se adopta el percentil 5 como valor característico que representa la cola desfavorable de la distribución.

$$x_{5\%} = \mu - Z_{0.05} \cdot s \text{ con } Z_{0.05} = 1.645$$

Cálculos exactos:

- Cohesión:

$$c_{5\%} = 33.34 - 1.645 \times 4.0008 = 26.7586293 \text{ kPa}$$

$$\rightarrow c_{5\%} = \mathbf{26.76 \text{ kPa (redondeado)}}.$$

- Ángulo de fricción:

$$\varphi_{5\%} = 28.35 - 1.645 \times 0.2380 = 27.9584117$$

→ $\varphi_{5\%} = 27.96^\circ$ (redondeado).

8.5.1.4 Paso 3 — Aplicación de factores parciales / reducción para obtener valores de diseño

Considerando la heterogeneidad del material, se adoptó un factor parcial $\gamma_R = 1.30$ para la cohesión y una reducción conservadora $\Delta\varphi = 2.0^\circ$ para el ángulo de fricción justificando con reducir levemente el ángulo efectivo para contemplar efectos de reblandecimiento, humedad estacional y variabilidad.

Cálculos:

- Cohesión de diseño:

$$C_d = \frac{c_{5\%}}{\gamma_R} = \frac{26.7586293}{1.3} = 20.5835572 \text{ KPa}$$

→ $C_d = 20 \text{ kPa}$ (adoptado).

→ Ángulo de fricción de diseño:

$$\varphi_d = \varphi_{5\%} - \Delta\varphi = 27.9584117 - 2.0 = 25.9584117^\circ.$$

→ $\varphi_d = 26^\circ$ (adoptado).

8.5.1.5 Paso 4 — Validación cruzada con ensayos DPL (interpretación y correlaciones)

Se utiliza la información de los ensayos DPL (Anexo A.3) para validar la representatividad de las reducciones. Los resultados de los ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) indican

materiales de consistencia rígida a muy rígida, con valores N_{10} entre 20 y 46 golpes/10 cm (promedio ≈ 27).

Tabla 8.3
Valores de ensayos DPL

DPL	Rango N_{10}	Punto medio N_{10}
DPL-01	22–27	24.5
DPL-02	20–29	24.5
DPL-03	25–30	27.5
DPL-04	13–30	21.5
DPL-05	22–46	34.0
DPL-06	18–34	26.0
DPL-07	30–32	31.0

Fuente: Elaboración propia.

8.5.1.5.1 Estimación NSPT equivalente

Correlación empírica adoptada (literatura práctica):

$$N_{\text{SPT,eq}} \approx 1.5 \times N_{10}$$

Entonces:

$$N_{\text{SPT,eq}} = 1.5 \times 27.0 = 40.5$$

Mediante la correlación práctica $N_{\text{SPT,eq}} = 1.5 \cdot N_{10}$ se obtiene un $\text{NSPT} \approx 40.5$, típico de una arcilla firme a muy firme, equivalente a un ángulo de fricción $\phi \approx 26\text{--}28^\circ$, lo cual respalda la validez de los valores de diseño adoptados.

Por tanto, el DPL respalda la decisión de no mantener los valores de laboratorio sin ajuste y avala los parámetros de diseño adoptados (muestran que el material no es "extremadamente rígido" de forma uniforme).

8.5.1.6 Paso 5 — Análisis comparativo y sensibilidad

Tabla 8.4
Análisis comparativo de escenarios

Escenario	c(kPa)	ϕ (°)	Descripción
A	33.34	28.35	Valores medios de laboratorio
B	26.76	27.96	Valor característico (5%)
C	20.00	26.00	Valores de diseño adoptados

Fuente: Elaboración propia.

El análisis mostró una disminución progresiva del factor de seguridad (FS) al pasar de los valores de laboratorio a los de diseño, confirmando que el escenario C representa el comportamiento más realista y conservador del talud.

Los valores obtenidos en laboratorio ($c = 33.34$ kPa; $\phi = 28.35^\circ$) se consideran relativamente altos para una arcilla superficial de tipo CL. Esto se atribuye a las limitaciones del ensayo de corte directo (falta de control de presiones intersticiales, efecto de succión y fricción pico). Por lo tanto, se adoptaron valores de diseño reducidos ($c = 20$ kPa; $\phi = 26^\circ$), los cuales se ubican dentro de los rangos reportados en la literatura para arcillas firmes y son coherentes con las correlaciones obtenidas del ensayo DPL ($\phi \approx 26\text{--}27^\circ$).

Para el estrato granular (GC), se asumió cohesión nula ($c = 0$ kPa) y un ángulo de fricción $\phi = 32^\circ$, representativo de un relleno denso y bien compactado, conforme a la práctica recomendada por el USACE (2003) y la Norma E.050.

Tabla 8.5
Parámetros de diseño adoptados

Escenario	γ (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)
GC	20.00	0.00	32.00
CL	18.00	20.00	26.00

Fuente: Elaboración propia.

8.6 Nivel de agua

El talud no presenta indicios visibles de agua subterránea activa. Aunque la presencia de vegetación en la corona y algunas trazas verticales de infiltración sugieren una posible circulación superficial estacional asociada a precipitaciones, durante la ejecución de las calicatas no se registró nivel freático dentro de la profundidad explorada. Asimismo, los ensayos DPL realizados en el estrato de arcilla (CL) mostraron consistencia rígida a muy rígida, sin evidencias de ablandamiento por saturación. Tampoco se observaron surgencias, humedades persistentes ni tránsitos de agua, y el río Anya se encuentra hidráulicamente contenido mediante una alcantarilla, por lo que su lámina de agua no interactúa con el pie del talud.

8.7 Lluvia e influencia hidrológica

En los análisis de estabilidad realizados con *Slide v6.0*, no se contó con mediciones directas del nivel freático ni con ensayos de permeabilidad del terreno. Por tal motivo, se adoptó una condición hidráulica conservadora, representando el escenario más desfavorable ante lluvias intensas.

Se ubicó el nivel de agua a 0.30 m por debajo del pie del talud, simulando una saturación temporal coherente con las lluvias intensas obtenidas en el análisis meteorológico.

Esta configuración permite evaluar la reducción de la resistencia efectiva (ϕ' y c') en los materiales CL y GC, reflejando los efectos de saturación parcial durante eventos de alta precipitación.

El modelo no incorpora explícitamente la infiltración transitoria por lluvia, debido a la falta de parámetros hidráulicos específicos. En su lugar, los parámetros de resistencia fueron definidos para una condición drenada con saturación parcial, evitando sobreestimar la estabilidad del talud.

No obstante, se recomienda que, durante la fase de diseño y ejecución, se complemente la información con monitoreo piezométrico, ensayos de permeabilidad y simulaciones adicionales con saturación total, para evaluar la respuesta del talud ante escenarios extremos.

8.8 Coeficiente sísmico

De acuerdo con la zonificación sísmica establecida por el Reglamento Nacional de Edificaciones, aprobada mediante D.S. N.º 355-2018-VIVIENDA y modificada por la R.M. N.º 043-2019-VIVIENDA, la zona de estudio corresponde a la Zona 3, con un coeficiente sísmico horizontal máximo de 0.35.

Basándonos en los lineamientos del U.S. Army Corps of Engineers (USACE, 2003), aceptados en la práctica geotécnica nacional, para el análisis pseudoestático se considera la mitad de la aceleración de zona, lo que equivale a una aceleración de diseño.

$$a_d = 0.5 \times 0.35g = 0.175g$$

En el análisis se utiliza el coeficiente sísmico horizontal adimensional, definido como:

$$k_h = \frac{a_d}{g} = 0.175$$

Por tanto, $k_h=0.17$ (adimensional) fue el valor empleado en los cálculos pseudoestáticos, correspondiente a un nivel de diseño sísmico con periodo de retorno de 475 años, apropiado para obras de infraestructura vial y estructuras de contención.

El coeficiente sísmico k_h no debe expresarse en unidades de gravedad (g), pues representa una razón adimensional entre la aceleración sísmica y la aceleración de la gravedad.

8.9 Metodología de análisis

Los análisis de estabilidad del talud fueron desarrollados en el programa *Slidev6.0* 2D (Rocscience Inc.), aplicando el método riguroso de Morgenstern-Price con función Half-Sine y validando con el método de Spencer (1966), ambos aceptados por satisfacer simultáneamente el equilibrio de fuerzas y de momentos. Se consideraron condiciones estáticas y pseudoestáticas, adoptando un coeficiente sísmico horizontal de 0.17, correspondiente a la mitad del máximo para la zona sísmica 3, en concordancia con la normativa nacional y los lineamientos del USACE (2003) para un periodo de retorno de 475 años. El análisis se realizó utilizando esfuerzos efectivos, integrando la geometría real del talud y los parámetros obtenidos en campo y laboratorio. Con el fin de evaluar el desempeño del talud frente a diferentes situaciones, se definieron cuatro escenarios de estudio: (i) condición actual con el tránsito ferroviario, (ii) condición proyectada con la ampliación de la vía vehicular, (iii) condición reforzada con muro tipo Terramesh en estado estático, y (iv) condición reforzada con muro tipo Terramesh en estado pseudoestático. Estos escenarios facilitaron la determinación de los factores de seguridad en cada caso y valorar la efectividad de la solución de reforzamiento

9. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD

9.1 Escenarios de análisis

Para evaluar la estabilidad del talud en condiciones actuales y proyectadas, se desarrollaron dos modelos utilizando el software *Rocscience Slidev6.0*, considerando los parámetros geotécnicos obtenidos de ensayos de corte directo y densidad de campo. Ambos modelos comparten la misma geometría del talud (altura, pendiente, estratificación) y difieren únicamente en la carga superficial aplicada. Los resultados del análisis de estabilidad se encuentran en el Anexo F.

9.1.1 Escenario A – Condición actual (vía férrea ocasional)

En el escenario A se evaluó la estabilidad del talud considerando la carga superficial actual generada por el tránsito ocasional del ferrocarril, con una carga distribuida de 8.00 kN/m^2 sobre la parte superior del relleno. Este valor fue adoptado en base a estimaciones típicas de presión transmitida por el paso de trenes sobre vías férreas en terraplenes compactados, de acuerdo con los criterios del Manual de Carreteras del MTC (2018) y la guía AREMA (*American Railway Engineering and Maintenance of Way Association*, 2017), donde las cargas verticales en la subrasante oscilan entre 5 y 10 kN/m^2 .

El modelo incluye dos estratos: una capa superior de grava (GC) con un peso unitario de 20 kN/m^3 , cohesión de 0 kPa y ángulo de fricción de 32° ; y una capa inferior de arcilla (CL) con un peso unitario de 18 kN/m^3 , cohesión de 20 kPa y ángulo de fricción de 26° . El análisis realizado con el método de equilibrio límite en el software *Slidev6.0* arrojó un factor de seguridad (FS) de 1.54, lo que sugiere que el talud es estable bajo la situación actual. Este resultado sugiere que, en ausencia de mayores solicitaciones externas o problemas hidrogeológicos, el talud no presenta riesgo significativo de deslizamiento. Sin embargo, este

nivel de estabilidad podría reducirse notablemente ante un aumento de carga, lo cual se evalúa en escenarios posteriores.

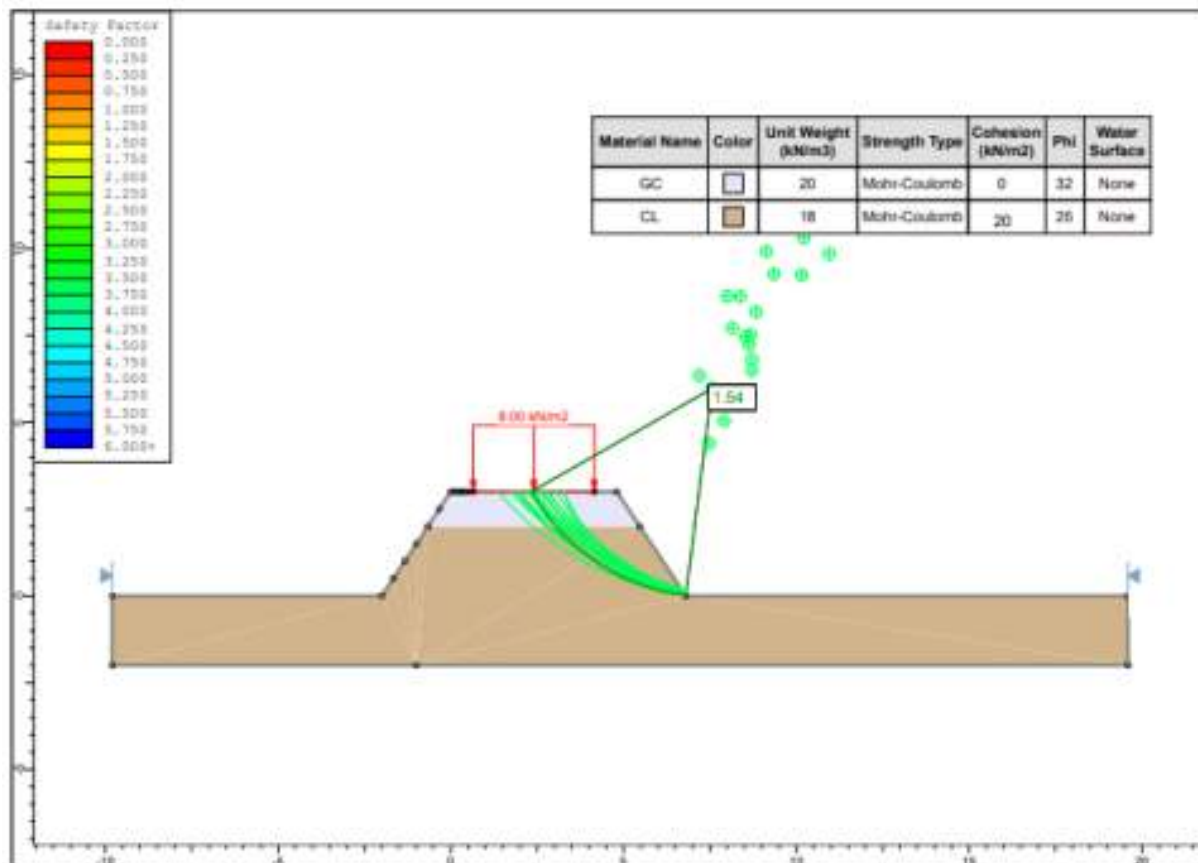


Figura 13. Análisis de estabilidad del talud – Escenario A.

Fuente: Elaboración propia.

9.1.2 Escenario B – Condición futura (carga proyectada)

En el escenario B se simula la condición futura del talud tras el ensanchamiento de la plataforma superior y la aplicación de una carga vehicular distribuida de hasta 20.00 kN/m², producto del tránsito proyectado. Este valor se adopta de acuerdo con los rangos establecidos en el Manual de Carreteras del MTC (2018) y las recomendaciones AASHTO (2018), que consideran cargas superficiales típicas de 15 a 25 kN/m² para plataformas viales sometidas a tránsito regular de vehículos livianos y pesados.

Se mantienen las capas naturales del perfil geotécnico: grava (GC) con $c = 0$ kPa y $\phi = 32^\circ$, arcilla (CL) con $c = 20$ kPa y $\phi = 26^\circ$, y se añade una nueva unidad correspondiente al relleno estructural previsto (SRR), caracterizado por un peso unitario de 20 kN/m^3 , cohesión de 0 kPa y un ángulo de fricción de 34° , correspondiente a un material granular compactado. Los parámetros del SRR corresponden a un relleno granular típico compactado, tomados de valores de referencia de la literatura geotécnica (MTC, 2018; Terzaghi & Peck, 1996) y manuales de diseño vial.

El modelo arrojó un factor de seguridad (FS) de 0.69 , valor que indica un estado de inestabilidad. Este resultado confirma que, ante el incremento de solicitaciones y sin medidas de refuerzo, el talud no es capaz de soportar las nuevas condiciones de carga, presentando un riesgo potencial de deslizamiento por falla superficial. La localización de la superficie de falla calculada —que atraviesa el relleno proyectado— evidencia la necesidad de implementar una solución de estabilización adecuada, como el muro Terramesh, para mejorar la gestión de la seguridad estructural y funcional del terraplén modificado.

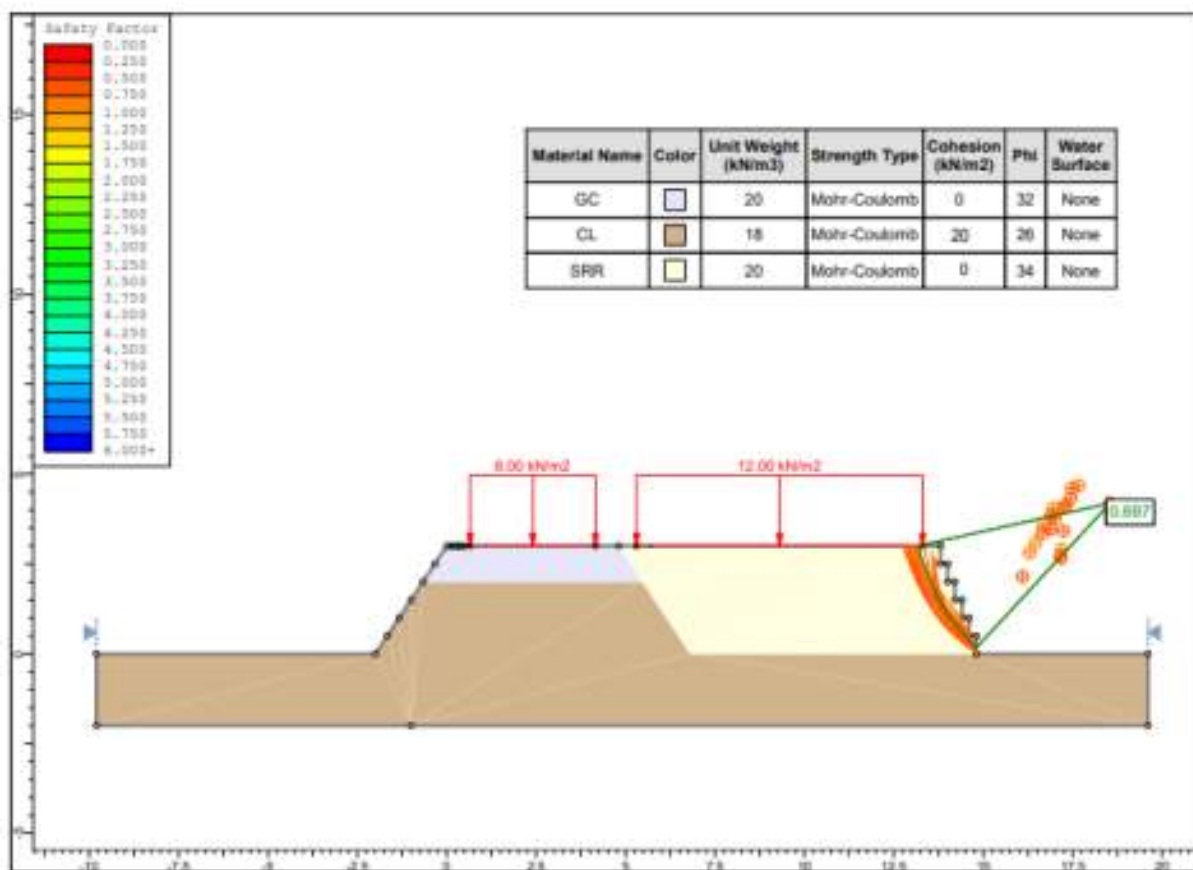


Figura 14. Análisis de estabilidad del talud – Escenario B.

Fuente: Elaboración propia.

9.1.3 Análisis e interpretación

En el Escenario A, correspondiente a la condición actual con tránsito ocasional del ferrocarril, el talud mostró un factor de seguridad (FS) de 1.54, valor que refleja una condición altamente estable. Este resultado confirma que, bajo la carga superficial de 8.00 kN/m² y en ausencia de cambios hidrogeológicos, el talud se encuentra en equilibrio y no representa riesgo inminente de deslizamiento. La estabilidad observada se debe a la combinación de parámetros geotécnicos relativamente favorables de las gravas (GC) en la capa superior y de las arcillas (CL) en la base, los cuales aportan cohesión y resistencia interna al macizo. Sin embargo, si bien el FS es alto, se reconoce que este nivel de estabilidad podría verse reducido ante condiciones de sobrecarga.

En contraste, el Escenario B evidencia el impacto negativo que tendría el incremento de cargas por la habilitación de una vía vehicular. La carga superficial aumenta hasta 20.00 kN/m^2 , lo cual, sumado al ensanchamiento de la plataforma, genera un desequilibrio en el sistema. En este escenario se incorpora un nuevo estrato de relleno estructural (SRR), que representa el material granular que será colocado para el ensanchamiento de la plataforma superior, razón por la cual se le asignaron parámetros típicos de un relleno compactado de grava bien gradada: peso unitario de 20 kN/m^3 , ángulo de fricción de 34° y una cohesión aparente de 0 kPa . Estos valores son coherentes con la literatura geotécnica (Das, 2011; Craig, 2012) y reflejan condiciones de compactación controlada en obra. Cabe destacar que, debido a las condiciones del entorno, este muro se plantea únicamente en uno de los lados del talud, ya que el lado opuesto constituye una vía de acceso comunal que debe mantenerse libre y operativa para la transitabilidad local.

La comparación entre ambos escenarios permite interpretar que el talud pasa de una condición de estabilidad en la situación actual, a una condición de inestabilidad en la proyección con tránsito vehicular frecuente. Este contraste resalta la sensibilidad del talud a las cargas adicionales y justifica la necesidad de implementar medidas de estabilización que compensen la pérdida de seguridad estructural, lo cual se aborda en escenarios posteriores con la propuesta del muro tipo Terramesh.

9.2 Propuesta de solución: muro de contención tipo Terramesh

9.2.1 Justificación

El análisis de estabilidad demostró que el talud en su condición proyectada, sometido a la nueva carga vehicular, presenta un factor de seguridad inestable ($FS < 1.0$), lo que evidencia un riesgo alto de deslizamiento. Frente a esta situación, la implementación de un muro de suelo reforzado tipo Terramesh constituye una solución técnica adecuada, ya que combina el refuerzo

mecánico proporcionado por mallas metálicas galvanizadas con el relleno granular compactado. Este sistema ofrece flexibilidad, alta capacidad de soporte y eficiencia constructiva, siendo especialmente recomendable en taludes de relleno con materiales heterogéneos como los identificados en el sector Av. Ferrocarril – cruce con el río Anya.

El Terramesh permite mejorar la resistencia global del talud, contener los esfuerzos adicionales generados por el tránsito vehicular y recuperar un factor de seguridad mayor a 1.5, cumpliendo con los estándares geotécnicos para la estabilidad de taludes en infraestructura vial.

Este sistema se elige porque resulta adecuado para taludes de relleno con materiales heterogéneos y se trata de una solución con ventajas económicas y constructivas frente a otros sistemas rígidos, ya que se adapta a deformaciones diferenciales y puede ejecutarse con materiales de relleno disponibles en la zona.

9.2.2 Criterios generales de diseño

Los criterios generales de diseño adoptados para el muro de suelo reforzado tipo Terramesh se establecieron conforme a las recomendaciones del Federal Highway Administration (FHWA, 2009) y al Manual Técnico del Sistema Terramesh de Maccaferri (2010), ambos reconocidos como referencias normativas y técnicas de aplicación internacional. Estos lineamientos contemplan aspectos fundamentales como la altura del muro, la longitud de los refuerzos, la separación vertical entre ellos, el tipo de material de relleno, las condiciones de drenaje y los factores mínimos de seguridad requeridos.

La primera hilada del muro se dispuso con un embebimiento de 0.60 m por debajo del ras final, garantizando el anclaje del refuerzo dentro del estrato arcilloso competente (CL) y evitando procesos de socavación o pérdida de apoyo en la base del muro. Este criterio de diseño cumple con las recomendaciones de la FHWA y Maccaferri para muros de suelo reforzado, donde se sugiere un empotramiento mínimo equivalente al mayor entre 0.6 m o el 10 % de la altura total del muro (H).

Se seleccionó un relleno granular bien gradado ($\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$, $\phi \geq 34^\circ$, cohesión despreciable $\approx 0\text{--}2 \text{ kPa}$), lo que garantiza un comportamiento estable ante cargas dinámicas y reduce los riesgos asociados a la saturación. La longitud mínima de refuerzo, definida como $\geq 2/3$ de la altura del muro, y la separación vertical de 0.50 m entre refuerzos, aseguran una adecuada transferencia de esfuerzos internos y compatibilidad estructural.

Asimismo, se consideró la inclusión de sistemas de drenaje y geotextiles para controlar la presión de poros y evitar la migración de finos. Si bien estos elementos no fueron modelados explícitamente en el software *Slide v6.0* —dado que este programa evalúa la estabilidad global del conjunto y no los detalles constructivos—, se integran como parte de los criterios conceptuales de diseño. El geotextil actúa como filtro que impide el arrastre de partículas finas del relleno, mientras que el sistema de drenaje disipa presiones intersticiales y previene fallas por filtración o pérdida de resistencia durante la operación.

Por tanto, los criterios adoptados no se contradicen entre sí, sino que se complementan, al provenir de guías oficiales y manuales especializados que son compatibles y aplicables de manera conjunta. Su aplicación coordinada asegura que la solución propuesta cumpla tanto con los requisitos de estabilidad global como con las condiciones constructivas y funcionales del muro en campo. Estos datos y procedimientos se desarrollan en detalle en el Anexo E: Memoria de cálculo del muro Terramesh.

Tabla 9.1
Criterios generales de diseño del muro Terramesh

Criterio	Valor / Condición adoptada	Referencia / Observación
Altura del muro	3.0 m	Corresponde a la altura del talud analizado.
Longitud mínima de refuerzo	2.0 m ($\geq 2/3$ de la altura del muro)	FHWA (2009), <i>Terramesh Technical Manual</i> (2010).
Separación vertical entre refuerzos	0.5 m	Según recomendaciones de diseño de muros MSE (FHWA, 2009).
Material de relleno	Grava bien graduada ($\phi \geq 34^\circ$, $c \approx 0$, $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$)	Material granular selecto, sin arcillas plásticas.
Carga superficial considerada	20 kPa	Carga distribuida equivalente al tránsito vehicular proyectado.
Embebimiento de la primera hilada	0.60 m bajo el ras final	Asegura el anclaje en el estrato CL competente y estabilidad basal.
Factor de seguridad esperado	$FS \geq 1.50$ (estático)	Criterio mínimo para estabilidad global.
Tipo de refuerzo	Mallas metálicas galvanizadas con panel frontal prefabricado	Sistema Terramesh, Maccaferri (2010).
Sistema de drenaje	Colocación de geotextil filtrante y drenes internos	Evita acumulación de presión de poros.

Fuente: Elaboración propia.

9.2.3 Objetivo de la solución

El objetivo principal de la implementación del muro de suelo reforzado tipo Terramesh es recuperar y mejorar la estabilidad del talud de relleno ubicado en el sector Av. Ferrocarril – cruce con el río Anya, frente al incremento de cargas dinámicas generadas por la futura vía vehicular. Esta solución busca:

- Incrementar el factor de seguridad del talud hasta valores mayores a 1.5, cumpliendo con los estándares geotécnicos establecidos para obras viales.

- Controlar los esfuerzos cortantes y las deformaciones progresivas generadas por la carga vehicular continua, evitando deslizamientos superficiales o globales.
- Optimizar el uso de materiales de construcción, empleando rellenos granulares compactados y mallas metálicas reforzadas, lo cual permite una solución eficiente y de menor costo en comparación con estructuras rígidas tradicionales.
- Asegurar la durabilidad de la infraestructura vial mediante un sistema flexible y resistente, capaz de adaptarse a asentamientos diferenciales y a condiciones climáticas variables de la sierra central.

En síntesis, la propuesta del muro Terramesh tiene como finalidad brindar seguridad geotécnica y vial, reduciendo los riesgos de inestabilidad en el talud y aumentando la sostenibilidad de la obra a largo plazo.

9.3 Evaluación post-muro (simulación en *Slidev6.0*)

9.3.1 Escenario C – Condición futura (carga proyectada con muro Terramesh)

El Escenario C representa la condición proyectada del talud tras el ensanchamiento de la plataforma y la aplicación de la carga vehicular distribuida, incorporando como medida de estabilización un muro de suelo reforzado tipo Terramesh. En el modelo numérico, el muro se representó mediante la unidad estructural SRM, asignándole parámetros coherentes con las recomendaciones de diseño para muros de suelo reforzado: peso unitario $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$, cohesión $c = 0 \text{ kPa}$ (cohesión despreciable en rellenos granulares) y ángulo de fricción $\phi = 34^\circ$. Estos valores corresponden a un relleno selecto, bien graduado y compactado, recomendado por Maccaferri (2010) y la FHWA (2009) para sistemas Terramesh, donde la resistencia global proviene principalmente de la fricción interna del material y de la acción mecánica del refuerzo metálico, más que de una cohesión intrínseca elevada.

El análisis de estabilidad, efectuado mediante el método de equilibrio límite, arrojó un factor de seguridad $FS = 1.62$ bajo condiciones estáticas y sin presencia de nivel freático, lo que indica un comportamiento estable y cumple con el criterio mínimo de diseño ($FS \geq 1.50$). La superficie crítica de falla se desarrolla por detrás del plano de refuerzo, confirmando que el muro cumple su función de reforzar la zona inestable del talud y disipar las tensiones inducidas por la carga vehicular proyectada.

Adicionalmente, se evaluó la condición con nivel freático ubicado a 0.30 m por debajo del pie del talud, representando el escenario más desfavorable por saturación temporal durante lluvias intensas, no una condición permanente de nivel freático. En este caso, el factor de seguridad resultó $FS = 1.434$, manteniéndose por encima del valor mínimo aceptable ($FS \geq 1.40$ para condiciones saturadas), lo que demuestra que la solución conserva estabilidad incluso ante incremento de presiones intersticiales.

En conjunto, los resultados evidencian que la implementación del muro tipo Terramesh no solo recupera la estabilidad global del terraplén, sino que también proporciona un margen de seguridad adicional frente a eventos sísmicos o sobrecargas transitorias. Esta alternativa constituye una solución técnica, económica y constructiva viable para las condiciones geotécnicas específicas del proyecto.

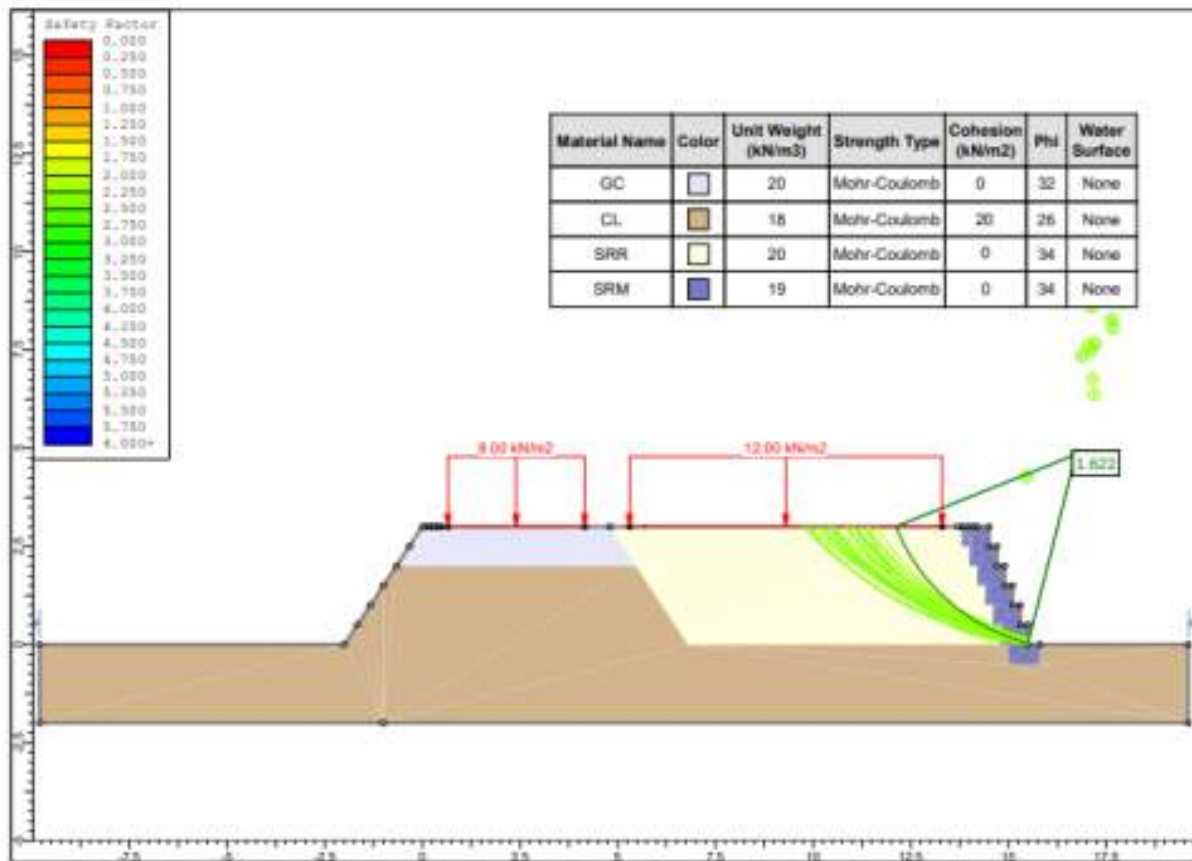


Figura 15. Análisis de estabilidad del talud – Escenario C.

Fuente: Elaboración propia.

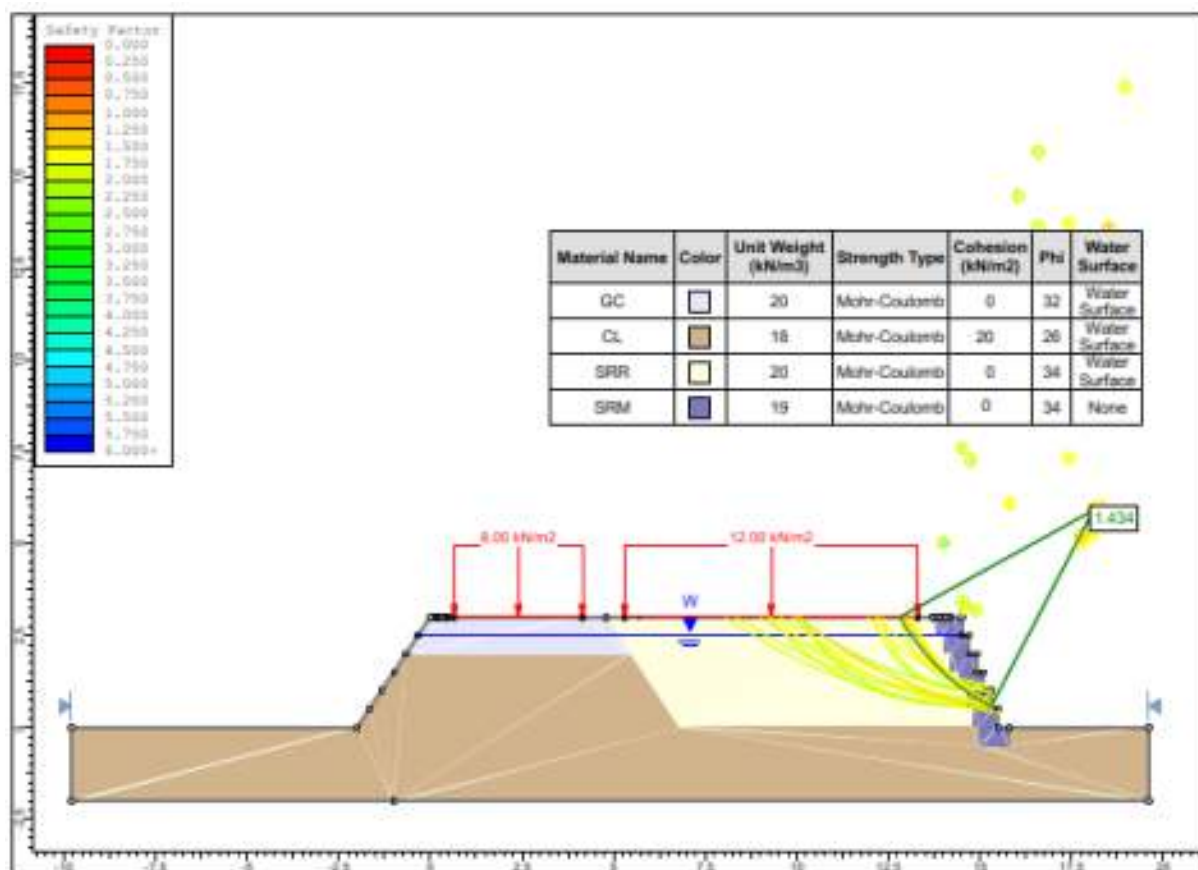


Figura 16. Análisis de estabilidad del talud – Escenario C – Saturado

Fuente: Elaboración propia.

9.3.2 Escenario D – Condición futura (carga proyectada con muro Terramesh) –

Análisis Pseudoestático

El análisis pseudoestático, realizado con un coeficiente sísmico horizontal $k_h = 0.17$, arrojó un factor de seguridad (FS) = 1.28 en condición seca, lo que evidencia una condición estable que supera los valores mínimos recomendados para estabilidad sísmica ($FS \geq 1.10 - 1.20$, según la Norma E.050 del RNE, 2018 y criterios FHWA, 2009). Este resultado confirma la eficacia de la solución estructural propuesta, tanto en la mejora de la resistencia global del talud como en la contención de los esfuerzos inducidos por la carga vehicular y la solicitación sísmica.

Complementariamente, se evaluó la condición pseudoestática con nivel freático ubicado a 0.30 m por debajo del pie del talud, representando el escenario más desfavorable de saturación temporal. En este caso, el factor de seguridad disminuyó a $FS = 1.097$, manteniéndose dentro del rango aceptable para estabilidad sísmica y confirmando que el sistema de refuerzo conserva su desempeño estructural aún bajo incremento de presiones intersticiales.

La superficie crítica de falla se desarrolla por detrás del muro reforzado, lo que demuestra que la estructura cumple su función de estabilizar la base inestable del talud y disipar las tensiones generadas. En consecuencia, la implementación del muro tipo Terramesh asegura la estabilidad global bajo condiciones estáticas, pseudoestáticas y de saturación parcial, proporcionando un margen de seguridad adicional frente a eventos sísmicos y sobrecargas transitorias. Esta alternativa constituye una solución técnica, confiable y económicamente eficiente para las condiciones geotécnicas del proyecto.

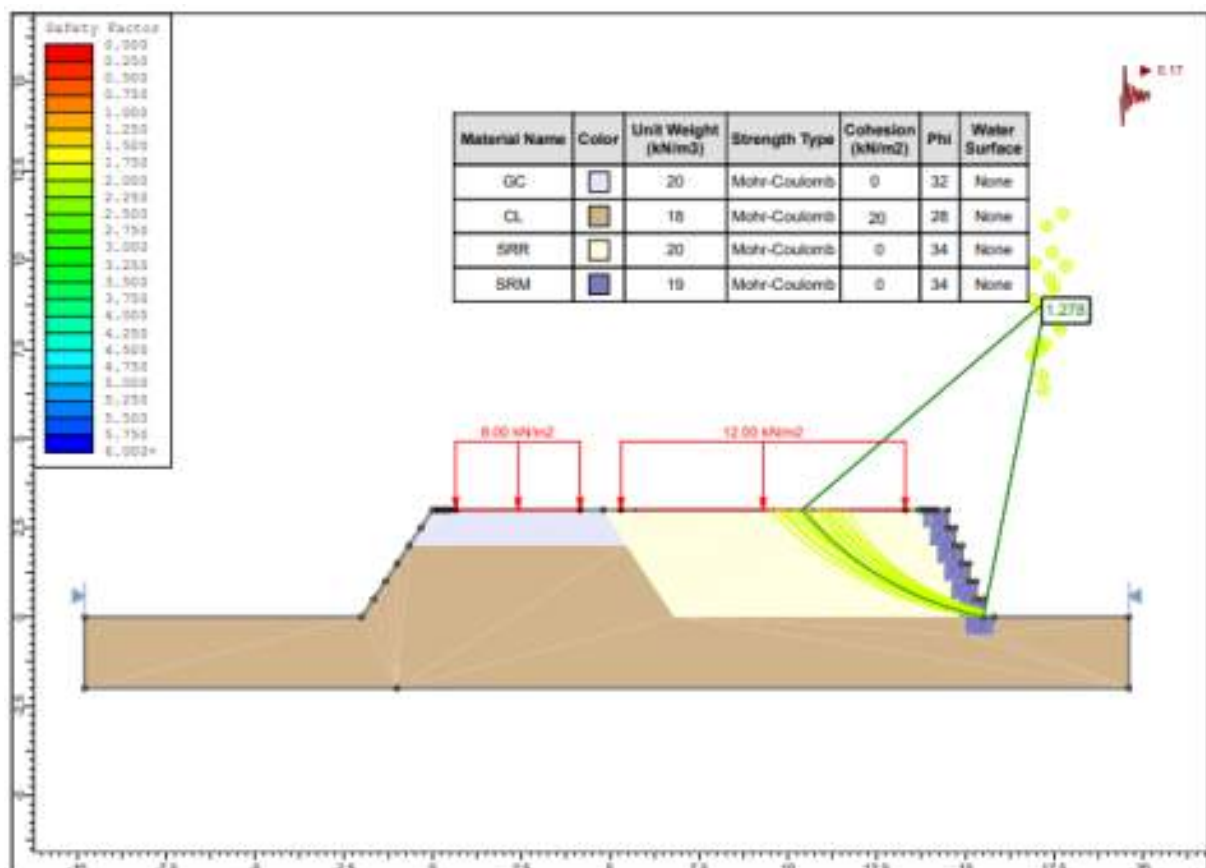


Figura 17. Análisis de estabilidad del talud – Escenario D.

Fuente: Elaboración propia.

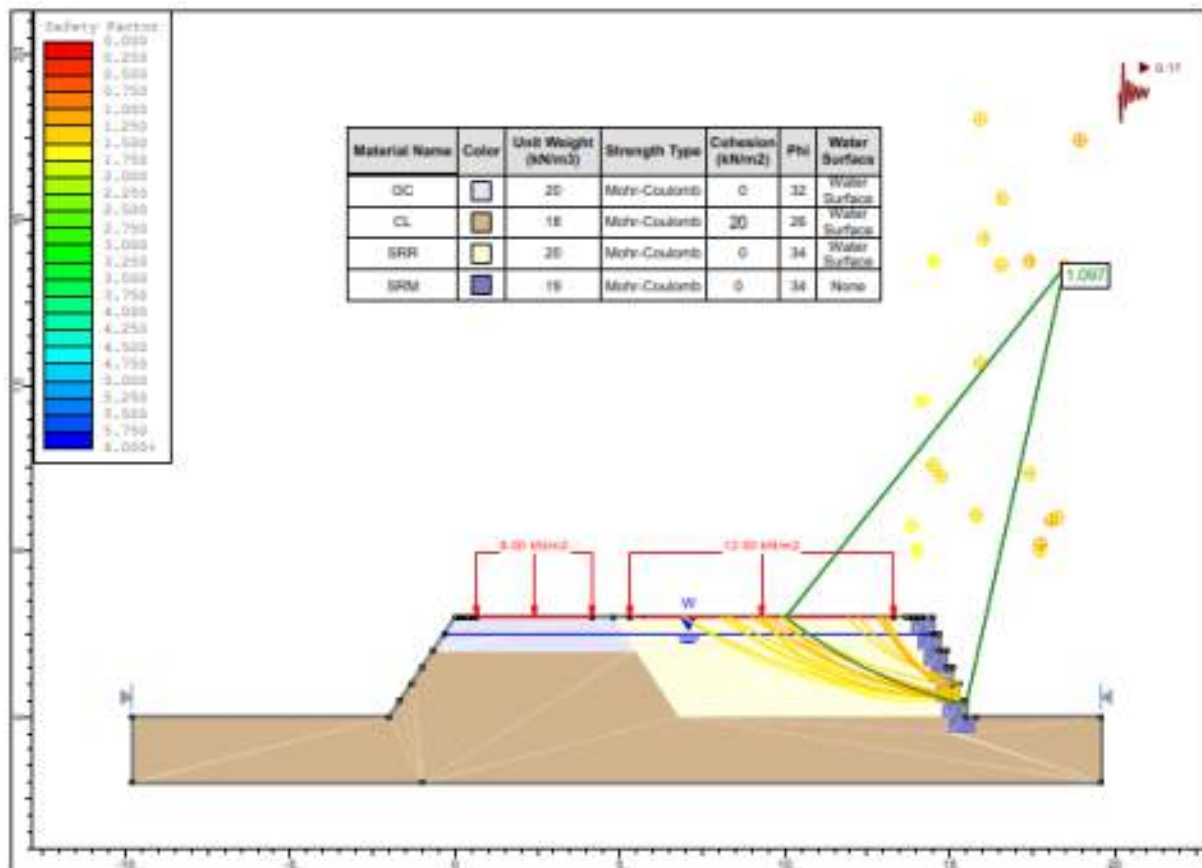


Figura 18. Análisis de estabilidad del talud – Escenario D - Saturado

Fuente: Elaboración propia.

9.3.3 Análisis e interpretación

En el Escenario A (condición actual con tránsito ferroviario ocasional), el talud alcanza un factor de seguridad (FS) de 1.54, lo que representa una condición de alta estabilidad. Este valor demuestra que bajo la carga superficial de 8.00 kN/m², el talud se encuentra estable y no presenta riesgo de deslizamiento, siempre que no existan variaciones importantes en el nivel de humedad o condiciones de saturación.

En el Escenario B (condición futura con tránsito vehicular proyectado), la carga superficial se incrementa hasta 20.00 kN/m², lo que reduce notablemente el FS, situándolo en 0.69. Este resultado indica una condición de inestabilidad con alta probabilidad de ocurrencia

de deslizamientos. La incorporación de un relleno estructural granular (SRR) en la corona del talud mejora localmente la compactación de la plataforma, pero no logra contrarrestar el efecto de la sobrecarga dinámica inducida por el tránsito vehicular frecuente.

En el Escenario C (condición futura con implementación del muro tipo Terramesh), se evalúa la efectividad de la medida de estabilización propuesta. Los resultados muestran que el FS se recupera hasta 1.62, superando el umbral mínimo recomendado para la estabilidad global ($FS \geq 1.50$). Este incremento confirma que el muro Terramesh constituye una solución técnicamente viable y eficiente, ya que refuerza la base del talud y controla los esfuerzos adicionales, mejorando así la seguridad de la infraestructura vial frente a las cargas proyectadas. Finalmente, en el Escenario D (condición pseudoestática con sismo), se incorpora la sollicitación sísmica mediante un coeficiente horizontal de $k_h=0.17$. El análisis muestra un $FS=1.28$, lo que refleja una condición altamente estable incluso bajo cargas dinámicas. Este valor supera los mínimos recomendados para estabilidad sísmica ($FS \geq 1.10 - 1.20$, según normativa), evidenciando que la solución estructural propuesta proporciona un margen de seguridad adicional frente a la acción sísmica.

La comparación global entre los escenarios evidencia la evolución del talud desde una condición estable (Escenario A), pasando por una condición de inestabilidad (Escenario B), hasta una condición recuperada con estabilidad aceptable (Escenario C) y finalmente una condición de alta seguridad bajo sollicitación sísmica (Escenario D). Este análisis demuestra que el incremento de cargas vehiculares y los efectos dinámicos son factores determinantes en la pérdida de estabilidad y que la implementación del muro tipo Terramesh es necesaria para asegurar la sostenibilidad y seguridad de la vía en el largo plazo.

Tabla 9.2**Cuadro comparativo de Escenarios vs Estado de Estabilidad**

Escenario	Condición analizada	Intervención	Carga superficial (kPa)	Factor de seguridad (FS)	Estado de Estabilidad
A	Actual (paso ferroviario ocasional)	Ninguna	8	1.54	Estable, sin riesgo
B	Proyectada (paso vehicular)	Ensanchamiento de plataforma sin muro	20	0.69	Inestable, riesgo de falla
C	Proyectada con resfuerzo	Ensanchamiento + Muro Terramesh	20	1.62	Estable, con seguridad reforzada
D	Proyectada con refuerzo – Condición pseudoestática	Ensanchamiento + Muro Terramesh + Coeficiente sísmico	20	1.28	Estable, con seguridad reforzada

Fuente: Elaboración propia.

Nota: FS calculados mediante el método de Morgenstern-Price (Slide v6.0, Rocscience Inc., 2024).

10. CONCLUSIONES

- El estudio permitió caracterizar adecuadamente las condiciones geotécnicas del terraplén ubicado en el cruce de la Av. Ferrocarril con el río Anya (San Pedro de Saño, Huancayo), identificándose dos unidades principales: un relleno granular arcilloso (GC) en la parte superior y una arcilla de baja plasticidad (CL) de consistencia rígida en la base. La evidencia de los ensayos DPL mostró rechazos entre 1.7 y 3.1 m, confirmando la competencia del estrato fundacional.
- Los resultados de laboratorio (ensayos de corte directo) reflejaron valores relativamente altos de cohesión y fricción para la arcilla ($c \approx 33$ kPa; $\phi \approx 28^\circ$), los cuales fueron ajustados mediante una memoria descriptiva paso a paso. Aplicando estadística muestral, percentil 5, factores parciales y correlaciones con DPL, se definieron parámetros de diseño más realistas:
 - Arcilla CL: $c_d = 20.6$ kPa, $\phi_d = 26^\circ$
 - Relleno GC: $c = 0$ kPa, $\phi = 32^\circ$Estos valores representan una condición drenada con saturación parcial, acorde con las condiciones naturales y las recomendaciones de Terzaghi & Peck (1967) y USACE (2003).
- El nivel de fundación ($D_f = 0.30$ m) se estableció tras el retiro de la capa orgánica superficial, asentando la estructura sobre el estrato CL competente. En el modelamiento, se incluyó una subbase granular compactada (0.30 m al 95% Proctor Modificado) para uniformizar la base y mejorar el drenaje local, garantizando condiciones de apoyo seguras para la primera hilada del muro Terramesh.

- En el análisis de estabilidad con *Slide v6.0*, se adoptó un nivel freático conservador ubicado a 0.30 m por debajo del pie del talud, representando una posible saturación temporal por lluvias intensas. Esta condición permitió evaluar la reducción de resistencia efectiva (ϕ' , c') en los estratos CL y GC sin recurrir a suposiciones arbitrarias de infiltración, simulando un escenario desfavorable pero realista.
- El análisis meteorológico realizado con datos sintéticos basados en registros de SENAMHI (2012–2023) permitió estimar una precipitación media anual de 1,030 mm, con máximas diarias de hasta 180 mm/día para un periodo de retorno de 100 años. Estos valores evidencian la necesidad de considerar episodios de saturación estacional en la evaluación de la estabilidad del talud y en el diseño del sistema de drenaje superficial.
- El análisis de estabilidad demostró que el talud de relleno, bajo la condición actual de carga superficial generada por el tránsito ocasional del ferrocarril (8 kPa), presenta un factor de seguridad $FS = 1.54$, valor superior al mínimo requerido ($FS \geq 1.5$). Esto confirma que el talud se encuentra estable en su estado actual, sin riesgo inminente de falla.
- La simulación del escenario proyectado, con la aplicación de una carga superficial de hasta 12 kPa en el terraplén modificado correspondiente al tránsito vehicular frecuente, arrojó un factor de seguridad $FS = 0.69$, valor que refleja una condición de inestabilidad y riesgo elevado de deslizamiento. Se comprueba así que la adición de carga vehicular y la modificación del talud de relleno reduce la estabilidad.
- La incorporación de un muro de suelo reforzado tipo Terramesh en el terraplén modificado permitió recuperar la estabilidad, alcanzando un factor de seguridad $FS=1.62$, superior al mínimo establecido para taludes estables ($FS \geq 1.5$). Este resultado confirma la eficacia técnica de la solución propuesta, validando su aplicación como medida de mitigación frente a la carga proyectada.

- En el análisis pseudoestático, la incorporación de un muro de suelo reforzado tipo Terramesh en el pie del talud permitió recuperar la estabilidad, alcanzando un factor de seguridad de $FS = 1.28$. Este resultado confirma la eficacia técnica de la solución propuesta, validando su aplicación como medida de mitigación frente a la carga proyectada y asegurando un desempeño confiable incluso bajo solicitaciones sísmicas.

11. RECOMENDACIONES

- Se recomienda ejecutar la construcción de un muro de suelo reforzado tipo Terramesh en el pie del terraplén modificado, conforme a los parámetros de diseño adoptados ($c_d = 20.6$ kPa; $\phi_d = 26^\circ$; $H = 3.0$ m). Este sistema constituye la solución más eficiente y técnicamente viable para incrementar la estabilidad global del talud, especialmente bajo la carga vehicular proyectada y condiciones sísmicas.
- Debe instalarse un sistema de integral que incluya zanjas perimetrales, cunetas revestidas y drenes internos o subdrenes, a fin de evitar acumulaciones de agua o filtraciones en el cuerpo del terraplén. La saturación de los materiales CL y GC puede reducir significativamente la resistencia al corte (ϕ' y c') y acelerar los procesos de falla por deslizamiento.
- Para el diseño definitivo, se recomienda desarrollar estudios hidrológicos y geotécnicos adicionales, incluyendo: monitoreo piezométrico permanente, ensayos de permeabilidad *in situ* y en laboratorio, análisis hidrológicos con curvas IDF locales actualizadas del SENAMHI, modelamiento acoplado de lluvia–infiltración (con software tipo SEEP/W o *Slide Hydro*). Estas acciones permitirán modelar escenarios extremos de saturación total y optimizar el sistema de drenaje.
- Se debe implementar un plan de mantenimiento rutinario que contemple la limpieza periódica de cunetas y drenes, reposición del material granular erosionado, control de erosión superficial mediante cobertura vegetal o geomantas, inspección poslluvia para detectar asentamientos o filtraciones. Estas labores deben programarse con frecuencia estacional (antes y después de la temporada de lluvias).
- Regular el tipo y frecuencia de tránsito vehicular sobre el talud reforzado, evitando sobrecargas no previstas en el diseño. De ser necesario, considerar la implementación de señalización vial y restricciones de peso en el tramo.

- Promover la revegetación de taludes con especies nativas de raíces poco profundas y buena cobertura (gramíneas y arbustos locales), que controlen la erosión superficial y favorezcan el drenaje natural, evitando el incremento del peso propio o la retención de agua en superficie.
- Se recomienda implementar un programa de instrumentación y monitoreo geotécnico, que contemple: medición periódica de desplazamientos superficiales (marcas de control o inclinómetros), observación de surgencias, grietas o erosión, registro de lluvias intensas y su correlación con deformaciones observadas. Este seguimiento permitirá evaluar el desempeño real del muro y del talud y aplicar medidas preventivas o correctivas oportunas.
- Finalmente, se sugiere integrar las acciones de mantenimiento, monitoreo y control en un plan de gestión de estabilidad del talud, que defina responsabilidades, periodicidad de inspecciones y protocolos de respuesta ante eventos extremos (lluvias intensas o sismos).

12. REFERENCIAS

- AMERICAN RAILWAY ENGINEERING AND MAINTENANCE OF WAY ASSOCIATION (AREMA). (2017). *Manual for Railway Engineering* (Vol1-4). AREMA Publications.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (ASSTHO). (2017). *AASHTO LRFD Bridge Desing Specifications (8th ed.)* Washington, DC.: AASTHO.
- ASTM. (2017). *ASTM D4318-17: Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D4318-17>
- Atterberg, A. (1911). Die plastizität der tone. *Internationale Mitteilungen für Bodenkunde*, 1(1), 10–43.
- BADILLO, J. (2005). *Mecánica de suelos* (5.^a ed.). Limusa.
- BISHOP, A. W. (1955). *The use of the slip circle in the stability analysis of slopes*. *Geotechnique*, 5(1), 7–17. <https://doi.org/10.1680/geot.1955.5.1.7>
- BLAS, J (2021). *Caracterización geotécnica para determinar el modelo de estabilización de talud a escala reducida, barrio Los Olivos, Independencia, Huaraz, Ancash, Perú*. Tesis de Posgrado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- BUDHU, B. (2011). *Soil Mechanics and foundations* (3th Ed.), John Wiley and Sons, New York.

- CASTAÑÓN GARAY, P. (2011). *Cálculo del Factor de Erosión de la lluvia en las estaciones Papaloapan y Cd. Alemán de la cuenca de Papaloapan*. Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- CERNA GUTIÉRREZ, M. (2019). *Estabilidad de taludes de relleno en plataformas urbanas de expansión en Huancayo*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- CRAIG, R. F. (2012). *Mecánica de suelos (7.^a ed.)*. Cengage Learning.
- DAS, B. M. (2011). *Principles of geotechnical engineering (7th ed.)*. Cengage Learning.
- DEERE, D. U., & MILLER, R. P. (1968). *Engineering classification and index properties for intact rock. Technical Report No. AFWL-TR-65-116*. Air Force Weapons Laboratory.
- DUNCAN, J. M., WRIGHT, S. G., & BRANDON, T. L. (2014). *Soil strength and slope stability*. John Wiley & Sons.
- FELLENIUS, W. (1922). *Ergebnisse der erdstatischen Berechnungen für den Brückenbau*. Ernst & Sohn.
- FHWA. (2003). *Soil nail walls: Reference manual (FHWA-IF-03-017)*. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.
- FLORES HUAMÁN, R. (2020). *Estabilidad de taludes de relleno en la carretera Central – tramo La Oroya – Huancayo*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- GRAY, D. H., & SOTIR, R. B. (1996). *Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization*. Wiley.

- GÓMEZ MORALES, A. (2018). *Identificación de zonas vulnerables frente a deslizamientos en la subcuenca del río Canipaco, distrito de Colca, Huancayo*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- HOEK, E., & CARTER, T. (2013). *Quantification of the geological strength index chart*. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 57, 151–160.
<https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2012.07.001>
- HUAMÁN CÁRDENAS, P. (2018). *Análisis de la estabilidad de taludes de relleno en proyectos viales de la región Ayacucho*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- INGEMMET – INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO. (2021). *Hoja geológica 24m: Cuadrángulo de Jauja, escala 1:50 000*.
- KOERNER, R. M. (2012). *Designing with geosynthetics (6th ed.)*. Xlibris Corporation.
- LIANG, R., ZHAI, M., & SUN, L. (2015). *Stability of slopes under traffic-induced dynamic loads*. *Engineering Geology*, 187, 73–84. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.12.010>
- LÓPEZ JIMENO, C. (1994). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. Editorial Rueda.
- MACCAFERRI. (2010). *Terramesh system – Technical manual*. Maccaferri Group.
- MARINOS, P., & HOEK, E. (2000). *GSI: A geological friendly tool for rock mass strength estimation*. *Proceedings of the International Conference on Geotechnical and Geological Engineering*. Melbourne.
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES – MTC. (2015). *Informe técnico sobre la estabilidad de taludes en carreteras de la Sierra Central*. Lima: MTC.

- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES – MTC. (2018). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos* (Volumen 3). Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, Lima, Perú.
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. (2019). *Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma Técnica E.030: Diseño Sismorresistente*. Aprobada mediante D.S. N° 355-2018-VIVIENDA y modificada por R.M. N° 043-2019-VIVIENDA. Lima, Perú: MVCS.
- NORMAS AASTHO, American Association of State Highway and Transportation Officials (1998) *Guide for Desing of Pavement Structures USA*.
- NORMAS ASTM, American Society for Testing and Materials (2000) *Standars International USA*.
- ORTIZ, R. (2006). *Ingeniería geotécnica: Mecánica de suelos y cimentaciones*. Limusa.
- PÉREZ VELARDE, M. (2019). *Estabilidad de taludes de relleno en áreas de expansión urbana en Arequipa*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- ROCSCIENCE INC. (2020). *Slide v6.0: 2D limit equilibrium slope stability analysis*. Toronto: Rocscience.
- ROJAS POMA, D. (2016). *Estabilidad de taludes de relleno en zonas urbanas con pendientes pronunciadas, Cusco*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- SACKSCHEWSKI C.(2017). *Soluciones para la estabilidad de taludes de la carretera Canta –Huayllay entre las progresivas del km 102 al km 110*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

- SPENCER, E. (1967). *A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel inter-slice forces*. Géotechnique, 17(1), 11–26.
<https://doi.org/10.1680/geot.1967.17.1.11>
- SUÁREZ B. (2016). *Análisis de estabilidad de taludes*. Medellín, Colombia.
- VALVERDE RUIZ E. A. (2010). *Análisis de la influencia de la precipitación en el esfuerzo de succión y la estabilidad de un talud*. Instituto Tecnológico de Costa Rica escuela de Ingeniería en Construcción.
- TERZAGHI, K. (1943). *Theoretical Soil Mechanics*. Wiley.
- TERZAGHI, K., PECK, R. B., & MESRI, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice (3rd ed.)*. Wiley-Interscience.
- TORO, R. (2012). *Mecánica de suelos: Fundamentos y aplicaciones*. Alfaomega.
- VAN WESTEN, C. J. (1993). *Slope instability: Recognition, analysis and zonation*. ITC.
- VARNES, D. J. (1988). *Landslide types and processes*. En R. L. Schuster & R. J. Krizek (Eds.), *Landslides: Analysis and control* (Transportation Research Board Special Report 176, pp. 11–33). National Academy Press.
- WHITLOW, R. (1994). *Fundamentos de la mecánica de suelos*. Longman.

13. ANEXOS

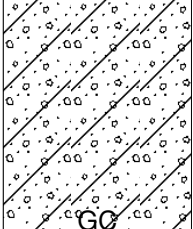
ANEXOS

ANEXO A
REGISTRO DE CAMPO

Fecha de registro: 25-08-21

Prof. perforación (m): 2,00 m

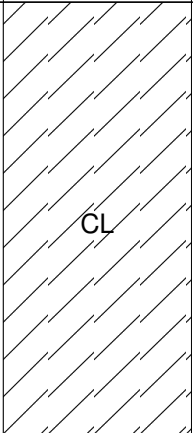
Nivel de agua (m): NP

Profundidad (m)	Fin de tramo (m)	Símbolo litológica	Descripción litológica	Clasificación		Muestra	Ensayos <i>in situ</i>
				SUCS	ASSHTO		
0			Grava arcillosa con arena, plasticidad nula, color marrón, estructura homogénea. Grava = 51,70 % Arena = 17,10 %. Finos = 31,20 %. Perfil del suelo Tipo S2. Suelos intermedios.	GC	A-2-4 (0)	M-01	

Fecha de registro: 25-08-21

Prof. perforación (m): 2,00 m

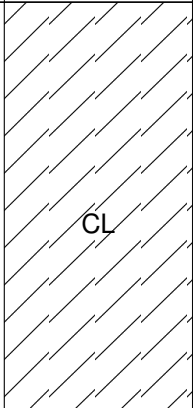
Nivel de agua (m): NP

Profundidad (m)	Fin de tramo (m)	Símbología litológica	Descripción litológica	Clasificación		Muestra	Ensayos <i>in situ</i>
				SUCS	ASSHTO		
0			Arcilla con arena, plasticidad baja, color marrón, estructura homogénea. Grava = 0,00 % Arena = 21,40 %. Finos = 78,60 %. Perfil del suelo Tipo S2. Suelos intermedios.	CL	A-5 (10)	M-01	Ensayo de densidad. Método del cono de arena
2	2.00						

Fecha de registro: 25-08-21

Prof. perforación (m): 2,00 m

Nivel de agua (m): NP

Profundidad (m)	Fin de tramo (m)	Símbología litológica	Descripción litológica	Clasificación		Muestra	Ensayos <i>in situ</i>
				SUCS	ASSHTO		
0		 CL	Arcilla, plasticidad baja, color marrón, estructura homogénea. Grava = 0,00 % Arena = 8,90 %. Finos = 91,10 %. Perfil del suelo Tipo S2. Suelos intermedios.	CL	A-5 (12)	M-01	Ensayo de densidad. Método del cono de arena
2	2.00						

ENSAYOS DE DENSIDAD DE CAMPO				
Ubicación	San Pedro de Saño			
Metodo	Metodo del cono de arena			
N°Calicata	C-02	C-03	C-04	C-05

Masa del recipiente antes (g)	5000	5000	5000	5000
Masa del recipiente despues (g)	4151	4133	4115	4100
Masa de arena usada (g)	849	867	885	900
Densidad arena (g/cm3)	1.5	1.5	1.5	1.5
Volumen del hoyo (cm3)	566	578	590	600
CH (%)	7.3	7.8	9.9	11.3
DH (g/cm3)	1.87	1.81	1.79	2.12
DS (g/cm3)	1.74	1.68	1.63	1.9
γ_h (kN/m3)	18.35	17.76	17.56	20.79

Ubicación	San Pedro de Saño	Sist. de coordenadas	WSG 84
Peso del martillo	10,0 kg	Este	470,906.0
Altura de caída	0,50 m	Norte	8,677,284.0
Código	DPL-01	Profundidad total	2,5 m

Prof. (m)	Nº Golpes	Nº Golpes Gráfico				
		10	20	30	40	50
0.0	0					
0.1	3					
0.2	3					
0.3	3					
0.4	3					
0.5	3					
0.6	4					
0.7	4					
0.8	9					
0.9	5					
1.0	6					
1.1	4					
1.2	5					
1.3	7					
1.4	7					
1.5	10					
1.6	15					
1.7	10					
1.8	19					
1.9	18					
2.0	22					
2.1	22					
2.2	25					
2.3	25					
2.4	26					
2.5	27					
2.6	R					
2.7						
2.8						
2.9						
3.0						
3.1						
3.2						
3.3						
3.4						
3.5						
3.6						
3.7						
3.8						
3.9						
4.0						
4.1						
4.2						
4.3						
4.4						
4.5						
4.6						
4.7						
4.8						
4.9						
5.0						

Prof. (m)	Nº Golpes	Nº Golpes Gráfico				
		10	20	30	40	50
5.0						
5.1						
5.2						
5.3						
5.4						
5.5						
5.6						
5.7						
5.8						
5.9						
6.0						
6.1						
6.2						
6.3						
6.4						
6.5						
6.6						
6.7						
6.8						
6.9						
7.0						
7.1						
7.2						
7.3						
7.4						
7.5						
7.6						
7.7						
7.8						
7.9						
8.0						
8.1						
8.2						
8.3						
8.4						
8.5						
8.6						
8.7						
8.8						
8.9						
9.0						
9.1						
9.2						
9.3						
9.4						
9.5						
9.6						
9.7						
9.8						
9.9						
10.0						

Prof. (m)	Nº Golpes	Nº Golpes Gráfico				
		10	20	30	40	50
10.0						
10.1						
10.2						
10.3						
10.4						
10.5						
10.6						
10.7						
10.8						
10.9						
11.0						
11.1						
11.2						
11.3						
11.4						
11.5						
11.6						
11.7						
11.8						
11.9						
12.0						
12.1						
12.2						
12.3						
12.4						
12.5						
12.6						
12.7						
12.8						
12.9						
13.0						
13.1						
13.2						
13.3						
13.4						
13.5						
13.6						
13.7						
13.8						
13.9						
14.0						
14.1						
14.2						
14.3						
14.4						
14.5						
14.6						
14.7						
14.8						
14.9						
15.0						

Ubicación	San Pedro de Saño	Sist. de coordenadas	WSG 84
Peso del martillo	10,0 kg	Este	470,888.0
Altura de caída	0,50 m	Norte	8,677,317.0
Código	DPL-02	Profundidad total	3,1 m

Prof. (m)	N° Golpes	N° Golpes Gráfico					Prof. (m)	N° Golpes	N° Golpes Gráfico					Prof. (m)	N° Golpes	N° Golpes Gráfico				
		10	20	30	40	50			10	20	30	40	50			10	20	30	40	50
0.0	0						5.0							10.0						
0.1	3						5.1							10.1						
0.2	3						5.2							10.2						
0.3	3						5.3							10.3						
0.4	3						5.4							10.4						
0.5	5						5.5							10.5						
0.6	4						5.6							10.6						
0.7	4						5.7							10.7						
0.8	9						5.8							10.8						
0.9	5						5.9							10.9						
1.0	6						6.0							11.0						
1.1	4						6.1							11.1						
1.2	5						6.2							11.2						
1.3	7						6.3							11.3						
1.4	7						6.4							11.4						
1.5	5						6.5							11.5						
1.6	5						6.6							11.6						
1.7	7						6.7							11.7						
1.8	7						6.8							11.8						
1.9	6						6.9							11.9						
2.0	7						7.0							12.0						
2.1	9						7.1							12.1						
2.2	7						7.2							12.2						
2.3	8						7.3							12.3						
2.4	10						7.4							12.4						
2.5	8						7.5							12.5						
2.6	10						7.6							12.6						
2.7	13						7.7							12.7						
2.8	19						7.8							12.8						
2.9	20						7.9							12.9						
3.0	24						8.0							13.0						
3.1	29						8.1							13.1						
3.2	R						8.2							13.2						
3.3							8.3							13.3						
3.4							8.4							13.4						
3.5							8.5							13.5						
3.6							8.6							13.6						
3.7							8.7							13.7						
3.8							8.8							13.8						
3.9							8.9							13.9						
4.0							9.0							14.0						
4.1							9.1							14.1						
4.2							9.2							14.2						
4.3							9.3							14.3						
4.4							9.4							14.4						
4.5							9.5							14.5						
4.6							9.6							14.6						
4.7							9.7							14.7						
4.8							9.8							14.8						
4.9							9.9							14.9						
5.0							10.0							15.0						

Ubicación	San Pedro de Saño	Sist. de coordenadas	WSG 84
Peso del martillo	10,0 kg	Este	470,937.0
Altura de caída	0,50 m	Norte	8,677,275.0
Código	DPL-03	Profundidad total	1,7 m

Prof. (m)	N° Golpes	N° Golpes Gráfico					Prof. (m)	N° Golpes	N° Golpes Gráfico					Prof. (m)	N° Golpes	N° Golpes Gráfico				
		10	20	30	40	50			10	20	30	40	50			10	20	30	40	50
0.0	0						5.0							10.0						
0.1	2						5.1							10.1						
0.2	1						5.2							10.2						
0.3	2						5.3							10.3						
0.4	2						5.4							10.4						
0.5	2						5.5							10.5						
0.6	3						5.6							10.6						
0.7	4						5.7							10.7						
0.8	3						5.8							10.8						
0.9	5						5.9							10.9						
1.0	7						6.0							11.0						
1.1	12						6.1							11.1						
1.2	12						6.2							11.2						
1.3	17						6.3							11.3						
1.4	25						6.4							11.4						
1.5	28						6.5							11.5						
1.6	28						6.6							11.6						
1.7	30						6.7							11.7						
1.8	R						6.8							11.8						
1.9							6.9							11.9						
2.0							7.0							12.0						
2.1							7.1							12.1						
2.2							7.2							12.2						
2.3							7.3							12.3						
2.4							7.4							12.4						
2.5							7.5							12.5						
2.6							7.6							12.6						
2.7							7.7							12.7						
2.8							7.8							12.8						
2.9							7.9							12.9						
3.0							8.0							13.0						
3.1							8.1							13.1						
3.2							8.2							13.2						
3.3							8.3							13.3						
3.4							8.4							13.4						
3.5							8.5							13.5						
3.6							8.6							13.6						
3.7							8.7							13.7						
3.8							8.8							13.8						
3.9							8.9							13.9						
4.0							9.0							14.0						
4.1							9.1							14.1						
4.2							9.2							14.2						
4.3							9.3							14.3						
4.4							9.4							14.4						
4.5							9.5							14.5						
4.6							9.6							14.6						
4.7							9.7							14.7						
4.8							9.8							14.8						
4.9							9.9							14.9						
5.0							10.0							15.0						

Ubicación	San Pedro de Saño					Sist. de coordenadas	WSG 84				
Peso del martillo	10,0 kg					Este	470,939.0				
Altura de caída	0,50 m					Norte	8,677,258.0				
Código	DPL-04					Profundidad total	1,7 m				

Prof. (m)	Nº Golpes	Nº Golpes Gráfico					Prof. (m)	Nº Golpes	Nº Golpes Gráfico					Prof. (m)	Nº Golpes	Nº Golpes Gráfico					
		10	20	30	40	50			10	20	30	40	50			10	20	30	40	50	
0.0	0						5.0								10.0						
0.1	4						5.1							10.1							
0.2	5						5.2							10.2							
0.3	15						5.3							10.3							
0.4	9						5.4							10.4							
0.5	6						5.5							10.5							
0.6	10						5.6							10.6							
0.7	6						5.7							10.7							
0.8	6						5.8							10.8							
0.9	6						5.9							10.9							
1.0	10						6.0							11.0							
1.1	13						6.1							11.1							
1.2	18						6.2							11.2							
1.3	30						6.3							11.3							
1.4	23						6.4							11.4							
1.5	25						6.5							11.5							
1.6	13						6.6							11.6							
1.7	30						6.7							11.7							
1.8	R						6.8							11.8							
1.9		6.9							11.9												
2.0		7.0							12.0												
2.1		7.1							12.1												
2.2		7.2							12.2												
2.3		7.3							12.3												
2.4		7.4							12.4												
2.5		7.5							12.5												
2.6		7.6							12.6												
2.7		7.7							12.7												
2.8		7.8							12.8												
2.9		7.9							12.9												
3.0		8.0							13.0												
3.1		8.1							13.1												
3.2		8.2							13.2												
3.3		8.3							13.3												
3.4		8.4							13.4												
3.5		8.5							13.5												
3.6		8.6							13.6												
3.7		8.7							13.7												
3.8		8.8							13.8												
3.9		8.9							13.9												
4.0		9.0							14.0												
4.1		9.1							14.1												
4.2		9.2							14.2												
4.3		9.3							14.3												
4.4		9.4							14.4												
4.5		9.5							14.5												
4.6		9.6							14.6												
4.7		9.7							14.7												
4.8		9.8							14.8												
4.9		9.9							14.9												
5.0		10.0							15.0												

Ubicación	San Pedro de Saño	Sist. de coordenadas	WSG 84
Peso del martillo	10,0 kg	Este	470,957.0
Altura de caída	0,50 m	Norte	8,677,236.0
Código	DPL-05	Profundidad total	3,1 m

Prof. (m)	N° Golpes	N° Golpes Gráfico					Prof. (m)	N° Golpes	N° Golpes Gráfico					Prof. (m)	N° Golpes	N° Golpes Gráfico				
		10	20	30	40	50			10	20	30	40	50			10	20	30	40	50
0.0	0						5.0							10.0						
0.1	4						5.1							10.1						
0.2	4						5.2							10.2						
0.3	3						5.3							10.3						
0.4	3						5.4							10.4						
0.5	5						5.5							10.5						
0.6	4						5.6							10.6						
0.7	4						5.7							10.7						
0.8	4						5.8							10.8						
0.9	3						5.9							10.9						
1.0	3						6.0							11.0						
1.1	4						6.1							11.1						
1.2	5						6.2							11.2						
1.3	6						6.3							11.3						
1.4	5						6.4							11.4						
1.5	7						6.5							11.5						
1.6	7						6.6							11.6						
1.7	10						6.7							11.7						
1.8	12						6.8							11.8						
1.9	12						6.9							11.9						
2.0	13						7.0							12.0						
2.1	13						7.1							12.1						
2.2	13						7.2							12.2						
2.3	17						7.3							12.3						
2.4	21						7.4							12.4						
2.5	20						7.5							12.5						
2.6	22						7.6							12.6						
2.7	24						7.7							12.7						
2.8	28						7.8							12.8						
2.9	35						7.9							12.9						
3.0	43						8.0							13.0						
3.1	46						8.1							13.1						
3.2	R						8.2							13.2						
3.3							8.3							13.3						
3.4							8.4							13.4						
3.5							8.5							13.5						
3.6							8.6							13.6						
3.7							8.7							13.7						
3.8							8.8							13.8						
3.9							8.9							13.9						
4.0							9.0							14.0						
4.1							9.1							14.1						
4.2							9.2							14.2						
4.3							9.3							14.3						
4.4							9.4							14.4						
4.5							9.5							14.5						
4.6							9.6							14.6						
4.7							9.7							14.7						
4.8							9.8							14.8						
4.9							9.9							14.9						
5.0							10.0							15.0						

Ubicación	San Pedro de Saño	Sist. de coordenadas	WSG 84
Peso del martillo	10,0 kg	Este	470,979.0
Altura de caída	0,50 m	Norte	8,677,217.0
Código	DPL-06	Profundidad total	2,7 m

Prof. (m)	N° Golpes	N° Golpes Gráfico						Prof. (m)	N° Golpes	N° Golpes Gráfico						Prof. (m)	N° Golpes	N° Golpes Gráfico					
		10	20	30	40	50				10	20	30	40	50				10	20	30	40	50	
0.0	0							5.0								10.0							
0.1	4							5.1								10.1							
0.2	5							5.2								10.2							
0.3	5							5.3								10.3							
0.4	5							5.4								10.4							
0.5	4							5.5								10.5							
0.6	5							5.6								10.6							
0.7	5							5.7								10.7							
0.8	5							5.8								10.8							
0.9	10							5.9								10.9							
1.0	9							6.0								11.0							
1.1	7							6.1								11.1							
1.2	10							6.2								11.2							
1.3	16							6.3								11.3							
1.4	9							6.4								11.4							
1.5	16							6.5								11.5							
1.6	20							6.6								11.6							
1.7	22							6.7								11.7							
1.8	25							6.8								11.8							
1.9	20							6.9								11.9							
2.0	21							7.0								12.0							
2.1	18							7.1								12.1							
2.2	25							7.2								12.2							
2.3	30							7.3								12.3							
2.4	32							7.4								12.4							
2.5	35							7.5								12.5							
2.6	38							7.6								12.6							
2.7	34							7.7								12.7							
2.8	R							7.8								12.8							
2.9								7.9								12.9							
3.0								8.0								13.0							
3.1								8.1								13.1							
3.2								8.2								13.2							
3.3								8.3								13.3							
3.4								8.4								13.4							
3.5								8.5								13.5							
3.6								8.6								13.6							
3.7								8.7								13.7							
3.8								8.8								13.8							
3.9								8.9								13.9							
4.0								9.0								14.0							
4.1								9.1								14.1							
4.2								9.2								14.2							
4.3								9.3								14.3							
4.4								9.4								14.4							
4.5								9.5								14.5							
4.6								9.6								14.6							
4.7								9.7								14.7							
4.8								9.8								14.8							
4.9								9.9								14.9							
5.0								10.0								15.0							

Ubicación	San Pedro de Saño				Sist. de coordenadas	WSG 84			
Peso del martillo	10,0 kg				Este	470,975.0			
Altura de caída	0,50 m				Norte	8,677,200.0			
Registrado por	DPL-07				Profundidad total	1,7 m			

Prof. (m)	Nº Golpes	Nº Golpes Gráfico					Prof. (m)	Nº Golpes	Nº Golpes Gráfico					Prof. (m)	Nº Golpes	Nº Golpes Gráfico				
		10	20	30	40	50			10	20	30	40	50			10	20	30	40	50
0.0	0						5.0								10.0					
0.1	4						5.1							10.1						
0.2	4						5.2							10.2						
0.3	9						5.3							10.3						
0.4	9						5.4							10.4						
0.5	10						5.5							10.5						
0.6	8						5.6							10.6						
0.7	9						5.7							10.7						
0.8	11						5.8							10.8						
0.9	17						5.9							10.9						
1.0	17						6.0							11.0						
1.1	17						6.1							11.1						
1.2	11						6.2							11.2						
1.3	7						6.3							11.3						
1.4	21						6.4							11.4						
1.5	32						6.5							11.5						
1.6	38						6.6							11.6						
1.7	30						6.7							11.7						
1.8	R						6.8							11.8						
1.9							6.9							11.9						
2.0							7.0							12.0						
2.1							7.1							12.1						
2.2							7.2							12.2						
2.3							7.3							12.3						
2.4							7.4							12.4						
2.5							7.5							12.5						
2.6							7.6							12.6						
2.7							7.7							12.7						
2.8							7.8							12.8						
2.9							7.9							12.9						
3.0							8.0							13.0						
3.1							8.1							13.1						
3.2							8.2							13.2						
3.3							8.3							13.3						
3.4							8.4							13.4						
3.5							8.5							13.5						
3.6							8.6							13.6						
3.7							8.7							13.7						
3.8							8.8							13.8						
3.9							8.9							13.9						
4.0							9.0							14.0						
4.1							9.1							14.1						
4.2							9.2							14.2						
4.3							9.3							14.3						
4.4							9.4							14.4						
4.5							9.5							14.5						
4.6							9.6							14.6						
4.7							9.7							14.7						
4.8							9.8							14.8						
4.9							9.9							14.9						
5.0							10.0							15.0						

ANEXO B
PANEL FOTOGRÁFICO



Foto N°1: Vista panorámica de la zona de estudio.



Foto N°2: Acceso a la zona de estudio.



Foto N°3: Vista lateral izquierda del talud de estudio.



Foto N°4: Vista lateral derecha del talud de estudio.



Foto N°5: Vista del talud de estudio..



Foto N°6: Contacto entre la unidad superior GP e inferior CL.



Foto N°7: Línea ferrea actual y vía de acceso a la comunidad..

ANEXO C
RESULTADOS DE LABORATORIO

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NUMERO DE INFORME
25-03-21	03-09-21	C-04	SG, N°1632021

SOLIDANTE:

PROYECTO:

20607045551 CONSORCIO VIAL HUANCAYO

"MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL (TRAMO: AV. CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL), DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALHUAS, SAÑO, SAN JERONIMO DE TUNAN, PROVINCIA DE HUANCAYO - JUNIN"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

ENSAYOS REALIZADOS:

UBICACIÓN: PROGRESIVA KM. 5+450 - LADO DERECHO
DISTRITO: SAN AGUSTIN DE CAJAS
PROVINCIA: HUANCAYO
DEPARTAMENTO: JUNIN

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO SEGÚN NORMA ASTM D422-63(2007)*
CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN NORMA ASTM D2216-10
CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487-17) / AASHTO (ASTM D3282-15)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad: Muestreo por Muestrero por alfileres
Método de Muestreo: Excavación manual
Perfil del Suelo Tipo: S2: Suelo intermedio

Profundidad: 2.00 m
Napa freática: N.P.
Lugar de Muestreo: Progresiva km. 5+450 - Lado Derecho
Altitud (Cota): 2.247 (3) m s.n.m.
Coordenadas UTM: E 472971 N 8073288

Análisis Granulométrico ASTM D422-63(2007)*

Tamices ASTM E11	Abertura (mm)	Peso Retenido	Peso Acomulado	% Que Pasa
3"	75.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
2"	50.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
1 1/2"	37.50 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
1"	25.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
3/4"	19.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
3/8"	9.50 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
N° 4	4.75 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
N° 10	2.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
N° 20	0.85 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
N° 40	0.43 mm	21.00 g	2.5%	97.5%
N° 60	0.25 mm	18.00 g	4.6%	95.4%
N° 140	0.11 mm	23.00 g	7.3%	92.7%
N° 200	0.08 mm	15.00 g	9.1%	90.9%
PASA		771.00 g	100.0%	0.0%
		848.00 g	100.0%	100.0%

Contenido de Humedad según ASTM D2216-10

Variables	Nro	Unidad	Muestra
Recipiente W	---	---	N° 83
(A) Peso de Contenedor Vaso	M _c	g	25.35
(B) Peso de Contenedor & Suelo Húmedo	M _{huc}	g	519.23
(C) Peso de Contenedor & Suelo Seco	M _{sc}	g	490.18
(D) Peso de Suelo Seco (C-A)	M _s	g	186.83
(E) Peso de Agua (B-C)	M _w	g	23.07
(F) Capacidad de Humedad (100* E/D)	w	(%)	5.04%

Requisitos mínimos de expresiones de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total
Método A - Humedad Recomendada < 1%
9.50 mm - Tamaño máximo partícula 1/4 que pasa
Masa mínima recomendada - elipsomet - 50 g

Clasificación de Suelos

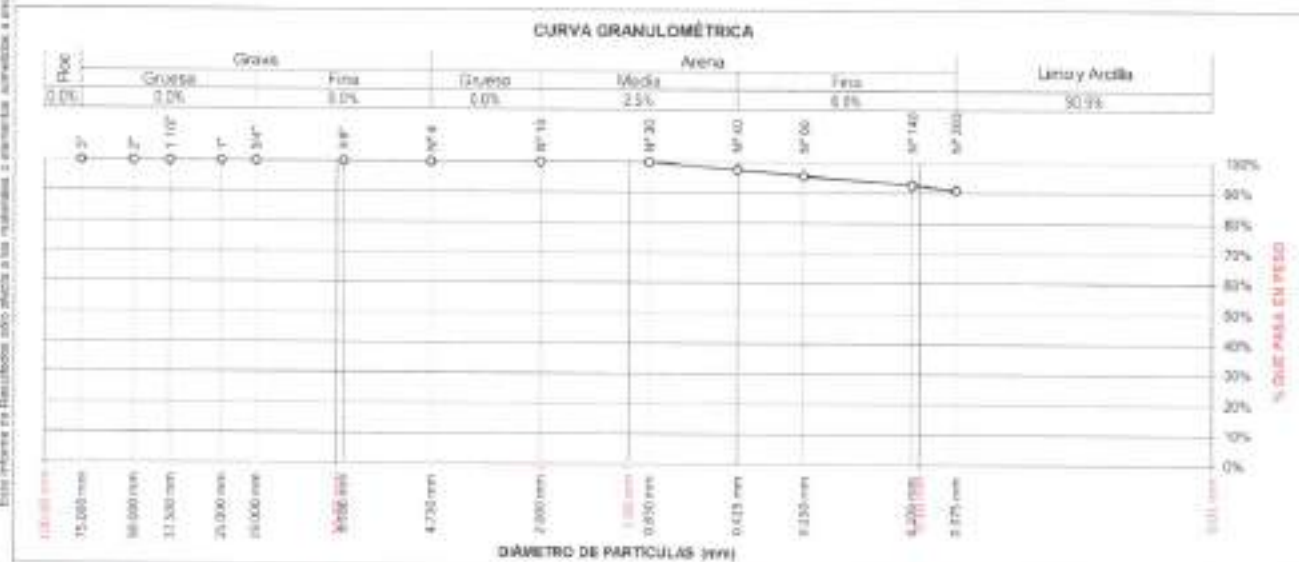
SUCS (ASTM D2487-17) : CL	AASHTO (ASTM D3282-15) : A-3 (12)
Área de baja plasticidad	

Resultados de la Granulometría

Grava	[N° 4 < φ < 3"	0.00%
Arroya	[N° 200 < φ < N° 4	9.10%
Finos	[φ < N° 200	90.90%

Coefficientes / Finos ≤ 12% (ASTM D2487-17)

$D_{15} =$	$D_{30} =$	$D_{60} =$
$C_u = D_{60} / D_{10}$		
$C_c = (D_{30}^2 / (D_{10} * D_{60}))$		



Todos los valores observados y calculados se ajustarán a las tablas para dígitos significativos y redondeo establecidas en la Práctica ASTM D6020.

OBSERVACIONES:

Realizado: Evert Denis L.R.
Revisado: Ing. Johnny R. O.

SILVER GEO SAC.
Laboratorio de Suelos, Rocas y Pavimentos

Ing. Civil Johnny R. RAYMUNDO OLIVERA
C.L.P. N° 204352

RUC: 20607685524
(Pag. 46)

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NÚMERO DE INFORME
25-08-21	03-09-21	C-04	BQ. N°103/2021

SOLICITANTE:

20607045561 CONSORCIO VIAL HUANCAYO

PROYECTO:

"MEJORAMIENTO DEL CORRECTOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL (TRAMO: AV. CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL), DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALHUAS, SAÑO, SAN JERONIMO DE TUNAN, PROVINCIA DE HUANCAYO - JUNIN"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN: PROGRESIVA KM. 5+450 - LADO DERECHO
DISTRITO: SAN AGUSTIN DE CAJAS
PROVINCIA: HUANCAYO
DEPARTAMENTO: JUNIN

ENSAYOS REALIZADOS:

LIMITES DE ATTERBERG SEGUN NORMA ASTM D4318-17¹⁾
CLASIFICACIÓN SEGUN SUCS ASTM D2487-17 / AASHTO (ASTM D2487-15)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

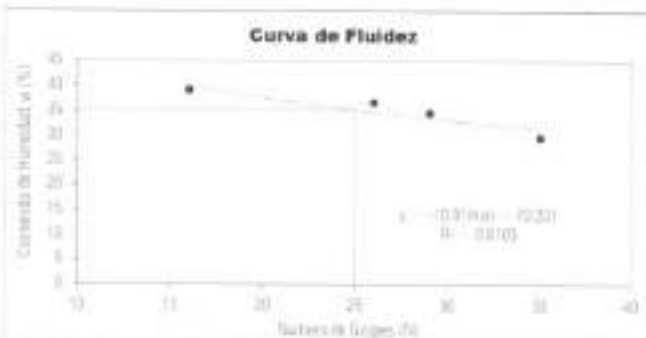
Modalidad: Muestreo por el cliente
Método de Muestreo: Excavación manual
Perfil del Suelo Tipo: S2: Suelos Intermedios

Profundidad: 2.00 m
Haza hertzica: N.P.
Lugar de Muestreo: Progresiva km. 5+450 - Lado Derecho
Altitud (CGM): 3,247.50 m s.n.m.
Coordenadas UTM: E: 472971 N: 6677045

Limites de Atterberg (ASTM D4318-17¹⁾)

Límite Líquido (Método Multipunto)

Variable	Var.	Unidad	01	02	03	04
Número de Golpes	N	Golpes	16	25	25	25
Recipiente N°	---	---	N° 10	N° 47	N° 48	N° 49
(A) Masa de Contenedor Vacío	M _c	(g)	22.06	22.06	22.00	22.06
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M _{húmedo}	(g)	52.58	52.06	61.30	58.86
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M _{seco}	(g)	44.38	42.54	51.00	49.85
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M _s	(g)	22.35	22.54	29.80	27.86
(E) Masa de Water (B-C)	M _w	(g)	6.70	7.52	10.30	8.91
(F) Contenido de Humedad (100% E/D)	w	(%)	30.21	33.36	34.56	31.99



Límite Plástico (Método Manual)

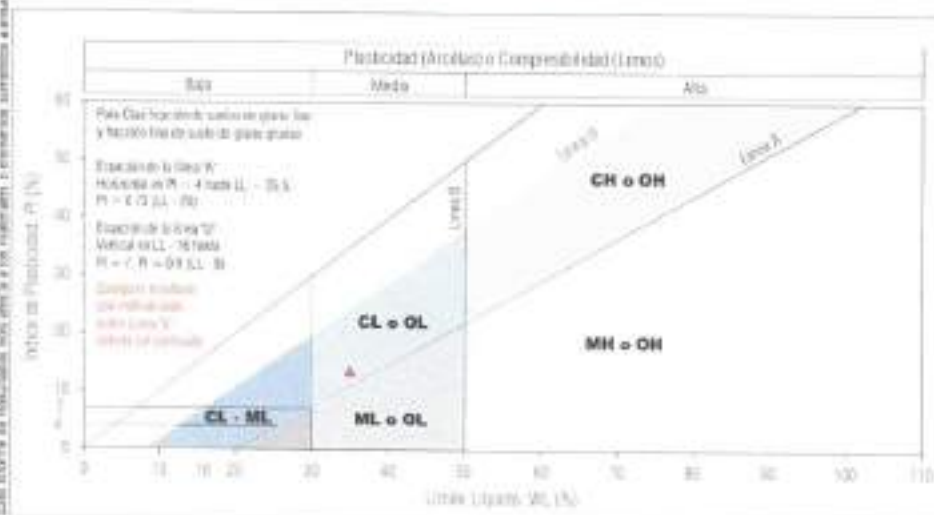
Variable	Var.	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	---	N° 50	N° 51	N° 52	N° 53
(A) Masa de Contenedor Vacío	M _c	(g)	22.30	22.50	22.00	22.00
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M _{húmedo}	(g)	48.10	39.00	44.00	43.10
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M _{seco}	(g)	41.10	36.30	40.30	38.00
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M _s	(g)	27.80	14.80	18.30	16.00
(E) Masa de Water (B-C)	M _w	(g)	4.90	3.00	4.00	4.00
(F) Contenido de Humedad (100% E/D)	w	(%)	18.10	21.40	21.80	25.00

Resultados Límites de Atterberg (ASTM D4318-17¹⁾)

Liquid Limit (LL ₂₀)	34.9%	Plastic Limit (PL ₂₀)	21.2%	Plasticity Index (PI)	13.6%
----------------------------------	-------	-----------------------------------	-------	-----------------------	-------

Clasificación de Suelos

SUCS (ASTM D2487-17)	CL	AASHTO (ASTM D1557-13)	A-3 (1.2)
Arcilla de baja plasticidad			



- LEYENDA**
- Suelo sin cohesión
 - Arcillas inorgánicas de baja plasticidad
 - Limos inorgánicos de baja compresibilidad
 - Arcillas inorgánicas de media plasticidad
 - Limos inorgánicos de compresibilidad media y limos orgánicos
 - Arcillas inorgánicas de alta plasticidad
 - Limos inorgánicos de alta compresibilidad y arcillas orgánicas
- Ecuación de la línea "A": $LL = 0.73(PI + 4)$

Carta de Plasticidad elaborada según Figure 4.21 Plasticity Chart, pag. 117 - Principles of Geotechnical Engineering - Braja M. Das 9th Edition

Revisado: Bach. Denis L.R.
Revisado: Ing. Joly R.O.

SILVER GEO SAC.
Sociedad Anónima
Laboratorio de Suelos, Geotecnia y Pavimentos
Ing. Civil Joly R. OLIVERA
C.I.P. N° 204352

RUC: 20601605624
(Pag. 46)

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NUMERO DE INFORME
25-08-21	03-08-21	C-05	SG N°1032021

SOLICITANTE:

PROYECTO:

20007045551 CONSORCIO VIAL HUANCAYO

"MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL (TRAMO: AV. CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL), DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALHUAS, SAÑO, SAN JERONIMO DE TUNAN, PROVINCIA DE HUANCAYO - JUNIN"

UBICACION DEL PROYECTO:

ENSAYOS REALIZADOS:

UBICACION : PROGRESIVA KM. 5+500 - LADO IZQUIERDO
DISTRITO : SAN AGUSTIN DE CAJAS
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNIN

ANALISIS GRANULOMETRICO SEGUN NORMA ASTM D422-63(2007)*
CONTENIDO DE HUMEDAD SEGUN NORMA ASTM D2216-10
CLASIFICACION: SUCS (ASTM D2487-17) / AASHTO (ASTM D3283-15)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad : Muestras por Muestra por el cliente Profundidad : 2.00 m Altitud (Cota) : 2,246.00 m.s.n.m.
Método de Muestreo : Excavación manual Napa tectica : N.P. Coordenadas UTM : E 472983 N 8873297
Perfil del Suelo Tipo : S2: Suelos Intermedios Lugar de Muestra : Progresiva km. 5+500 - Lado izquierdo

Analisis Granulométrico ASTM D422-63(2007)*

Tamices ASTM E11	Abertura (mm)	Peso Retenido	Retenido Acumulado	% Que Pasa
3"	75.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
2"	50.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
1 1/2"	37.50 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
1"	25.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
3/4"	19.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
3/8"	9.50 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
N° 4	4.75 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
N° 10	2.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
N° 20	0.85 mm	21.00 g	2.2%	97.8%
N° 40	0.43 mm	32.00 g	5.5%	94.5%
N° 60	0.25 mm	22.00 g	7.7%	92.3%
N° 140	0.11 mm	17.00 g	9.5%	90.5%
N° 200	0.08 mm	10.00 g	10.5%	89.5%
PASA		868.00 g	100.0%	0.0%
		968.00 g	100.0%	100%

Contenido de Humedad según ASTM D2216-10

Variables	Var.	Unidad	Muestra
Recipiente N°	---	---	17.08
(A) Peso de Contenedor Vaco	M ₁	g	25.58
(B) Peso de Contenedor & Suelo Humedo	M ₁₊₂	g	500.50
(C) Peso de Contenedor & Suelo Seco	M ₂₊₃	g	480.50
(D) Peso de Suelo Seco (C-A)	M ₂	g	134.44
(E) Peso de Agua (B-C)	M ₃	g	21.00
(F) Contenido de Humedad (100% (D))	w	(%)	15.61%

Requisitos mínimos de espesores de material húmedo seleccionado: 10 mm (representativo de la muestra total)
Método A - Humedad Recomendada: > 7%
5.50 mm - Tamaño máximo partícula % que pasa
Masa mínima recomendada - especimen - 50 g

Clasificación de Suelos

SUCS (ASTM D2487-17) : CL AASHTO (ASTM D3283-15) : A-3 (11)
Análisis de baja plasticidad.

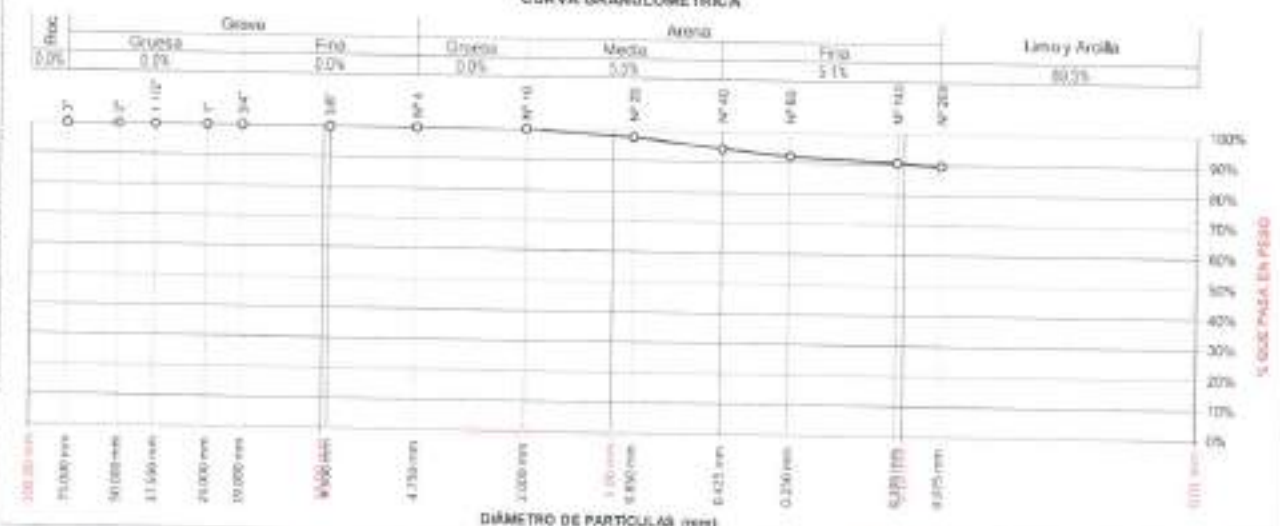
Resultados de la Granulometría

Grava	[N° 4 < φ < 3"	0.00%
Areia	[N° 200 < φ < N° 4	10.30%
Fina	[φ < N° 200	89.50%

Coefficientes / Finos ≤ 12% (ASTM D2487-17)

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} D_{60}} \quad D_{10} = \dots \quad D_{30} = \dots \quad D_{60} = \dots$$

CURVA GRANULOMÉTRICA



Todos los valores observados y calculados se ajustaron a la dirección para dígitos significativos y redondeos establecidos en la Práctica ASTM D6026.

OBSERVACIONES:

Revisado: Sach, Denis J. R.
Revisado: Ing. Johnny R. O.

SILVER GEO SAC.
Laboratorio de Ensayos de Suelos y Pavimentos

Ing. Civil Johnny R. EDUARDO OLIVERA
C.L.P. N° 204352

RUC: 20601685524
(Pag. 47)

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NÚMERO DE INFORME
25-09-21	03-09-21	C-05	SG N°1092021

SOLICITANTE:

PROYECTO:

20607045551 CONSORCIO VIAL HUANCAYO

MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL (TRAMO: AV. CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL), DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALHUAS, SAÑO, SAN JERONIMO DE TUNAN, PROVINCIA DE HUANCAYO - JUNIN

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

ENSAYOS REALIZADOS:

UBICACIÓN: PROGRESIVA KM. 5+500 - LADO IZQUIERDO
DISTRITO: SAN AGUSTIN DE CAJAS
PROVINCIA: HUANCAYO
DEPARTAMENTO: JUNIN

LÍMITES DE ATTERBERG SEGUN NORMA ASTM D4318-17¹⁾
CLASIFICACIÓN SEGUN: SOCS ASTM D2487-17 / AASHTO (ASTM D1557-13)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

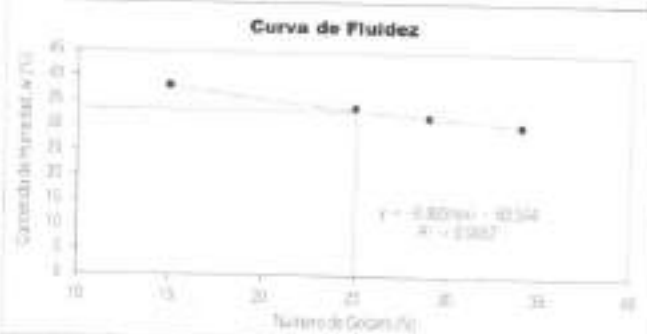
Modalidad: Muestra por el cliente
Método de Muestreo: Excavación manual
Perfil del Suelo Tipo: S2: Suelo intermedio

Profundidad: 2.00 m
Napa hídrica: N.P.
Lugar de Muestreo: Progresiva km. 5+500 - Lado izquierdo
Altura (Cota): 3,245.00 m s.n.m.
Coordenadas UTM: E: 472052 N: 6573257

Límites de Atterberg (ASTM D4318-17¹⁾)

Límite Líquido (Método Multipunto)

Variable	Unidad	01	02	03	04
Número de Golpes	N	17	23	29	34
Recipiente N°	---	N° 25	N° 54	N° 54	N° 57
(A) Masa de Contenedor Vacío	M ₁	23.30	23.00	22.00	22.00
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M ₁₊₂	46.30	73.00	64.30	73.00
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M ₁₊₃	38.60	57.30	57.30	46.40
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M ₂	17.60	34.30	35.30	24.40
(E) Masa de Agua (B-C)	M ₃	8.70	15.70	7.00	7.60
(F) Contenido de Humedad (100* E/D)	w	49.43	45.79	19.81	31.13



Límite Plástico (Método Manual)

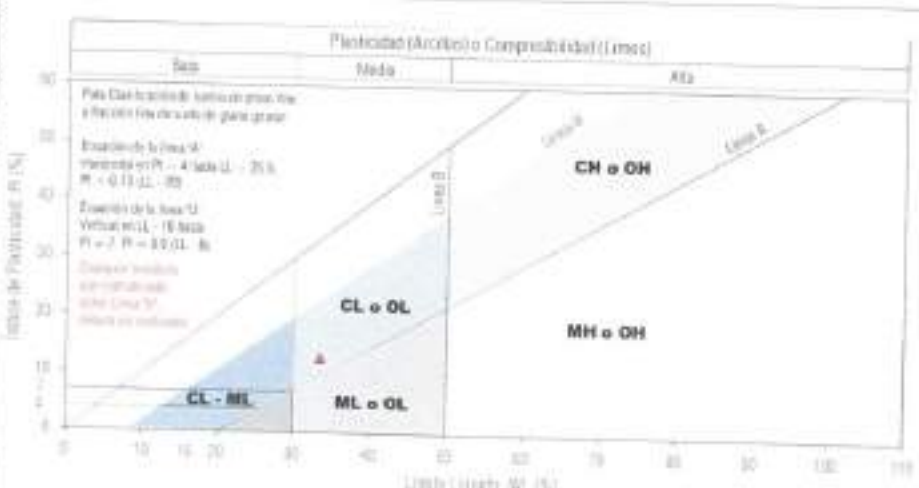
Variable	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	N° 54	N° 54	N° 50	N° 51
(A) Masa de Contenedor Vacío	M ₁	22.00	22.00	22.00	22.00
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M ₁₊₂	42.10	47.00	52.00	44.00
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M ₁₊₃	41.00	43.00	47.00	43.00
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M ₂	21.00	21.00	25.00	21.00
(E) Masa de Agua (B-C)	M ₃	1.10	4.00	5.00	3.00
(F) Contenido de Humedad (100* E/D)	w	5.24	19.05	20.00	14.29

Resultados Límites de Atterberg (ASTM D4318-17¹⁾)

Liquid Limit (LL, w _L)	31.5%	Plastic Limit (PL, w _P)	20.5%	Plasticity Index (PI)	11.0%
------------------------------------	-------	-------------------------------------	-------	-----------------------	-------

Clasificación de Suelos

SOCS (ASTM D2487-17): CL AASHTO (ASTM D1557-13): A-5 (1)
Arcilla de baja plasticidad.



LEYENDA

- Suelo sin cohesión
- Arcillas marginales de baja plasticidad
- Limos marginales de baja compresibilidad
- Arcillas marginales de media plasticidad
- Limos marginales de compresibilidad media y limos orgánicos
- Arcillas marginales de alta plasticidad
- Limos marginales de alta compresibilidad y arcillas orgánicas
- Ecuación de la línea A: $LL = 0.73(PI + 4)$

Carta de Plasticidad adaptada según: Figura 4.21 Plasticity Chart, pag. 117 - Principles of Geotechnical Engineering - 6th Ed. by C. V. D. G. & S. W. G.

Revisado: Bach. Denis J.B.
Aprobado: Ing. Johnny R. O.

SILVER GEO SAC.
Laboratorio de Ensayos de Suelos y Pavimentos

Ing. Civil Johnny R. RAYMUNDO OLIVERA
C.I.P. N° 204352 RUC: 20601686524
(Pag. 40)

25-08-21

03-09-21

SG. N° 03/2021

SOLICITANTE:

PROYECTO:

20607045551 CONSORCIO VIAL HUANCAYO

"MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL (TRAMO: AV. CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL), DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALHUAS, SAO. SAN JERONIMO DE TUNAN, PROVINCIA DE HUANCAYO - JUNIN"

UBICACION DEL PROYECTO:

ENSAYOS REALIZADOS:

UBICACION : PROGRESIVA KM. 5+010 - LADO IZQUIERDO
DISTRITO : SAN AGUSTIN DE CAJAS
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNIN

ANALISIS GRANULOMETRICO SEGUN NORMA ASTM D422-63(2007)*
CONTENIDO DE HUMEDAD SEGUN NORMA ASTM D2216-10
CLASIFICACION: BUCE (ASTM D2487-17) / AASHTO (ASTM D3282-15)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Mortalidad : Muestreo por Muestra por el cliente Profundidad : 2.00 m Altitud (Cota) :
Método de Muestreo : Excavación manual Nota técnica : N.P. Coordenadas UTM :
Perfil del Suelo Tipo : E2: Suelos Intermedios Lugar de Muestra : Progresiva km. 5+010 - Lado izquierdo

Análisis Granulométrico ASTM D422-63(2007)*

Tamices ASTM E11	Abertura (mm)	Peso Retenido	Retenido Acumulado	% Que Pasa
3"	75.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
2"	50.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
1 1/2"	37.50 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
1"	25.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
3/4"	19.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
3/8"	9.50 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
N° 4	4.75 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
N° 10	2.00 mm	9.00 g	1.0%	99.0%
N° 20	0.85 mm	21.00 g	3.4%	96.6%
N° 40	0.43 mm	23.00 g	6.0%	94.0%
N° 60	0.25 mm	22.00 g	6.5%	93.5%
N° 100	0.15 mm	14.00 g	10.1%	89.9%
N° 200	0.075 mm	13.00 g	11.6%	88.4%
PASA		781.00 g	100.0%	0.0%
		863.00 g	100.0%	100%

Contenido de Humedad según ASTM D2216-10

Variables	Var	Unidad	Muestra
Peso de la Muestra (M)		g	17.03
(A) Peso de Contenedor Vaco	M ₁	g	34.38
(B) Peso de Contenedor & Suelo Humedo	M ₂	g	154.38
(C) Peso de Contenedor & Suelo Seco	M ₃	g	151.41
(D) Peso de Suelo Seco (D-A)	M ₄	g	117.41
(E) Peso de Agua (B-C)	M ₅	g	3.97
(F) Contenido de Humedad (100% E/D)	w	(%)	3.37%

Método A - Humedad Reducida > 1%
9.50 mm - Tamaño máximo partícula % que pasa
Masa mínima recomendada - especimen - 50 g

Clasificación de Suelos

USCS (ASTM D2487-17) : CL AASHTO (ASTM D3282-15) : A-3 (10)
Arcilla de baja plasticidad.

Resultados de la Granulometría

Grava	[N° 4 < φ < 3"]	0.00%
Arrea	[N° 200 < φ < N° 4]	11.46%
Fina	[φ < N° 200]	88.46%

Coefficientes / Fines ≤ 12% (ASTM D2487-17)

$$D_{10} = \dots D_{30} = \dots D_{60} = \dots$$

$$C_u = \frac{D_{60} - D_{10}}{D_{10}} \quad D_{30} = \dots$$

$$C_c = \frac{D_{30} - D_{10}}{D_{60} - D_{10}}$$

CURVA GRANULOMÉTRICA



Todos los valores de ensayos y calculados se ajustaron a los decimales para dígitos significativos y redondeos establecidos en la Práctica ASTM D690.

OBSERVACIONES:

Analizado: Enil Dora L.R.
Revisado: Ing. Jairo R. D.

SILVER GEO SACS
Laboratorio de Ensayos de Suelos y Rocas

Ing. Civil Jairo R. RAMONDO OLIVERA
C.I.P. N° 204352

AOC: 20601685524
(Pág. 41)

25-08-21

03-09-21

SG- N°163/2021

SOLICITANTE:

PROYECTO:

20607045551 CONSORCIO VIAL HUANCAYO

"MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE -
SUR, AV. FERROCARRIL (TRAMO: AV. CIRCUNVALACION - CRUCE
CARRETERA CENTRAL), DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS,
HUACHUAS, SAJO, SAN JERONIMO DE TUNAN, PROVINCIA DE HUANCAYO -
JUNIN"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

ENSAYOS REALIZADOS:

UBICACIÓN: PROGRESIVA KM. 5+010 - LADO IZQUIERDO
DISTRITO: SAN AGUSTIN DE CAJAS
PROVINCIA: HUANCAYO
DEPARTAMENTO: JUNIN

LIMITES DE ATTERBERG SEGUN NORMA ASTM D4318-17¹⁾
CLASIFICACIÓN SEGUN: SUCS (ASTM D2487-17) / AASHTO (ASTM D3282-15)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Metodología: Muestras por el cliente
Método de Muestreo: Excavación manual
Perfil del Suelo Tipo: S2: Suelos intermedios

Profundidad: 2.00 m.
Napa freática: N.P.
Lugar de Muestreo: Progresiva km. 5+010 - Lado izquierdo

Altitud (Cota):
Coordenadas UTM:

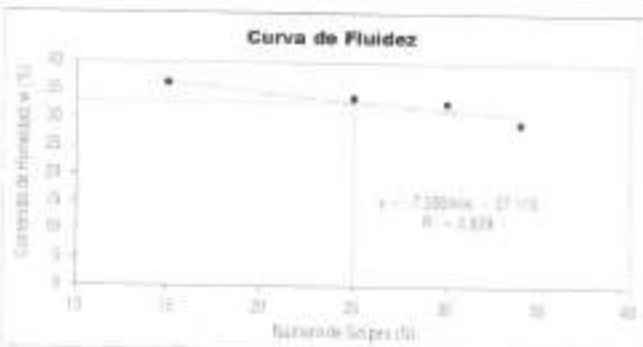
Límites de Atterberg (ASTM D4318-17¹⁾)

Límite Líquido (Método Multipunto)

Variable	Unidad	01	02	03	04
Número de Golpes	N	10	25	30	34
Recipiente M ³⁾	—	11.15	11.31	11.22	11.29
(A) Masa de Contenedor Vacio	M _c	22.30	22.38	22.06	22.00
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M _{wh}	49.30	51.80	48.30	51.10
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M _{wt}	41.80	48.80	41.80	44.00
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M _s	19.50	26.40	19.70	22.00
(E) Masa of Water (B-C)	M _w	7.50	6.90	6.50	7.10
(F) Contenido de Humedad (100% L/C)	w	38.46	33.56	33.00	32.25

Límite Plástico (Método Manual)

Variable	Unidad	01	02	03	04
Recipiente M ³⁾	—	11.38	11.35	11.30	11.37
(A) Masa de Contenedor Vacio	M _c	20.00	22.80	22.30	22.00
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M _{wh}	42.10	50.00	48.30	45.00
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M _{wt}	38.80	45.40	40.80	41.00
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M _s	18.80	22.60	18.50	19.00
(E) Masa of Water (B-C)	M _w	3.30	4.60	4.40	4.00
(F) Contenido de Humedad (100% L/C)	w	17.55	20.35	23.57	21.05

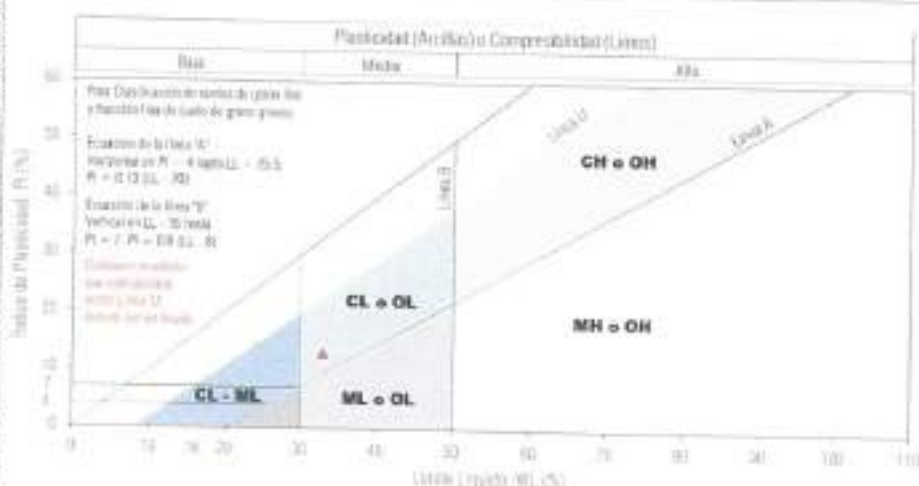


Resultados Límites de Atterberg (ASTM D4318-17¹⁾)

Liquid Limit (LL ₆₀)	23.0%	Plastic Limit (PL ₆₀)	20.0%	Plasticity Index (PI)	13.0%
----------------------------------	-------	-----------------------------------	-------	-----------------------	-------

Clasificación de Suelos

SUCS (ASTM D2487-17)	CL	AASHTO (ASTM D3282-15)	A-3	USCS	Arilla de baja plasticidad
----------------------	----	------------------------	-----	------	----------------------------



- LEYENDA**
- Suelo sin cohesión
 - Arillas inorgánicas de baja plasticidad
 - Limos inorgánicos de baja compresibilidad
 - Arillas inorgánicas de media plasticidad
 - Limos inorgánicos de compresibilidad media y limos orgánicos
 - Arillas inorgánicas de alta plasticidad
 - Limos inorgánicos de alta compresibilidad y arcillas orgánicas
- Ecuación de la línea A' $LL = 0.73(I_P + 0.6)$

Carta de Plasticidad elaborada según: Figure 4-21 Plasticity Chart, pag. 117 - Principles of Geotechnical Engineering - Braja M. Das 9th Edition

Realizado: Ing. David L.R.
Revisado: Ing. Johnny R. D.

SILVER GEO SACS
Centro de Estudios Geotécnicos
Laboratorio de Suelos Casapal y Páscar

Ing. Cyril Johnny R. RAYMONDO OLIVERA
C.I.P. N° 204352

RUC: 20691685624
[Pag. 42]

25-08-21

03-09-21

SOL N°103/2021

SOLICITANTE:

PROYECTO:

20607045551 CONSORCIO VIAL HUANCAYO

"MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL (TRAMO: AV. CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL) DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUANLUAS, SAO, SAN JERONIMO DE TUNAN, PROVINCIA DE HUANCAYO - JUNIN"

UBICACION DEL PROYECTO:

ENSAYOS REALIZADOS:

UBICACIÓN: PROGRESIVA KM. 5+010 - LADO IZQUIERDO
DISTRITO: SAN AGUSTIN DE CAJAS
PROVINCIA: HUANCAYO
DEPARTAMENTO: JUNIN

ENSAYO DE CORTE DIRECTO SEGUN NORMA ASTM D3080/D3080-11

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modelado: Muestreo por el cliente
Estado: Remolchado: material = Tapa N° 4
Límites de Atterberg: WL 32% WP 20% PI 12%
Profundidad: 2.00 m
Símbolo del Suelo: CL
Clasificación del Suelo: Arcilla de baja plasticidad

Ensayo de Corte Directo bajo condiciones drenadas ASTM D3080/D3080-11

Especimen N° 01				Especimen N° 02				Especimen N° 03			
Descripción	Unidad	Inicial	Final	Descripción	Unidad	Inicial	Final	Descripción	Unidad	Inicial	Final
Lado	cm	0.00	0.00	Lado	cm	0.00	0.00	Lado	cm	0.00	0.00
Altura	cm	2.00	1.93	Altura	cm	2.00	1.90	Altura	cm	2.00	1.89
Densidad húmeda	g/cm³	0.00	-	Densidad húmeda	g/cm³	0.00	-	Densidad húmeda	g/cm³	0.10	-
Contenido de humedad	%	0.00%	0.00%	Contenido de humedad	%	0.00%	0.49%	Contenido de humedad	%	0.00%	0.61%
Esfuerzo Normal	kg/cm²		0.51	Esfuerzo Normal	kg/cm²		1.0	Esfuerzo Normal	kg/cm²		1.5
Esfuerzo Cortante Máximo	kg/cm²		0.30	Esfuerzo Cortante Máximo	kg/cm²		0.50	Esfuerzo Cortante Máximo	kg/cm²		0.84
Deformación Horizontal (mm)	Fuerza Cortante	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)		Deformación Horizontal	Fuerza Cortante	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)		Deformación Horizontal	Fuerza Cortante	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)	
0.00	0.00	0.0000		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.0000	
0.12	4.89	0.0012		0.06	2.25	0.0012		0.10	0.00	0.0010	
0.24	9.12	0.0024		0.20	3.91	0.0020		0.22	0.00	0.0020	
0.36	13.34	0.0036		0.32	6.61	0.0032		0.38	0.00	0.0030	
0.48	18.09	0.0048		0.44	9.74	0.0044		0.46	0.00	0.0040	
0.60	23.27	0.0060		0.68	10.74	0.0068		0.66	0.00	0.0060	
0.72	29.44	0.0072		0.74	12.64	0.0074		0.76	0.00	0.0070	
0.84	33.40	0.0084		0.88	13.90	0.0088		0.90	0.00	0.0090	
1.08	36.16	0.0108		1.04	15.39	0.0104		1.06	0.00	0.0100	
1.20	41.95	0.0120		1.18	16.77	0.0118		1.20	0.00	0.0120	
1.32	45.92	0.0132		1.36	18.00	0.0136		1.38	0.00	0.0130	
1.44	47.40	0.0144		1.40	19.30	0.0140		1.42	0.00	0.0140	
1.56	48.95	0.0156		1.54	20.39	0.0154		1.56	0.00	0.0150	
1.68	50.83	0.0168		1.78	21.36	0.0178		1.80	0.00	0.0180	
1.80	51.60	0.0180		2.00	22.81	0.0200		2.02	0.00	0.0200	
2.00	52.41	0.0200		2.20	25.37	0.0220		2.22	0.00	0.0220	
2.20	52.41	0.0220		2.40	28.46	0.0240		2.42	0.00	0.0240	
2.40	52.41	0.0240		2.60	31.80	0.0260		2.62	0.00	0.0260	
2.60	52.41	0.0260		2.80	33.60	0.0280		2.82	0.00	0.0280	
2.80	52.41	0.0280		3.00	35.60	0.0300		3.02	0.00	0.0300	
3.00	52.41	0.0300		3.20	37.80	0.0320		3.22	0.00	0.0320	
3.20	52.41	0.0320		3.40	40.00	0.0340		3.42	0.00	0.0340	
3.40	52.41	0.0340		3.60	42.20	0.0360		3.62	0.00	0.0360	
3.60	52.41	0.0360		3.80	44.40	0.0380		3.82	0.00	0.0380	
3.80	52.41	0.0380		4.00	46.60	0.0400		4.02	0.00	0.0400	
4.00	52.41	0.0400		4.20	48.80	0.0420		4.22	0.00	0.0420	
4.20	52.41	0.0420		4.40	51.00	0.0440		4.42	0.00	0.0440	
4.40	52.41	0.0440		4.60	53.20	0.0460		4.62	0.00	0.0460	
4.60	52.41	0.0460		4.80	55.40	0.0480		4.82	0.00	0.0480	
4.80	52.41	0.0480		5.00	57.60	0.0500		5.02	0.00	0.0500	
5.00	52.41	0.0500		5.20	59.80	0.0520		5.22	0.00	0.0520	
5.20	52.41	0.0520		5.40	62.00	0.0540		5.42	0.00	0.0540	
5.40	52.41	0.0540		5.60	64.20	0.0560		5.62	0.00	0.0560	
5.60	52.41	0.0560		5.80	66.40	0.0580		5.82	0.00	0.0580	
5.80	52.41	0.0580		6.00	68.60	0.0600		6.02	0.00	0.0600	
6.00	52.41	0.0600		6.20	70.80	0.0620		6.22	0.00	0.0620	
6.20	52.41	0.0620		6.40	73.00	0.0640		6.42	0.00	0.0640	
6.40	52.41	0.0640		6.60	75.20	0.0660		6.62	0.00	0.0660	
6.60	52.41	0.0660		6.80	77.40	0.0680		6.82	0.00	0.0680	
6.80	52.41	0.0680		7.00	79.60	0.0700		7.02	0.00	0.0700	
7.00	52.41	0.0700		7.20	81.80	0.0720		7.22	0.00	0.0720	
7.20	52.41	0.0720		7.40	84.00	0.0740		7.42	0.00	0.0740	
7.40	52.41	0.0740		7.60	86.20	0.0760		7.62	0.00	0.0760	
7.60	52.41	0.0760		7.80	88.40	0.0780		7.82	0.00	0.0780	
7.80	52.41	0.0780		8.00	90.60	0.0800		8.02	0.00	0.0800	
8.00	52.41	0.0800		8.20	92.80	0.0820		8.22	0.00	0.0820	
8.20	52.41	0.0820		8.40	95.00	0.0840		8.42	0.00	0.0840	
8.40	52.41	0.0840		8.60	97.20	0.0860		8.62	0.00	0.0860	
8.60	52.41	0.0860		8.80	99.40	0.0880		8.82	0.00	0.0880	
8.80	52.41	0.0880		9.00	101.60	0.0900		9.02	0.00	0.0900	
9.00	52.41	0.0900		9.20	103.80	0.0920		9.22	0.00	0.0920	
9.20	52.41	0.0920		9.40	106.00	0.0940		9.42	0.00	0.0940	
9.40	52.41	0.0940		9.60	108.20	0.0960		9.62	0.00	0.0960	
9.60	52.41	0.0960		9.80	110.40	0.0980		9.82	0.00	0.0980	
9.80	52.41	0.0980		10.00	112.60	0.1000		10.02	0.00	0.1000	
10.00	52.41	0.1000		10.20	114.80	0.1020		10.22	0.00	0.1020	
10.20	52.41	0.1020		10.40	117.00	0.1040		10.42	0.00	0.1040	
10.40	52.41	0.1040		10.60	119.20	0.1060		10.62	0.00	0.1060	
10.60	52.41	0.1060		10.80	121.40	0.1080		10.82	0.00	0.1080	
10.80	52.41	0.1080		11.00	123.60	0.1100		11.02	0.00	0.1100	
11.00	52.41	0.1100		11.20	125.80	0.1120		11.22	0.00	0.1120	
11.20	52.41	0.1120		11.40	128.00	0.1140		11.42	0.00	0.1140	
11.40	52.41	0.1140		11.60	130.20	0.1160		11.62	0.00	0.1160	
11.60	52.41	0.1160		11.80	132.40	0.1180		11.82	0.00	0.1180	
11.80	52.41	0.1180		12.00	134.60	0.1200		12.02	0.00	0.1200	
12.00	52.41	0.1200		12.20	136.80	0.1220		12.22	0.00	0.1220	
12.20	52.41	0.1220		12.40	139.00	0.1240		12.42	0.00	0.1240	
12.40	52.41	0.1240		12.60	141.20	0.1260		12.62	0.00	0.1260	
12.60	52.41	0.1260		12.80	143.40	0.1280		12.82	0.00	0.1280	
12.80	52.41	0.1280		13.00	145.60	0.1300		13.02	0.00	0.1300	
13.00	52.41	0.1300		13.20	147.80	0.1320		13.22	0.00	0.1320	
13.20	52.41	0.1320		13.40	150.00	0.1340		13.42	0.00	0.1340	
13.40	52.41	0.1340		13.60	152.20	0.1360		13.62	0.00	0.1360	
13.60	52.41	0.1360		13.80	154.40	0.1380		13.82	0.00	0.1380	
13.80	52.41	0.1380		14.00	156.60	0.1400		14.02	0.00	0.1400	
14.00	52.41	0.1400		14.20	158.80	0.1420		14.22	0.00	0.1420	
14.20	52.41	0.1420		14.40	161.00	0.1440		14.42	0.00	0.1440	
14.40	52.41	0.1440		14.60	163.20	0.1460		14.62	0.00	0.1460	
14.60	52.41	0.1460		14.80	165.40	0.1480		14.82	0.00	0.1480	
14.80	52.41	0.1480		15.00	167.60	0.1500		15.02	0.00	0.1500	
15.00	52.41	0.1500		15.20	169.80	0.1520		15.22	0.00	0.1520	
15.20	52.41	0.1520		15.40	172.00	0.1540		15.42	0.00	0.1540	
15.40	52.41	0.1540		15.60	174.20	0.1560		15.62	0.00	0.1560	
15.60	52.41	0.1560		15.80	176.40	0.1580		15.82	0.00	0.1580	
15.80	52.41	0.1580		16.00	178.60	0.1600		16.02	0.00	0.1600	
16.00	52.41	0.1600		16.20	180.80	0.1620		16.22	0.00	0.1620	
16.20	52.41	0.1620		16.40	183.00	0.1640		16.42	0.00	0.1640	
16.40	52.41	0.1640		16.60	185.20	0.1660		16.62	0.00	0.1660	
16.60	52.41	0.1660		16.80	187.40	0.1680		16.82	0.00	0.1680	
16.80	52.41	0.1680		17.00	189.60	0.1700		17.02	0.00	0.1700	
17.00	52.41	0.1700		17.20	191.80	0.1720		17.22	0.00	0.1720	
17.20	52.41	0.1720		17.40	194.00	0.1740		17.42	0.00	0.1740	
17.40	52.41	0.1740		17.60	196.20	0.1760		17.62	0.00	0.1760	
17.60	52.41	0.1760		17.80	198.40	0.1780		17.82	0.00	0.1780	
17.80	52.41	0.1780		18.00	200.60	0.1800		18.02	0.00	0.1800	
18.00	52.41	0.1800		18.20	202.80	0.1820		18.22	0.00	0.1820	
18.20	52.41	0.1820		18.40	205.00	0.1840		18.42	0.00	0.1840	
18.40	52.41	0.1840		18.60	207.20	0.1860		18.62	0.00	0.1860	
18.60	52.41	0.1860		18.80	209.40	0.1880		18.82	0.00	0.1880	
18.80	52.41	0.1880		19.00	211.60	0.1900		19.02	0.00	0.1900	
19.00	52.41	0.1900		19.20	213.80	0.1920		19.22	0.00	0.1920	
19.20	52.41	0.1920		19.40	216.00	0.1940		19.42	0.00	0.1940	
19.40	52.41	0.1940		19.60	218.20	0.1960		19.62	0.00	0.1960	
19.60	52.41	0.1960		19.80	220.40	0.1980		19.82	0.00	0.1980	
19.80	52.41	0.1980		20.00	222.60	0.2000		20.02	0.00	0.2000	
20.00	52.41	0.2000		20.20	224.80	0.2020		20.22	0.00	0.2020	
20.20	52.41	0.2020		20.40	227.00	0.2040		20.42	0.00	0.2040	
20.40	52.41	0.2040		20.60	229.20	0.2060		20.62	0.00	0.2060	
20.60	52.41	0.2060		20.80	231.40	0.2080		20.82	0.00	0.2080	
20.80	52.41	0.2080		21.00	233.60	0.2100		21.02	0.00	0.2100	
21.00	52.41	0.2100		21.20	235.80	0.2120		21.22	0.00	0.2120	
21.20											

SOLICITANTE

20607045551 CONSORCIO VIAL HUANCAYO

PROYECTO

"MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL (TRAMO: AV. CIRCONVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL), DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUACHUAS, SAO, SAN JERONIMO DE TUNAN, PROVINCIA DE HUANCAYO - JUNIN"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN: PROGRESIVA KM 34010 - LADO IZQUIERDO
DISTRITO: SAN AGUSTIN DE CAJAS
PROVINCIA: HUANCAYO
DEPARTAMENTO: JUNIN

ENSAYOS REALIZADOS

CALCULO DE LA CAPACIDAD ADMISIBLE SEGUN TERZAGUI Y PECK (1967)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Mediada: Muestreo por el cliente Profundidad: 2.00 m Altitud (Cota): 3.245.00 m s.n.m.
Estado: Homogeneidad, material = Tarea N° 4 Simbolo del Suelo: CL Coordinadas UTM: E 472734 N 8073630
Límites de Atterberg: WL 37% MP 20% PI 17% Clasificación del Suelo: Arcilla de tipo plastica

CALCULO DE LA CAPACIDAD ADMISIBLE SEGUN TERZAGUI Y PECK (1967)

PARAMETROS DE CALCULO

Ángulo de Fricción interna	28.3
Corrección por falla local	18.8
Cohesión (kg/cm²) c'	0.02
Corrección por falla local c'	0.0154
Densidad de suelo Natural	1.601
Densidad seca de suelo	1.602
Humedad del Suelo (%)	8.25%
Factor de Seguridad	3.0

COEFICIENTE DE EMPUJE DE TIERRAS

Ka	=	0.51
Kp	=	1.95
Ka	=	0.68

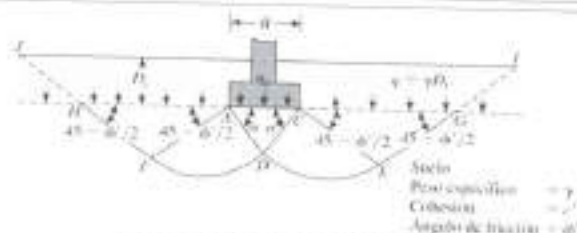
FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA (vesic)

Nc	=	13.80	Nq/Nc	=	0.41
N1	=	5.71	5q/q	=	0.34
N2	=	4.58			

Cuentacarga Corrida:

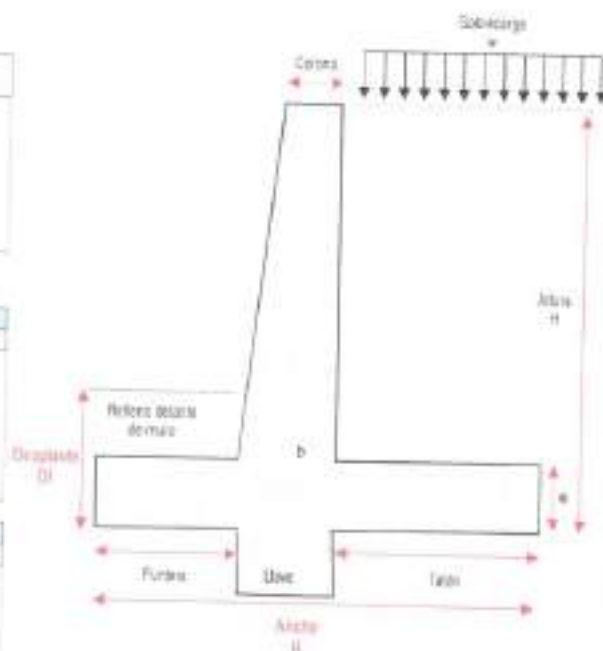
Ancho B (m)	Largo L (m)	Desplante Df (m)	Qult (kg/m²)	Qadm (kg/cm²)	Se (cm)
2.00		1.50	23.92	0.80	0.08
2.50		1.50	25.98	0.87	0.09
3.00		1.50	28.04	0.93	0.09
3.50		1.50	30.11	1.00	0.10
4.00		1.50	32.17	1.07	0.11
4.50		1.50	34.23	1.14	0.11
5.00		1.50	36.29	1.21	0.12

Ancho B (m)	Largo L (m)	Desplante Df (m)	Qult (kg/m²)	Qadm (kg/cm²)	Se (cm)
2.00		2.00	29.00	0.97	0.10
2.50		2.00	31.13	1.04	0.10
3.00		2.00	33.19	1.11	0.11
3.50		2.00	35.25	1.18	0.12
4.00		2.00	37.31	1.24	0.12
4.50		2.00	39.38	1.31	0.13
5.00		2.00	41.44	1.38	0.14



$$Q_{ult} = 5c'c'N_c + 0.5'5q'q'8'N_q + 5q'q'N_2$$

$$q_{adm} = q_{ult} / FS$$



OBSERVACIONES

Revisado: Bakt. Denis E.R.
Aprobado: Ing. Johnny R. O.

SILVER GEO SAC.
Laboratorio de Ensayos de Suelos y Rocas

Ing. Civil Johnny R. RAYMONDO OLIVERA
C.I.P. N° 204352

RUC: 20601685524
(Pag. 08)

FECHA TOMA
DE MUESTRAS

25-05-21

FECHA
INICIO ENSAYO

03-06-21

COD. MUESTRA O
ACTIVIDAD

C-03

NÚMERO DE INFORME

SG. N°193/2021

SOLICITANTE:

PROYECTO:

20607045551 CONSORCIO VIAL HUANCAYO

"MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL (TRAMO: AV. CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL), DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALHUAS, SAHO, SAN JERONIMO DE TUNAN, PROVINCIA DE HUANCAYO - JUNIN"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

ENSAYOS REALIZADOS:

UBICACIÓN: PROGRESIVA KM. 5+000 - LADO DERECHO
 DISTRITO: SAN AGUSTIN DE CAJAS
 PROVINCIA: HUANCAYO
 DEPARTAMENTO: JUNIN

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO SEGÚN NORMA ASTM D422-63(2007)*
 CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN NORMA ASTM D2216-10
 CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487-17) / AASHO (ASTM D2483-15)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad: Muestras por Muestras por el cliente
 Método de Muestreo: Excavación manual
 Perfil del Suelo Tipo: S2: Suelos intermedios

Profundidad: 2.00 m
 Napa freática: N.P.
 Lugar de Muestreo: Progresiva km. 5+000 - Lado Derecho
 Altitud (Cota):
 Coordenadas UTM:

Análisis Granulométrico ASTM D422-63(2007)*

Tamices ASTM E11	Abertura (mm)	Peso Retenido	Retenido Acumulado	% Que Pasa
3"	75.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
2"	50.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
1 1/2"	37.50 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
1"	25.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
3/4"	19.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
3/8"	9.50 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
N° 4	4.75 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
N° 10	2.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
N° 20	0.85 mm	25.00 g	2.7%	97.3%
N° 40	0.43 mm	24.00 g	5.3%	94.7%
N° 60	0.25 mm	18.00 g	7.4%	92.6%
N° 100	0.15 mm	10.00 g	6.5%	93.5%
N° 200	0.08 mm	4.00 g	5.9%	94.1%
PASA		638.00 g	100.0%	0.0%
		920.00 g	100.0%	100%

Resultados de la Granulometría

Grava	N° 4 < ϕ < 3"	0.00%
Armeda	N° 200 < ϕ < N° 4	8.90%
Fina	ϕ < N° 200	91.10%

Contenido de Humedad según ASTM D2216-10

Variables	Nro	Unidad	Muestra
Recipiente B"	—	—	11.34
(A) Peso de Contenedor Vaso	M _c	(g)	54.26
(B) Peso de Contenedor & Suelo Húmedo	M _{uc}	(g)	556.38
(C) Peso de Contenedor & Suelo Seco	M _{sc}	(g)	515.45
(D) Peso de Suelo Seco (C-A)	M _s	(g)	481.09
(E) Peso de Agua (B-C)	M _a	(g)	40.93
(F) Contenido de Humedad (100% E/D)	w	(%)	8.57%

Resaltados mínimos de espesores de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total
 Método A - Humedad Recomendada: < 15%
 9.50 mm - Tamaño máximo partícula % que pasa
 Masa mínima recomendada - espesores - 50 g

Clasificación de Suelos

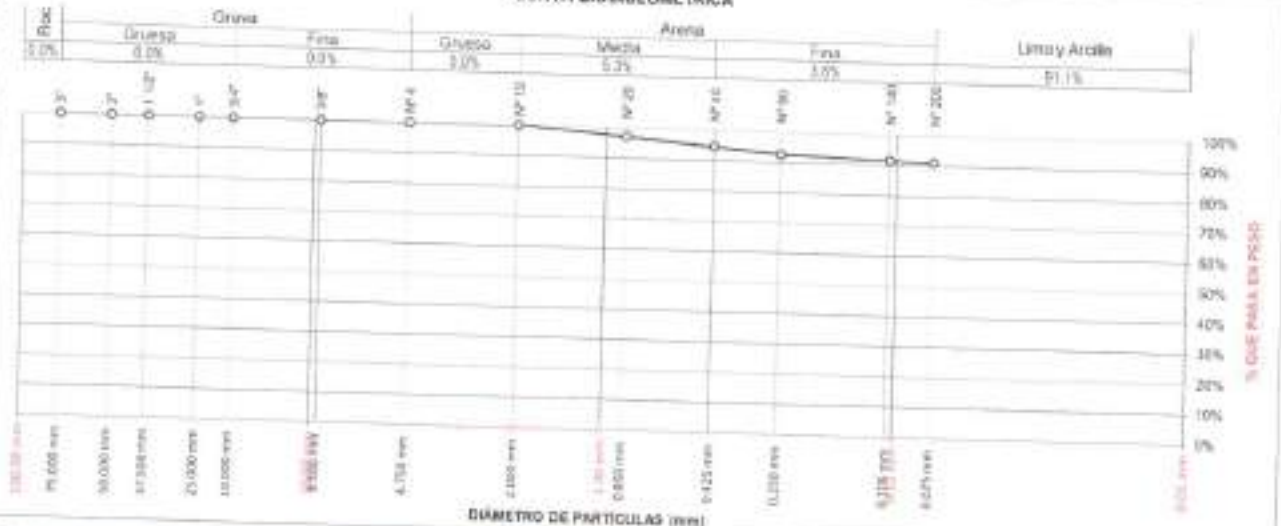
SUCS (ASTM D2487-17) / CL: AASHO (ASTM D2483-15) / A-5 (12)
 Arella de baja plasticidad

Coefficientes / Fines ≤ 12% (ASTM D2487-17)

$$D_{10} = \frac{C_u - D_{60}}{C_u - D_{30}} \cdot D_{30}$$

$$C_u = (D_{60})^2 / (D_{10} \cdot D_{30})$$

CURVA GRANULOMÉTRICA



Todos los valores observados y calculados se ajustarán a los decimales para dígitos significativos y redondeos establecidos en la Práctica ASTM D6026.

OBSERVACIONES:

Revisado: Bach. Denis L.R.
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

SILVER GEO SAC.
 Consultoría Geotécnica
 Laboratorio de Soils, Cimentación y Pavimentos

Ing. Civil Johnny R. RAYMONDO OLIVERA
 C.I.P. N° 204352

RUC: 2061885524
 (Pág. 43)

25-06-21

03-09-21

C-03

SG - N°103/2021

SOLICITANTE

PROYECTO

20607045551 CONSORCIO VIAL HUANCAYO

MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE-SUR, AV. FERROCARRIL (TRAMO: AV. CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL), DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALHUAS, SAO, SAN JERONIMO DE TUNAN, PROVINCIA DE HUANCAYO - JUNIN

UBICACIÓN DEL PROYECTO

ENSAYOS REALIZADOS

UBICACIÓN : PROGRESIVA KM. 5+000 - LADO DERECHO
DISTRITO : SAN AGUSTIN DE CAJAS
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNIN

LIMITES DE ATTERBERG SEGUN NORMA ASTM D4318-17
CLASIFICACIÓN SEGUN: SUCS ASTM D2487-17 / AASHTO (ASTM D3282-15)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD

Modalidad : Muestra por el cliente
Método de Muestreo : Excavación manual
Perfil del Suelo Tipo : S2: Suelos Intermedios

Profundidad : 2.00 m
Napa freática : N.P.
Lugar de Muestreo : Progresiva km. 5+000 - Lado Derecho
Altura (Cota) :
Coordenadas UTM :

Límites de Atterberg (ASTM D4318-17¹)

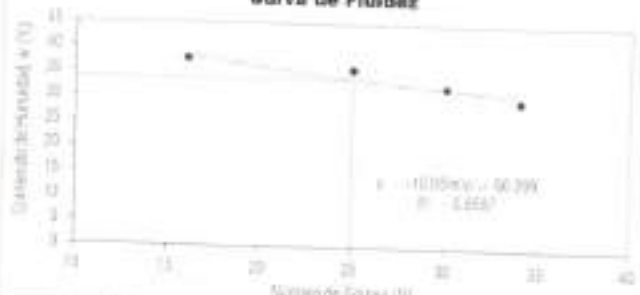
Límite Líquido (Método Multipunto)

Variable	Unidad	01	02	03	04
Número de Golpes	N	10	25	50	100
Recuento W _L	—	10.16	17.39	19.40	19.41
(A) Masa de Contenedor Vacio	M _c	100	100	100	100
(B) Masa de Contenedor & Suelo Humedo	M ₁	100	100	100	100
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M ₂	100	100	100	100
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M _s	100	100	100	100
(E) Masa of Water (B-C)	M _w	100	100	100	100
(F) Contenido de Humedad (100% E/D)	w	71.16	25.76	23.36	29.42

Límite Plástico (Método Manual)

Variable	Unidad	01	02	03	04
Recuento W _P	—	11.42	11.42	11.44	11.40
(A) Masa de Contenedor Vacio	M _c	100	100	100	100
(B) Masa de Contenedor & Suelo Humedo	M ₁	100	100	100	100
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M ₂	100	100	100	100
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M _s	100	100	100	100
(E) Masa of Water (B-C)	M _w	100	100	100	100
(F) Contenido de Humedad (100% E/D)	w	71.16	25.76	23.36	29.42

Curva de Fluidez

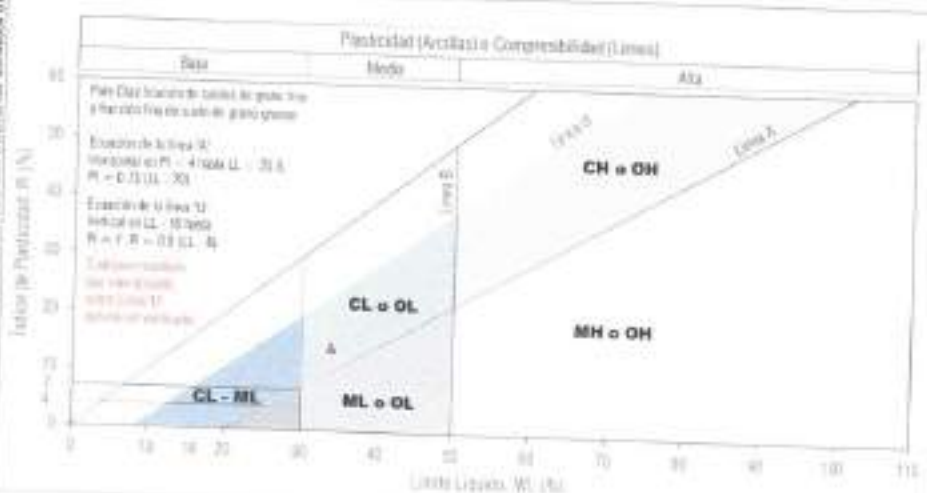


Resultados Límites de Atterberg (ASTM D4318-17¹)

Liquid Limit (LL, w _L)	13.3%	Plastic Limit (PL, w _P)	19.3%	Plasticity Index (PI)	14.3%
------------------------------------	-------	-------------------------------------	-------	-----------------------	-------

Clasificación de Suelos

SUCS (ASTM D2487-17)	CL	AASHTO (ASTM D3282-15)	A-5 (12)
Arcilla de baja plasticidad			



- LEYENDA**
- Suelo en solución
 - Arcillas marginales de baja plasticidad
 - Límites marginales de baja compresibilidad
 - Arcillas marginales de media plasticidad
 - Límites marginales de compresibilidad media y límites orgánicos
 - Arcillas marginales de alta plasticidad
 - Límites marginales de alta compresibilidad y arcillas orgánicas
- Excepción de la línea 'A' :
Excepción de la línea 'U' :
Excepción de la línea 'V' :
Excepción de la línea 'W' :
Excepción de la línea 'X' :
Excepción de la línea 'Y' :

Carta de Plasticidad elaborada según: Figure 4-21 Plasticity Chart, pag. 117 - Principios de Geotécnica Engineering - Braja M. Das 9th Edition

Realizado : Bach. David L.R.
Revisado : Ing. Johnny R.O.

SILVER GEO SAC.
Laboratorio de Ensayos de Materiales
Laboratorio de Ensayos de Materiales y Pavimentos

Ing. Civil Johnny R. KAYMUNDO OLIVERA
C.I.P. N° 204352

RUC: 20601685534
(Pag. 40)

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NÚMERO DE INFORME
------------------------	---------------------	--------------------------	-------------------

25-08-21

03-09-21

C-02

SG. N°150/2021

SOLICITANTE:

PROYECTO:

20670X5551 CONSORCIO VIAL HUANCAYO

MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL (TRAMO: AV. CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL), DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALHEDAS, SAÑO, SAN JERONIMO DE TUNAN, PROVINCIA DE HUANCAYO - JUNIN

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

ENSAYOS REALIZADOS:

UBICACIÓN: PROGRESIVA KM. 1+030 - LADO IZQUIERDO
 DISTRITO: SAÑO
 PROVINCIA: HUANCAYO
 DEPARTAMENTO: JUNIN

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO SEGÚN NORMA ASTM D422-63(2007)*
 CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN NORMA ASTM D2216-10
 CLASIFICACIÓN: SUCS (ASTM D2487-17) / AASHTO (ASTM D2282-15)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad: Muestra por Muestreo por el cliente
 Método de Muestreo: Excavación manual
 Perfil del Suelo Tipo: S2: Suelos intermedios

Profundidad: 2.00 m
 Mapa Escala: N.P.
 Lugar de Muestreo: Progresiva km. 1+030 - Lado Izquierdo
 Altitud (Cota):
 Coordenadas UTM:

Análisis Granulométrico ASTM D422-63(2007)*

Tamices ASTM E11	Apertura (mm)	Peso Retenido	Retenido Acumulado	% Que Pasa
3"	75.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
2"	50.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
1 1/2"	37.50 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
1"	25.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
3/4"	18.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
3/8"	9.50 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
N° 4	4.75 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
N° 10	2.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
N° 20	0.85 mm	34.00 g	3.2%	96.8%
N° 40	0.43 mm	48.00 g	7.6%	92.4%
N° 60	0.25 mm	80.50 g	15.6%	84.4%
N° 100	0.15 mm	42.00 g	19.5%	80.5%
N° 200	0.075 mm	20.00 g	21.4%	78.6%
PSA		843.00 g	100.0%	0.0%
		1072.00 g	100.0%	100%

Contenido de Humedad según ASTM D2216-10

Variables	Var	Unidad	Muestra
Recipiente M			U-02
(A) Peso de Contenedor Vacío	M _c	(g)	54.28
(B) Peso de Contenedor & Suelo Húmedo	M _{cu}	(g)	514.23
(C) Peso de Contenedor & Suelo Seco	M _{cs}	(g)	483.25
(D) Peso de Suelo Seco (C-A)	M _s	(g)	431.10
(E) Peso de Agua (B-C)	M _w	(g)	31.00
(F) Contenido de Humedad (100* E/D)	W	(%)	7.2%

Ajustar a mínimos de espesores de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total.
 W_{lim} A - Humedad Recomendada = 7%
 9.50 mm - Tamaño máximo partícula % que pasa
 Masa mínima recomendada - sujeción = 50 g

Clasificación de Suelos

SUCS (ASTM D2487-17) - CL - AASHTO (ASTM D2282-15) - A-3(10)
 Arcilla de baja plasticidad con arena.

Coefficientes / Finos ≤ 12% (ASTM D2487-17)

$$D_{60} = \frac{C_u - D_{30}/D_{10}}{C_c - (D_{30}/D_{10})}$$

Resultados de la Granulometría

Grava	[N° 4 < φ < 3"]	0.00%
Arena	[N° 200 < φ < N° 4]	21.40%
Fino	[φ < N° 200]	78.60%

CURVA GRANULOMÉTRICA



Todos los valores observados y calculados se ajustan a los índices para fines representativos y métodos establecidos en la Práctica ASTM D6000.

OBSERVACIONES:

Revisado: Bath Davis L.R.
 Aprobado: Ing. Johnny R. O.

SILVER GEO SAC.
 Laboratorio de Ingeniería Geotécnica y Ambiental

Ing. Civil Johnny R. RAMILUNDO OLIVERA
 C.I.P. N° 204352

RIAC: 20001685524
 (Pág. 39)

SOLICITANTE:

PROYECTO:

20607045551 CONSORCIO VIAL HUANCAYO

MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL (TRAMO: AV. CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL), DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CALIAS, HUALHUIS, BAÑO, SAN JERONIMO DE TUNAN, PROVINCIA DE HUANCAYO - JUNIN

UBICACION DEL PROYECTO:

ENSAYOS REALIZADOS:

UBICACION: PROGRESIVA KM. 1+030 - LADO IZQUIERDO
DISTRITO: SAÑO
PROVINCIA: HUANCAYO
DEPARTAMENTO: JUNIN

LIMITES DE ATTERBERG SEGUN NORMA ASTM D4318-17
CLASIFICACION SEGUN: SUCS ASTM D2487-17 / AASHTO (ASTM D2922-15)

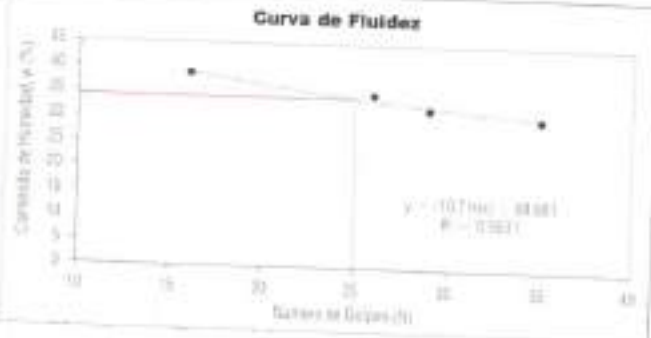
TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad: Muestreo por el cliente
Metodo de Muestreo: Excavación manual
Perfil del Suelo Tipo: S2: Suelos Intermedios
Profundidad: 2.00 m
Nivel topografico: N.P.
Lugar de Muestreo: Progresiva km. 1+030 - Lado izquierdo
Altitud (Cota):
Coordenadas UTM:

Limites de Atterberg (ASTM D4318-17)

Limite Liquido (Metodo Multipunto)

Variable	Unidad	01	02	03	04
Número de Golpes	N	10	20	25	25
Recipiente N°	---	N° 15	N° 20	N° 24	N° 25
(A) Masa de Contenedor Vacío	M _c	32.00	31.30	32.20	32.50
(B) Masa de Contenedor & Suelo Humedo	M _{wh}	43.20	43.45	43.60	43.80
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M _{sc}	38.90	37.65	38.40	39.10
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M _s	6.90	6.35	6.20	6.60
(E) Masa of Water (B-C)	M _w	5.30	5.80	5.20	5.20
(F) Contenido de Humedad (100* E/D)	w (%)	76.80	91.34	83.33	78.91



Limite Plastico (Metodo Manual)

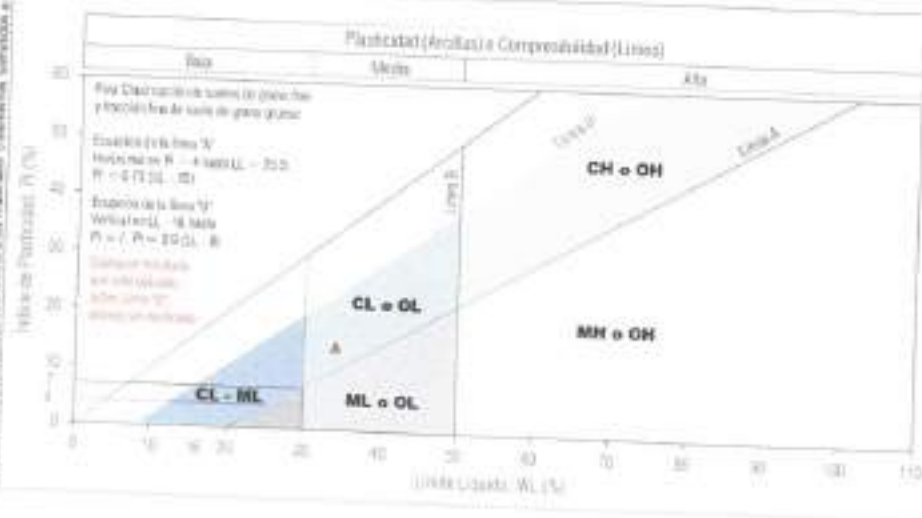
Variable	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	N° 26	N° 27	N° 28	N° 29
(A) Masa de Contenedor Vacío	M _c	21.60	22.10	22.20	22.60
(B) Masa de Contenedor & Suelo Humedo	M _{wh}	41.30	38.50	40.10	40.00
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M _{sc}	35.30	35.40	37.00	37.40
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M _s	13.70	13.30	14.80	14.80
(E) Masa of Water (B-C)	M _w	6.00	3.10	3.10	2.60
(F) Contenido de Humedad (100* E/D)	w (%)	43.80	23.33	20.95	17.57

Resultados Limites de Atterberg (ASTM D4318-17)

Liquid Limit (LL, w _L)	76.8%	Plastic Limit (PL, w _p)	19.5%	Plasticity Index (PI)	14.3%
------------------------------------	-------	-------------------------------------	-------	-----------------------	-------

Clasificación de Suelos

SUCS (ASTM D2487-17): CL AASHTO (ASTM D2922-15): A-3 (10)
Arcilla de baja plasticidad con arena.



- LEYENDA**
- Suelo por contenido
 - Arcillas inorgánicas de baja plasticidad
 - Líneas inorgánicas de baja compresibilidad
 - Arcillas inorgánicas de media plasticidad
 - Líneas inorgánicas de compresibilidad media y limos orgánicos
 - Arcillas inorgánicas de alta plasticidad
 - Limos inorgánicos de alta compresibilidad y arcillas orgánicas
 - Excepción de la línea 'A'

Carta de Plasticidad elaborada según Figure 4.31 Plasticity Chart, pag. 117 - Principles of Geotechnical Engineering - Bray M. Das, 9th. Edición

Revisado: Arch. David L.R.
Revisado: Ing. Johnny R. O.

SILVER GEO SAC.
Consultoría Geotécnica
Laboratorio de Suelos, Rocas y Pavimentos

Ing. Civil Johnny R. OLIVERA
C.I.P. N° 204352

RUC: 20601685624
(Pág. 42)

FECHA TOMA
DE MUESTRAS

25-08-21

FECHA
INICIO ENSAYO

09-09-21

COD. MUESTRA O
ACTIVIDAD

C-01

NÚMERO DE INFORME

SG. N° 103/2021

SOLICITANTE:

PROYECTO:

20607045551 CONSORCIO VIAL HUANCAYO

"MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE-SUR, AV. FERROCARRIL (TRAMO: AV. CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL), DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALHUAS, SAO, SAN JERONIMO DE TUNAN, PROVINCIA DE HUANCAYO - JUNIN"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

ENSAYOS REALIZADOS:

UBICACIÓN : PROGRESIVA KM. 0+980 - LADO DERECHO
DISTRITO : SAO
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNIN

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO SEGUN NORMA ASTM D422-63(2007)*
CONTENIDO DE HUMEDAD SEGUN NORMA ASTM D2216-10
CLASIFICACIÓN: SUCS (ASTM D2487-17) - AASHTO (ASTM D2482-15)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad : Muestra por Muestras por el cliente
Método de Muestreo : Excavación manual
Perfil del Suelo Tipo : S2: Suelo Inestabilizado

Profundidad : 2.00 m
Napa Estática : N.P.
Lugar de Muestreo : Progresiva km. 0+980 - Lado Derecho
Altura (Cota) :
Coordenadas UTM :

Análisis Granulométrico ASTM D422-63(2007)*

Tamices ASTM E11	Abertura (mm)	Peso Retenido	Retenido Acumulado	% Que Pasa
3"	75.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
2"	50.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
1 1/2"	37.50 mm	251.00 g	8.7%	91.3%
1"	25.00 mm	605.00 g	29.5%	70.5%
3/4"	19.00 mm	403.00 g	43.5%	56.5%
3/8"	9.50 mm	175.00 g	49.5%	50.5%
N° 4	4.75 mm	62.00 g	51.7%	48.3%
N° 10	2.00 mm	34.80 g	54.9%	45.1%
N° 20	0.85 mm	98.00 g	58.3%	41.7%
N° 40	0.43 mm	84.00 g	61.2%	38.8%
N° 60	0.25 mm	91.00 g	64.3%	35.7%
N° 140	0.11 mm	78.00 g	67.0%	33.0%
N° 200	0.08 mm	52.00 g	68.6%	31.2%
PASA		904.70 g	100.0%	0.0%
		2906.70 g	100.0%	100%

Contenido de Humedad según ASTM D2216-10

Variables	No	Unidad	Muestra
Recipiente MP			N° 01
(A) Peso de Contenedor Vaco	M _c	(g)	11.36
(B) Peso de Contenedor & Suelo Húmedo	M ₁	(g)	198.36
(C) Peso de Contenedor & Suelo Seco	M ₂	(g)	176.62
(D) Peso de Suelo Seco (C-A)	M _s	(g)	425.27
(E) Peso de Agua (B-C)	M _w	(g)	21.74
(F) Contenido de Humedad (100* E/D)	w	(%)	5.11%

Repeticiones: número de especificaciones de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total
Método B - Humedad Recomendada: < 0.1%
9.50 mm - Tuerca máxima partícula % que pasa
Máxima humedad recomendada - espesores - 500 g

Clasificación de Suelos

SUCS (ASTM D2487-17) : GR AASHTO (ASTM D1242-15) : A-2-4 (0)
Grava arcillosa con arena

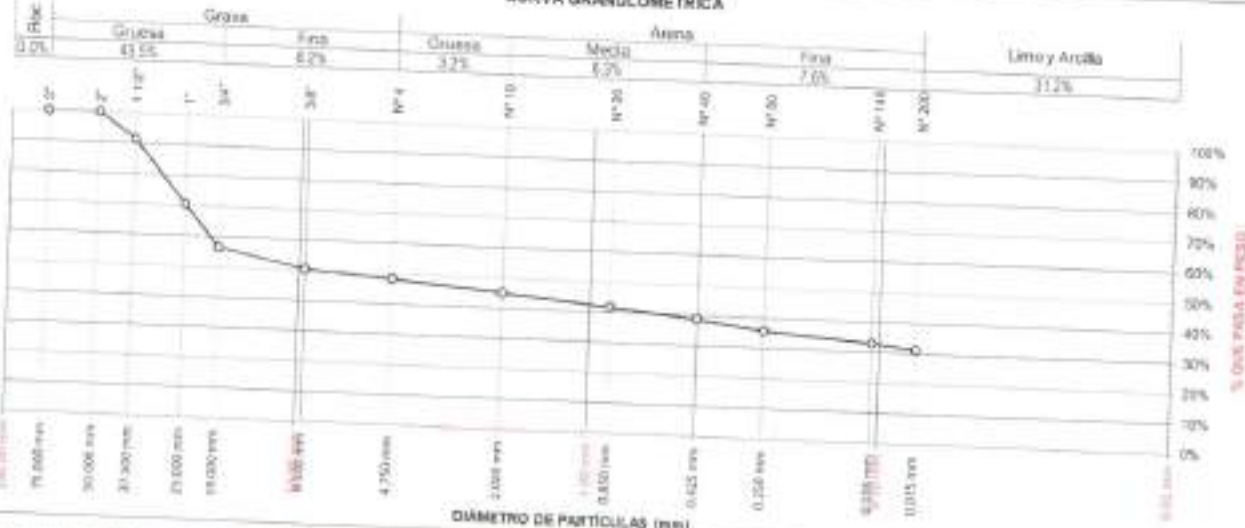
Coefficientes / Finos ≤ 12% (ASTM D2487-17)

$$D_{60} = \frac{C_u - D_{30}/D_{10}}{C_c - D_{30}/D_{10}}$$

Resultados de la Granulometría

Grava	[N° 4 < φ < 3"]	51.70%
Arena	[N° 200 < φ < N° 4]	17.10%
Fino	[φ < N° 200]	31.20%

CURVA GRANULOMÉTRICA



Todos los valores observados y calculados se ajustarán a las directrices para dígitos significativos y redondeo establecidas en la Práctica ASTM E696.

OBSERVACIONES:

Realizado: Bach. Germ L.R.
Revisado: Ing. Johnny R. D.

SILVER GEO SAC.
Geotecnia, Geología
Laboratorio de Suelos, Rocas y Pavimentos

Ing. Civil Johnny R. RAYBANDO OLIVERA
C.L.P. N° 201352

RUC: 20601685524
(Pág. 37)

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NÚMERO DE INFORME
------------------------	---------------------	--------------------------	-------------------

25-08-21

03-09-21

C-01

BQ. N°103/2021

SOLICITANTE:

PROYECTO:

20607045551 CONSORCIO VIAL HUANCAYO

MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL (TRAMO: AV. CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL), DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALHUAS, SAÑO, SAN JERONIMO DE TUNAN, PROVINCIA DE HUANCAYO - JUNIN

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

ENSAYOS REALIZADOS:

UBICACIÓN: PROGRESIVA KM. 0+940 - LADO DERECHO
DISTRITO: SAÑO
PROVINCIA: HUANCAYO
DEPARTAMENTO: JUNIN

LÍMITES DE ATTERBERG SEGÚN NORMA ASTM D4318-17
CLASIFICACIÓN SEGÚN: SUCS ASTM D2487-17 / AASHTO (ASTM D3282-13)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad: Muestreo por el cliente
Método de Muestreo: Excavación manual
Perfil del Suelo Tipo: S2 Suelos Intermedios

Profundidad: 2.00 m
Napa freática: N.P.
Lugar de Muestreo: Progresiva km. 0+940 - Lado Derecho

Altitud (Cura):

Coordenadas UTM:

Límites de Atterberg (ASTM D4318-17)

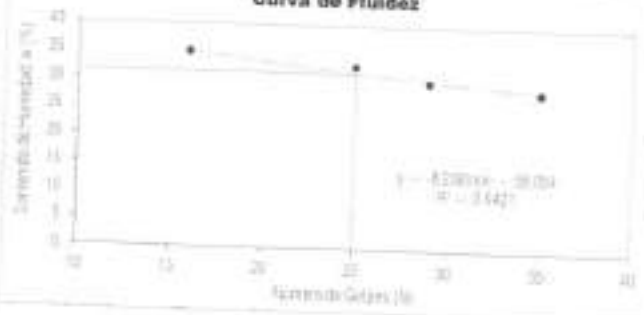
Límite Líquido (Método Multipunto)

Variable	Unidad	01	02	03	04
Número de Golpes	N	25	25	25	25
Resistencia MP	MP	11.16	11.16	11.16	11.16
(A) Masa de Contenedor Vacío	M _c	30.45	30.45	30.45	30.45
(B) Masa de Contenedor & Suelo húmedo	M _{húmedo}	47.75	48.50	48.30	47.25
(C) Masa de Contenedor & Suelo seco	M _{seco}	41.21	43.20	42.40	42.50
(D) Masa de Suelo Seco (D-A)	M _s	10.76	12.75	11.95	12.05
(E) Masa de Water (B-C)	M _w	3.54	5.30	5.35	5.45
(F) Contenido de Humedad (100° E(2))	w (%)	34.86	42.36	45.30	45.48

Límite Plástico (Método Manual)

Variable	Unidad	01	02	03	04
Resistencia MP	MP	11.16	11.16	11.16	11.16
(A) Masa de Contenedor Vacío	M _c	30.45	30.45	30.45	30.45
(B) Masa de Contenedor & Suelo húmedo	M _{húmedo}	35.85	36.50	36.10	35.80
(C) Masa de Contenedor & Suelo seco	M _{seco}	30.45	34.25	33.75	34.12
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M _s	0.00	3.80	3.30	3.67
(E) Masa de Water (B-C)	M _w	5.40	2.25	2.35	2.47
(F) Contenido de Humedad (100° E(2))	w (%)	30.52	21.38	22.34	23.01

Curva de Fluidez



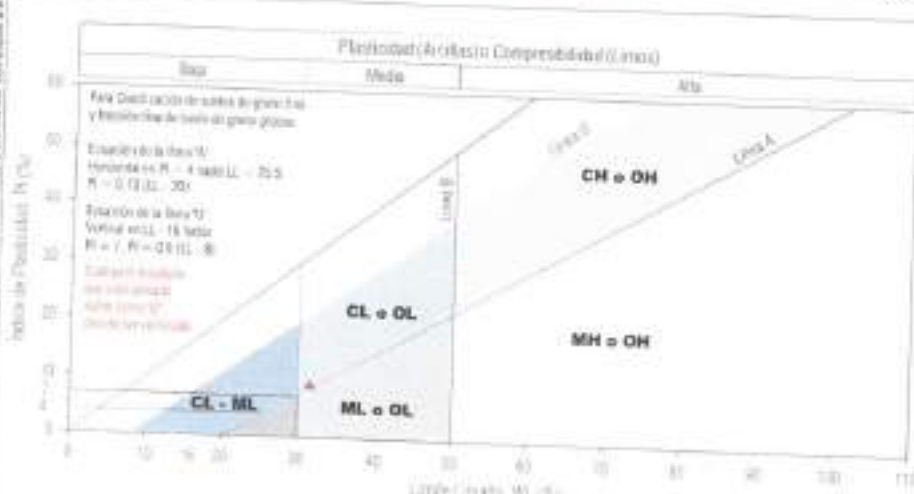
Resultados Límites de Atterberg (ASTM D4318-17)

Liquid Limit (LL, w _L)	31.5%	Plastic Limit (PL, w _P)	22.1%	Plasticity Index (PI)	9.4%
------------------------------------	-------	-------------------------------------	-------	-----------------------	------

Clasificación de Suelos

SUCS (ASTM D2487-17)	GC	AASHTO (ASTM D3282-13)	A-2-4 (6)
----------------------	----	------------------------	-----------

Grava arcillosa con arena



LEYENDA

- Suelo sin compactar
 - Áreas restringidas de baja plasticidad
 - Áreas restringidas de baja compresibilidad
 - Áreas restringidas de media plasticidad
 - Áreas restringidas de compresibilidad media y áreas orgánicas
 - Áreas restringidas de alta plasticidad
 - Áreas restringidas de alta compresibilidad y áreas orgánicas
- Ecuación de la línea A: $LL = 0.73(PI + 4)$

Carta de Plasticidad elaborada según: Figure 4-21 Plasticity Chart, pag. 117 - Principios al Geotécnico Engineering - Baja M. San Ben. Edition

Revisado: Beth Davis L.A.
Revisado: Ing. Johnny R. O.

SILVER GEO SAC.
Corporación Geotécnica
Laboratorio de Suelos, Rocas y Pavimentos
Ing. Civil Johnny R. O. OLIVERA
C.I.P. N° 204352

RUC: 20601695574
(Pag. 38)

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	ODG, MUESTRA O ACTIVIDAD	NUMERO DE INFORME
25-08-21	03-09-21	C-04	SG. N°103/2021

SOLICITANTE:

2060704551 CONSORCIO VIAL HUANCAYO

PROYECTO:

"MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL (TRAMO: AV. DERCUNVALACION - CRUCE GARRETERA CENTRAL), DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALLIJA, SAO, SAN JERONIMO DE TUNAN, PROVINCIA DE HUANCAYO - JUNIN"

UBICACION DEL PROYECTO:

ENSAYOS REALIZADOS:

UBICACION : PROGRESIVA KM. 5+450 - LADO DERECHO
DISTRITO : SAN AGUSTIN DE CAJAS
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNIN

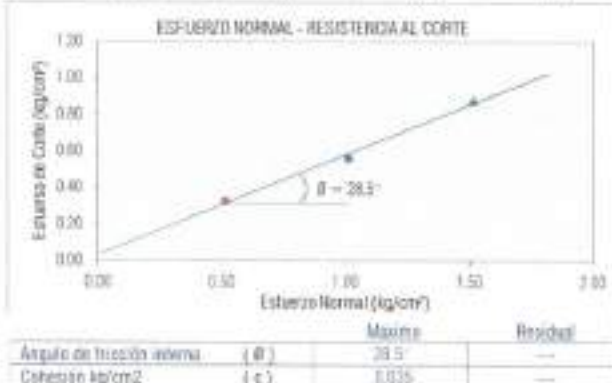
ENSAYO DE CORTE DIRECTO SEGUN NORMA ASTM D3080/D3080-11

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad : Muestras por al corte Profundidad : 2.00 m Altitud (Cota) :
Estado : Remediación material + Tercio N° 4 Smbolo del Suelo : CL Coordinadas UTM :
Lmites de Atterberg : WL 34.2% WP 21.2% PI 13.0% Clasificación del Suelo : Arcilla de baja plasticidad

Ensayo de Corte Directo bajo condiciones drenadas ASTM D3080/D3080-11

Especimen N° 01				Especimen N° 02				Especimen N° 03			
Descripción	Unidad	Inicial	Final	Descripción	Unidad	Inicial	Final	Descripción	Unidad	Inicial	Final
Lado	cm	6.00	6.00	Lado	cm	6.00	6.00	Lado	cm	6.00	6.00
Altura	cm	2.00	1.91	Altura	cm	2.00	1.90	Altura	cm	2.00	1.88
Densidad húmeda	g/cm³	0.06	-	Densidad húmeda	g/cm³	0.06	-	Densidad húmeda	g/cm³	0.07	-
Contenido de humedad	%	5.62%	6.18%	Contenido de humedad	%	5.62%	6.46%	Contenido de humedad	%	5.62%	6.55%
Esfuerzo Normal	kg/cm²	0.51	-	Esfuerzo Normal	kg/cm²	1.0	-	Esfuerzo Normal	kg/cm²	1.5	-
Esfuerzo Cortante Máximo	kg/cm²	0.33	-	Esfuerzo Cortante Máximo	kg/cm²	0.56	-	Esfuerzo Cortante Máximo	kg/cm²	0.88	-
Deformación Horizontal (mm)	Fuerza Cortante	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)		Deformación Horizontal	Fuerza Cortante	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)		Deformación Horizontal	Fuerza Cortante	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)	
0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00
0.12	3.43	0.0246	0.08	0.08	1.70	0.047	0.10	0.10	6.39	0.117	0.17
0.24	7.66	0.0553	0.20	0.20	3.35	0.092	0.22	0.22	10.17	0.219	0.27
0.36	11.88	0.0860	0.32	0.32	6.04	0.180	0.34	0.34	13.60	0.371	0.37
0.48	16.62	0.1187	0.44	0.44	8.15	0.221	0.46	0.46	17.09	0.464	0.46
0.60	21.91	0.1561	0.56	0.56	10.15	0.274	0.58	0.58	19.95	0.537	0.53
0.72	27.98	0.1968	0.78	0.78	12.93	0.322	0.76	0.76	22.28	0.594	0.59
0.84	31.94	0.2227	0.88	0.88	13.38	0.353	0.91	0.91	24.16	0.641	0.64
1.08	36.70	0.2508	1.04	1.04	14.77	0.389	1.06	1.06	26.16	0.688	0.68
1.23	40.93	0.2771	1.19	1.19	16.14	0.422	1.21	1.21	28.15	0.736	0.73
1.38	43.96	0.2968	1.34	1.34	17.45	0.452	1.36	1.36	30.15	0.781	0.78
1.53	45.94	0.3101	1.49	1.49	18.65	0.479	1.51	1.51	31.36	0.826	0.82
1.68	47.32	0.3182	1.64	1.64	19.73	0.503	1.66	1.66	32.66	0.867	0.86
1.83	48.58	0.3226	1.79	1.79	20.71	0.524	1.81	1.81	34.20	0.906	0.90
1.98	49.37	0.3252	1.94	1.94	21.90	0.539	1.96	1.96	34.65	0.948	0.94
2.13	50.16	0.3276	2.09	2.09	22.25	0.553	2.11	2.11	35.15	0.972	0.97
2.28	50.95	0.3300	2.24	2.24	22.70	0.560	2.26	2.26	35.57	0.977	0.97
2.43	50.95	0.3272	2.39	2.39	22.62	0.558	2.41	2.41	35.72	0.972	0.97
2.58	51.22	0.3263	2.54	2.54	22.93	0.556	2.56	2.56	36.79	0.987	0.98
2.73	51.48	0.3248	2.69	2.69	22.93	0.551	2.71	2.71	35.86	0.961	0.96
2.88	51.22	0.3205	2.84	2.84	22.93	0.547	2.86	2.86	35.93	0.955	0.95
3.03	51.48	0.3193	2.99	2.99	22.67	0.540	3.01	3.01	36.00	0.950	0.95
3.18	51.74	0.3161	3.14	3.14	22.70	0.532	3.16	3.16	35.93	0.940	0.94
3.33	51.22	0.3121	3.29	3.29	22.47	0.520	3.31	3.31	36.79	0.930	0.93
3.48	50.95	0.3076	3.44	3.44	22.42	0.516	3.46	3.46	36.00	0.919	0.91
3.63	49.90	0.2985	3.59	3.59	22.36	0.510	3.61	3.61	35.05	0.911	0.91



CONCLUSIONES:

Realizado: Sach Denis J.R.
Revisado: Ing. Johnny R. O.

SILVER GEO SAC.
Corporación Civil
Laboratorio de Ensayos Geotécnicos y Perforación

Ing. Civil Johnny R. RAYMONDO OLIVERA
C.I.P. N° 204352

RUC: 25601695524
(Pág. 72)

FECHA TOMA DE MUESTRA	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NÚMERO DE INFORME
25-08-21	03-09-21	C-04	SG-N°103/2021

SOLICITANTE

20607045551 CONSORCIO VIAL HUANCAYO

PROYECTO

"MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL (TRAMO AV. CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL), DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALHUAS, SAJO, SAN JERONIMO DE TUNAN, PROVINCIA DE HUANCAYO - JUNIN"

UBICACION DEL PROYECTO

UBICACIÓN : PROGRESIVA KM. 5+450 - LADO DERECHO
DISTRITO : SAN AGUSTIN DE CAJAS
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNIN

ENSAYOS REALIZADOS

CALCULO DE LA CAPACIDAD ADMISIBLE SEGUN TERZAGUI Y PECK (1967)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD

Modalidad : Muestreo por el cono Profundidad : 2.00 m. Análisis (Cota) :
Estado : Remoldeado; material = Terraz N° 4 Símbolo del Suelo : CL Coordenadas UTM :
Límites de Atterberg : WL 34.5% WP 21.3% PI 13.2% Clasificación del Suelo : Arcilla de baja plasticidad

CALCULO DE LA CAPACIDAD ADMISIBLE SEGUN TERZAGUI Y PECK (1967)

PARAMETROS DE CÁLCULO

Ángulo de fricción interna	28.5
Corrección por falla local	19.0
Cohesión (kg/cm²) c	0.03
Corrección por falla local c	0.0231
Densidad de suelo natural	1.801
Densidad seca de suelo	1.802
Humedad del Suelo (%)	9.02%
Factor de Seguridad	3.0

COEFICIENTE DE EMPUJE DE TIERRAS

Ka	=	0.51
Kp	=	1.97
Kb	=	0.67

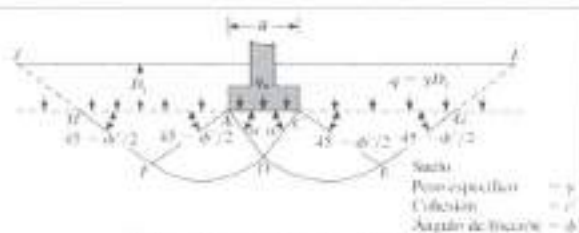
FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA (vesic)

Nc =	13.94	Nq/Nc =	0.42
Nq =	5.80	tan φ =	0.34
Nγ =	4.69		

Comentación Corrida:

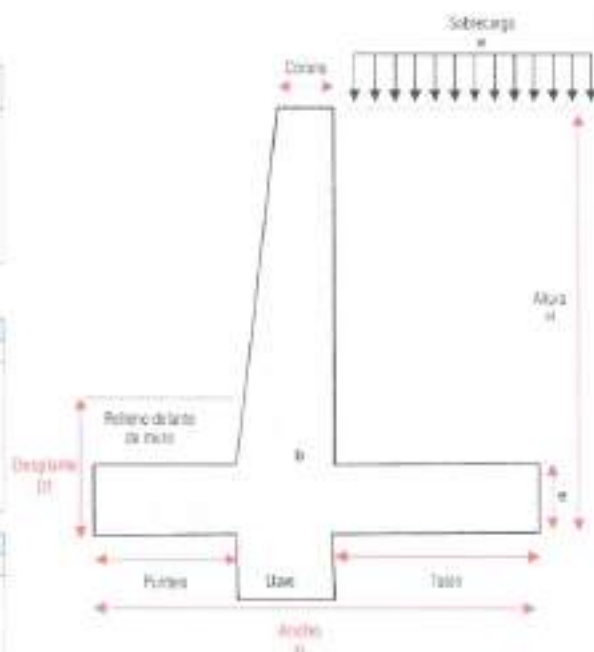
Ancho B (m)	Largo L (m)	Desplante Df (m)	Qult (t/m²)	Qadm (kg/cm²)	Sf (m)
2.00	1.50	1.50	24.46	0.82	0.08
2.50	1.50	1.50	26.57	0.89	0.09
3.00	1.50	1.50	28.66	0.96	0.10
3.50	1.50	1.50	30.79	1.03	0.10
4.00	1.50	1.50	32.90	1.10	0.11
4.50	1.50	1.50	35.01	1.17	0.12
5.00	1.50	1.50	37.12	1.24	0.12

Ancho B (m)	Largo L (m)	Desplante Df (m)	Qult (t/m²)	Qadm (kg/cm²)	Sf (m)
2.00	2.00	2.00	29.69	0.99	0.10
2.50	2.00	2.00	31.80	1.06	0.11
3.00	2.00	2.00	33.91	1.13	0.11
3.50	2.00	2.00	36.02	1.20	0.12
4.00	2.00	2.00	38.13	1.27	0.13
4.50	2.00	2.00	40.24	1.34	0.13
5.00	2.00	2.00	42.35	1.41	0.14



$$Q_{ult} = 5c^*N_c + 0.5^*S_q^*a^*N_q + S_q^*a^*N_q$$

$$q_{adm} = Q_{ult} / FS$$



OBSERVACIONES

Revisado: Dsch, Domo L.R.
Revisado: Ing. Johnny R. O.

SILVER GEO SACS
Laboratorio de Suelos y Geotecnia

Ing. Civil Johnny R. RAYMOND OLIVERA
C.I.P. N° 2074552

RUC: 20601665524
[Pag. 73]

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NUMERO DE INFORME
25-05-21	03-09-21	C-05	SG- N°103/2021

SOLICITANTE:

PROYECTO:

20607045551 CONSORCIO VIAL HUANCAYO

MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL (TRAMO: AV. CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL), DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALHUAS, SAÑO, SAN JERONIMO DE TUNAN, PROVINCIA DE HUANCAYO - JUNIN

UBICACION DEL PROYECTO:

ENSAYOS REALIZADOS:

UBICACION: PROGRESIVA KM. 5+500 - LADO IZQUIERDO
DISTRITO: SAN AGUSTIN DE CAJAS
PROVINCIA: HUANCAYO
DEPARTAMENTO: JUNIN

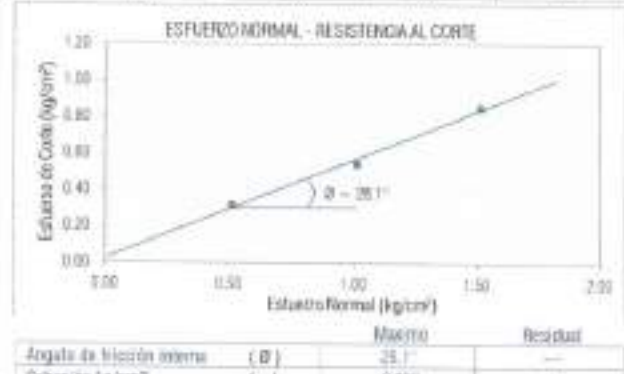
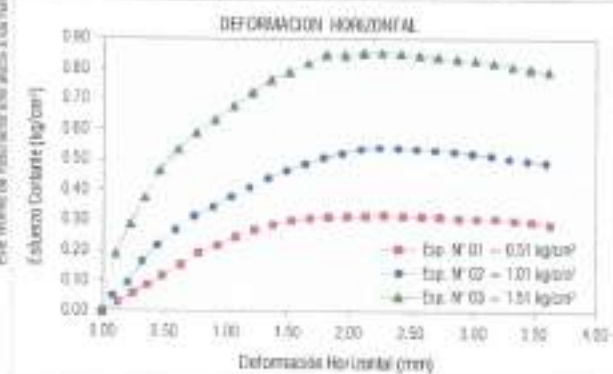
ENSAYO DE CORTE DIRECTO SEGUN NORMA ASTM D3080/D3080-11

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad: Muestreo por el cliente Profundidad: 2.00 m Atrial (Cota):
Estado: Remediación material - Trazo N° 4 Smbolo del Suelo: CL Coordenadas UTM:
Límites de Atterberg: RL 32.2% WP 20.3% PI 12% Clasificación del Suelo: Arcilla de baja plasticidad

Ensayo de Corte Directo bajo condiciones drenadas ASTM D3080/D3080-11

Especimen N° 01				Especimen N° 02				Especimen N° 03			
Descripción	Unidad	Inicial	Final	Descripción	Unidad	Inicial	Final	Descripción	Unidad	Inicial	Final
Lado	cm	6.00	6.00	Lado	cm	6.00	6.00	Lado	cm	6.00	6.00
Altura	cm	2.00	1.91	Altura	cm	2.00	1.90	Altura	cm	2.00	1.88
Densidad húmeda	g/cm³	0.65	-	Densidad húmeda	g/cm³	0.65	-	Densidad húmeda	g/cm³	0.65	-
Contenido de humedad	%	4.50%	4.05%	Contenido de humedad	g/cm³	4.50%	5.10%	Contenido de humedad	g/cm³	4.50%	5.25%
Esfuerzo Normal	kg/cm²	0.51	-	Esfuerzo Normal	kg/cm²	1.0	-	Esfuerzo Normal	kg/cm²	1.5	-
Esfuerzo Cortante Máximo	kg/cm²	0.52	-	Esfuerzo Cortante Máximo	kg/cm²	0.54	-	Esfuerzo Cortante Máximo	kg/cm²	0.55	-
Deformación Horizontal (mm)	Fuerza Cortante	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)		Deformación Horizontal	Fuerza Cortante	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)		Deformación Horizontal	Fuerza Cortante	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)	
0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00
0.12	4.43	0.6805	0.10	0.08	1.88	0.352	0.10	0.10	8.88	0.190	0.190
0.24	8.86	0.6594	0.20	0.20	3.48	0.395	0.20	0.22	10.50	0.288	0.288
0.36	12.88	0.3870	0.30	0.30	8.00	0.160	0.30	0.34	13.78	0.376	0.376
0.48	17.63	0.1195	0.40	0.44	8.00	0.219	0.40	0.46	17.12	0.465	0.465
0.60	22.01	0.1541	0.50	0.58	9.80	0.268	0.50	0.61	18.85	0.534	0.534
0.72	26.98	0.1934	0.74	0.74	11.75	0.315	0.74	0.78	22.05	0.589	0.589
0.84	30.94	0.2181	0.88	0.88	12.06	0.344	0.88	0.91	23.57	0.633	0.633
1.08	37.76	0.2476	1.04	1.04	14.38	0.379	1.08	1.08	25.78	0.676	0.676
1.20	41.38	0.2696	1.18	1.18	15.60	0.410	1.20	1.21	27.68	0.723	0.723
1.36	44.56	0.2861	1.34	1.34	18.54	0.430	1.36	1.36	28.60	0.750	0.750
1.52	46.94	0.3010	1.48	1.48	18.09	0.465	1.52	1.51	32.78	0.790	0.790
1.68	48.32	0.3086	1.64	1.64	18.13	0.468	1.68	1.66	32.15	0.820	0.820
1.84	49.58	0.3126	1.78	1.78	20.05	0.507	1.84	1.81	32.56	0.848	0.848
2.00	50.17	0.3151	1.94	1.94	20.82	0.527	2.00	1.98	32.80	0.869	0.869
2.16	51.18	0.3174	2.08	2.08	21.53	0.536	2.16	2.11	34.38	0.904	0.904
2.32	51.55	0.3196	2.24	2.24	21.56	0.542	2.32	2.26	34.79	0.907	0.907
2.48	51.95	0.3189	2.38	2.38	22.07	0.560	2.48	2.41	34.93	0.905	0.905
2.64	52.32	0.3158	2.54	2.54	22.18	0.558	2.64	2.56	34.99	0.848	0.848
2.80	52.48	0.3147	2.68	2.68	22.18	0.553	2.80	2.71	35.06	0.942	0.942
2.96	52.52	0.3104	2.84	2.84	22.18	0.529	2.96	2.86	35.13	0.906	0.906
3.12	52.48	0.3082	2.98	2.98	22.13	0.523	3.12	3.01	35.20	0.891	0.891
3.28	52.74	0.3080	3.14	3.14	21.95	0.514	3.28	3.16	35.13	0.892	0.892
3.44	52.52	0.3002	3.28	3.28	21.75	0.505	3.44	3.31	34.99	0.811	0.811
3.60	51.95	0.2980	3.44	3.44	21.69	0.499	3.60	3.46	34.85	0.801	0.801
3.76	50.90	0.2983	3.58	3.58	21.64	0.493	3.76	3.61	34.85	0.783	0.783



OBSERVACIONES:

Realizado: Bach. Denis L.R.
Revisado: Ing. Johnny R.O.

SILVER GEO SAC.
Ingeniería Geotécnica
Laboratorio de Juntas Geotécnicas y Pavimentos

Ing. Civil Johnny R. RAYMUNDO OLIVERA
C.I.P. N° 204352

RUC: 20601656324
(Pag. 74)

SOLICITANTE

20607045551 CONSORCIO VIAL HUANCAYO

PROYECTO

MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL (TRAMO: AV. CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL), DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALHUIS, SAO, SAN JERONIMO DE TUNAN, PROVINCIA DE

ENSAYOS REALIZADOS

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : PROGRESIVA KM. 5+500 - LADO IZQUIERDO
DISTRITO : SAN AGUSTÍN DE CAJAS
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNÍN

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD

Modalidad	Muestras por el cliente	Profundidad	2.10 m
Estado	Remediado, vegetal = Tarr. N° 4	Símbolo del Suelo	CL
Límites de Atterberg	HL: 22.5% WP: 20.5% PL: 47%	Clasificación del Suelo	Arcilla de baja plasticidad

Altut (Cora)
Coordination LTM

CALCULO DE LA CAPACIDAD ADMISIBLE SEGUN TERZAGUI Y PECK (1967)

PARÂMETROS DE CÁLCULO

Ángulo de Fricción interna	29.1
Cohesión por faja local	18.7
Cohesión (kg/cm ²)	0.03
Corrección por faja local σ'	0.0168
Densidad de suelo Natural	1.80
Densidad seca de suelo	1.862
Humedad del Suelo (%)	4.50%
Factor de Seguridad	3.0

COEFICIENTE DE EMPUJE DE TIERRAS

Ra	—	0.51
Rp	—	1.95
Rd	—	0.68

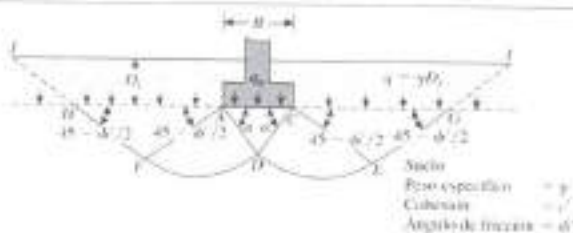
FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA (vmsic)

$N_c =$	13.76	$N_q/N_c =$	0.41
$N_d =$	5.65	$\tan \varphi =$	0.34
$N_{\phi} =$	4.51		

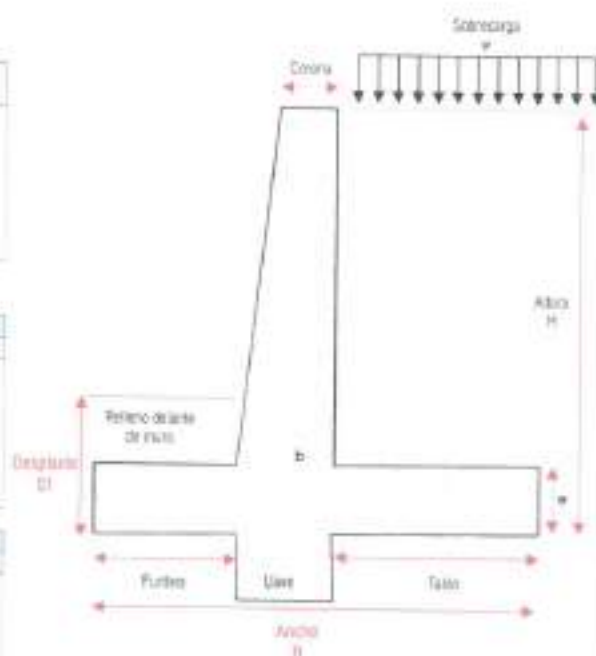
Communication Corridor

Ancho	Large	Despunte	Quit	Quit	Se
8.00	1.00	0.00	100.00	100.00	0.00
2.00	1.50	23.63	0.79	0.08	
2.50	1.50	25.00	0.86	0.09	
3.00	1.50	27.69	0.92	0.09	
3.50	1.50	29.72	0.99	0.10	
4.00	1.50	31.75	1.06	0.11	
4.50	1.50	33.78	1.13	0.11	
5.00	1.50	35.80	1.19	0.12	

Ancho	Largo	Desplante	Dist	Guano	3.0
B (m)	L (m)	(X (m)	(m ²	kg/cm ²	cm
2.20		2.00	25.72	0.99	0.10
2.50		2.00	30.74	1.02	0.10
3.00		2.00	32.77	1.08	0.11
3.50		2.00	34.80	1.16	0.12
4.00		2.00	36.83	1.23	0.12
4.50		2.00	38.86	1.30	0.13
5.00		2.00	40.89	1.36	0.14



$$\begin{aligned} \text{Quil} &= 50^{\circ}\text{C}^{\circ}\text{Nc} + 0,5^{\circ}\text{Sg}^{\circ}\text{g}^{\circ}\text{B}^{\circ}\text{Ng} + 50^{\circ}\text{q}^{\circ}\text{Ng} \\ \text{gadm} &= \text{quil} / \text{F3} \end{aligned}$$



OBSERVATIONS

Revisado: Raul Denis L. A.
Revisado: Ing. Johan R. D.

SILVER GEO S.A.C.
Laboratorio Geofísico
Laboratorio de Suelos, Cimentación y Pavimentos

Ing. Civil Johnny R. BATILANDO OLIVERA C: 20601685524
C.I.F. N° 204352 094- 75

[Page 75]

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NUMERO DE INFORME
25-08-21	03-09-21	C-03	SG. N°1932521

SOLICITANTE:

2060704551 CONSORCIO VIAL HUANCAYO

PROYECTO:

MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL (TRAMO: AV. CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL), DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALHUAS, SAÑO. SAN JERONIMO DE TUNAN, PROVINCIA DE HUANCAYO - JUNIN

UBICACION DEL PROYECTO

UBICACION : PROGRESIVA KM. 5+000 - LADO DERECHO
DISTRITO : SAN AGUSTIN DE CAJAS
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNIN

ENSAYOS REALIZADOS:

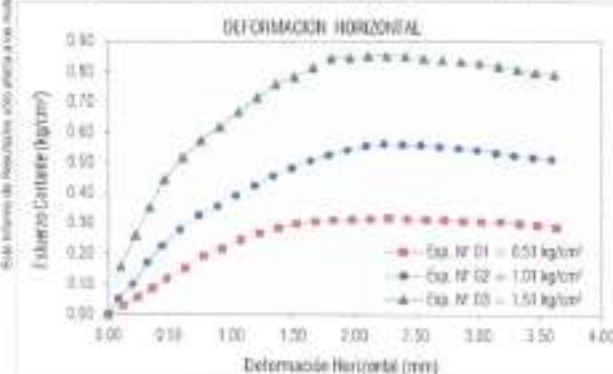
ENSAYO DE CORTE DIRECTO SEGUN NORMA ASTM D3080/D3080-11

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad : Muestras por el cliente Profundidad : 2.00 m. Altitud (Cota) :
Estado : Remolchados: material < Tercer N° 4 Sentado del Suelo : CL Coordenadas UTM :
Límites de Atterberg : WL : 33.8% dP : 18.2% PI : 14.5% Clasificación del Suelo : Arcilla de baja plasticidad

Ensayo de Corte Directo bajo condiciones drenadas ASTM D3080/D3080-11

Especimen N° 01				Especimen N° 02				Especimen N° 03						
Descripción		Unidad	Inicial	Final	Descripción		Unidad	Inicial	Final	Descripción		Unidad	Inicial	Final
Lado		cm	0.00	6.00	Lado		cm	0.00	0.90	Lado		cm	0.00	6.00
Altura		cm	2.00	1.89	Altura		cm	2.00	1.87	Altura		cm	2.00	1.88
Densidad húmeda		g/cm³	0.04	-	Densidad húmeda		g/cm³	0.08	-	Densidad húmeda		g/cm³	0.18	-
Contenido de humedad		%	8.25%	8.08%	Contenido de humedad		g/cm³	8.25%	8.49%	Contenido de humedad		g/cm³	8.35%	8.61%
Esfuerzo Normal		kg/cm²		0.51	Esfuerzo Normal		kg/cm²		1.0	Esfuerzo Normal		kg/cm²		1.5
Esfuerzo Cortante Máximo		kg/cm²		0.32	Esfuerzo Cortante Máximo		kg/cm²		0.56	Esfuerzo Cortante Máximo		kg/cm²		0.88
Deformación Horizontal (mm)		Fuerza Cortante		Esfuerzo de Corte (kg/cm2)	Deformación Horizontal		Fuerza Cortante		Esfuerzo de Corte (kg/cm2)	Deformación Horizontal		Fuerza Cortante		Esfuerzo de Corte (kg/cm2)
0.00	0.00			0.000	0.00	0.00			0.00	0.00	0.00			0.000
0.10	4.43			0.030	0.06	1.96			0.354	0.10	5.60			0.160
0.20	8.86			0.060	0.20	3.60			0.360	0.20	9.56			0.262
0.30	12.80			0.067	0.30	6.27			0.371	0.30	12.95			0.364
0.40	17.63			0.118	0.40	8.37			0.377	0.40	16.42			0.448
0.50	22.91			0.154	0.50	10.36			0.379	0.50	19.25			0.518
0.75	28.98			0.194	0.75	12.23			0.377	0.75	21.52			0.575
1.00	32.94			0.218	1.00	13.48			0.358	1.00	23.43			0.621
1.25	37.70			0.247	1.25	14.96			0.394	1.25	25.41			0.668
1.50	41.39			0.268	1.50	16.32			0.426	1.50	27.39			0.715
1.75	44.56			0.288	1.75	17.63			0.457	1.75	29.37			0.760
2.00	46.94			0.300	2.00	18.82			0.484	2.00	30.58			0.785
2.25	48.32			0.308	2.25	19.90			0.507	2.25	32.06			0.817
2.50	49.58			0.312	2.50	20.86			0.528	2.50	33.48			0.846
2.75	50.37			0.315	2.75	21.66			0.543	2.75	34.83			0.868
3.00	51.16			0.317	3.00	22.40			0.557	3.00	36.13			0.883
3.25	51.95			0.318	3.25	22.85			0.564	3.25	37.35			0.895
3.50	52.30			0.319	3.50	22.96			0.562	3.50	38.50			0.902
3.75	52.22			0.315	3.75	23.08			0.560	3.75	39.56			0.907
4.00	52.48			0.314	4.00	23.08			0.560	4.00	40.53			0.901
4.25	52.74			0.308	4.25	22.82			0.544	4.25	41.51			0.905
4.50	52.22			0.302	4.50	22.57			0.519	4.50	42.50			0.900
4.75	51.95			0.298	4.75	22.51			0.513	4.75	43.51			0.891
5.00	50.90			0.293	5.00	22.51			0.513	5.00	44.56			0.880



OBSERVACIONES:

Revisado: Asst. Denis L.R.
Revisado: Ing. Johnny R.O.

SILVER GEO SAC.
Geotecnia Geofísica
Laboratorio de Suelos, Rocas y Pavimentos

Ing. Civil Johnny R. RAYUNDO OLIVERA
C.I.P. N° 204352

RUC: 2060168524
(Pág. 70)

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NÚMERO DE INFORME
25-08-21	03-09-21	C-03	SG. N°103/2021

SOLICITANTE:

20807045551 CONSORCIO VIAL HUANCAYO

PROYECTO:

"MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL (TRAMO: AV. CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL), DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALHUAS, BAÑO, SAN JERONIMO DE TUNAN, PROVINCIA DE HUANCAYO - JUNIN"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

ENSAYOS REALIZADOS:

UBICACIÓN : PROGRESIVA KM. 5+660 - LADO DERECHO
 DISTRITO : SAN AGUSTIN DE CAJAS
 PROVINCIA : HUANCAYO
 DEPARTAMENTO : JUNIN

CALCULO DE LA CAPACIDAD ADMISIBLE SEGUN TERZAGUI Y PECK (1967)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad : Muestras por el cliente Profundidad : 2.00 m Altitud (Cota) :
 Estado : Remoldeado material = Tamiz N° 4 Símbolo del Suelo : CL Coordenadas UTM :
 Límites de Atterberg : WL 33.8% WP 19.3% PI 14.5% Clasificación del Suelo : Arcilla de baja plasticidad

CALCULO DE LA CAPACIDAD ADMISIBLE SEGUN TERZAGUI Y PECK (1967)

PARÁMETROS DE CÁLCULO

Ángulo de Fricción interna	28.2
Cohesión por laboratorio	18.8
Cohesión (kg/cm²) c'	0.04
Cohesión por laboratorio c	0.0218
Densidad de suelo Natural	1.801
Densidad seca de suelo	1.602
Humedad del Suelo (%)	11.25%
Factor de Seguridad	3.0

COEFICIENTE DE EMPUJE DE TIERRAS:

Ka	=	0.51
Ka	=	1.95
Ka	=	0.68

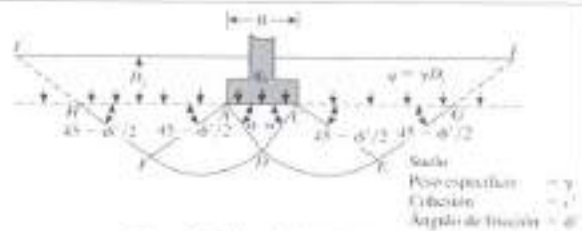
FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA (vesic)

Nc	=	13.75	Nq/Nc	=	0.41
Nq	=	5.68	tan φ	=	0.34
Nγ	=	4.54			

Cimentación Corrida:

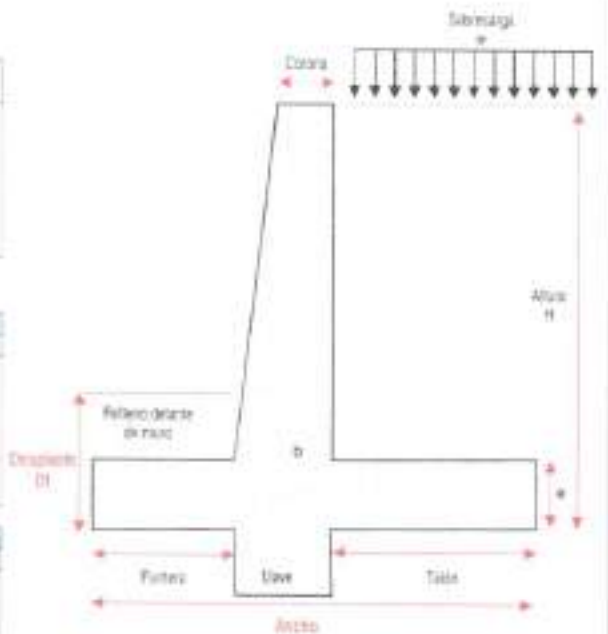
Ancho B (m)	Largo L (m)	Desplante Df (m)	Qult (ton)	Qadm (kg/cm²)	Δe (cm)
2.00		1.50	23.83	0.79	0.08
2.50		1.50	25.89	0.86	0.09
3.00		1.50	27.93	0.93	0.09
3.50		1.50	29.98	1.00	0.10
4.00		1.50	32.02	1.07	0.11
4.50		1.50	34.07	1.14	0.11
5.00		1.50	36.11	1.20	0.12

Ancho B (m)	Largo L (m)	Desplante Df (m)	Qult (ton)	Qadm (kg/cm²)	Δe (cm)
1.50		2.50	26.96	0.97	0.10
2.00		2.50	31.00	1.03	0.10
2.50		2.50	33.05	1.10	0.11
3.00		2.50	35.09	1.17	0.12
3.50		2.50	37.14	1.24	0.12
4.00		2.50	39.18	1.31	0.13
4.50		2.50	41.23	1.37	0.14



$$Q_{ult} = 9c' \cdot N_c + 0.5 \cdot q' \cdot N_q + q' \cdot N_\gamma$$

$$q_{adm} = Q_{ult} / FS$$



OBSERVACIONES:

Revisado: RICH. DAVIS L.R.
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

SILVER GEO SAC.
 Consultoría Geotécnica
 Laboratorio de Fuerzas Geotécnicas y Pavimentos

Ing. Civil Johnny R. RAMONDO OLIVERA
 C.I.P. N° 204352

ROC 2080168524
 [Pag. 71]

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NUMERO DE INFORME
25-08-21	03-09-21	C-02	SG. N° 003/2021

SOLICITANTE:

20607045551 CONSORCIO VIAL HUANCAYO

PROYECTO:

MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR. AV. FERROCARRIL (TRAMO: AV. CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL) DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALHUIS, SAÑO, SAN JERONIMO DE TUNAN, PROVINCIA DE HUANCAYO - JUNIN

UBICACION DEL PROYECTO:

ENSAYOS REALIZADOS:

UBICACION: PROGRESIVA KM. 1+030 - LADO IZQUIERDO
DISTRITO: SAÑO
PROVINCIA: HUANCAYO
DEPARTAMENTO: JUNIN

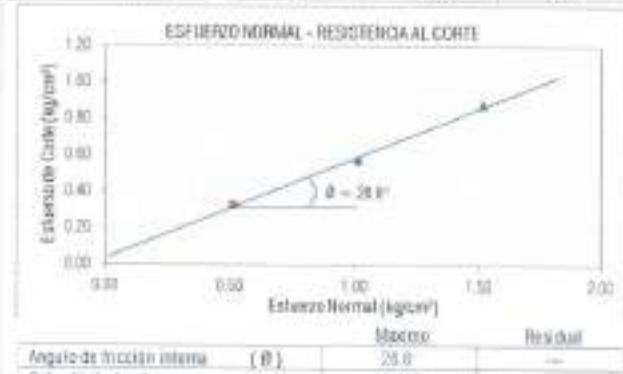
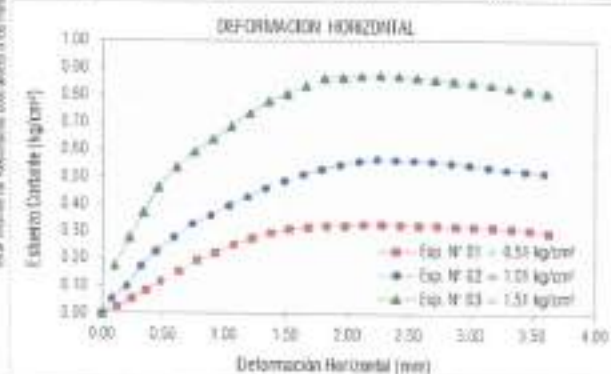
ENSAYO DE CORTE DIRECTO SEGUN NORMA ASTM D3080/D3080-11

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Mediamente: Muestreo por el terreno Profundidad: 2.00 m. Altitud (Cota):
Estado: Remolchado, material: Tarriz N° 4 Simbolo del Suelo: CL Coordinadas UTM:
Límites de Atterberg: WL: 34% WP: 18.7% PI: 15.3% Clasificación del Suelo: Arcilla de baja plasticidad con arena

Ensayo de Corte Directo bajo condiciones drenadas ASTM D3080/D3080-11

Especimen N° 01				Especimen N° 02				Especimen N° 03			
Descripción	Unidad	Inicial	Final	Descripción	Unidad	Inicial	Final	Descripción	Unidad	Inicial	Final
Lado	cm	6.00	6.00	Lado	cm	6.00	6.00	Lado	cm	6.00	6.00
Altura	cm	2.00	1.90	Altura	cm	2.00	1.89	Altura	cm	2.00	1.88
Densidad húmeda	g/cm³	0.07	-	Densidad húmeda	g/cm³	0.07	-	Densidad húmeda	g/cm³	0.07	-
Contenido de humedad	%	8.23%	6.88%	Contenido de humedad	g/cm³	6.23%	7.17%	Contenido de humedad	g/cm³	6.23%	7.26%
Esfuerzo Normal	kg/cm²		0.51	Esfuerzo Normal	kg/cm²		1.0	Esfuerzo Normal	kg/cm²		1.1
Esfuerzo Cortante Máximo	kg/cm²		0.33	Esfuerzo Cortante Máximo	kg/cm²		0.57	Esfuerzo Cortante Máximo	kg/cm²		0.80
Deformación Horizontal (mm)	Fuerza Cortante	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)		Deformación Horizontal	Fuerza Cortante	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)		Deformación Horizontal	Fuerza Cortante	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)	
0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00
0.12	5.43	0.0249	0.08	0.08	1.87	0.094	0.10	0.10	6.29	0.177	0.177
0.24	7.66	0.0503	0.20	0.20	3.62	0.180	0.32	0.32	10.17	0.279	0.279
0.36	11.88	0.0853	0.32	0.32	8.31	0.172	0.44	0.44	13.80	0.371	0.371
0.48	16.63	0.1187	0.44	0.44	8.42	0.229	0.56	0.56	17.09	0.454	0.454
0.60	21.81	0.1501	0.56	0.56	10.42	0.281	0.68	0.68	19.85	0.537	0.537
0.72	27.38	0.1905	0.68	0.68	12.30	0.333	0.80	0.80	22.23	0.594	0.594
0.84	31.84	0.2227	0.80	0.80	13.56	0.380	0.91	0.91	24.16	0.641	0.641
1.06	36.70	0.2538	1.04	1.04	15.04	0.396	1.06	1.06	26.10	0.688	0.688
1.20	40.39	0.2771	1.18	1.18	16.41	0.429	1.21	1.21	28.18	0.735	0.735
1.36	43.56	0.2983	1.34	1.34	17.72	0.459	1.36	1.36	30.10	0.781	0.781
1.53	46.94	0.3121	1.48	1.48	18.92	0.486	1.51	1.51	31.36	0.806	0.806
1.68	47.52	0.3182	1.64	1.64	20.01	0.510	1.66	1.66	32.80	0.837	0.837
1.83	48.58	0.3225	1.79	1.79	20.98	0.531	1.81	1.81	34.20	0.866	0.866
1.98	49.37	0.3252	1.94	1.94	21.77	0.546	1.96	1.96	34.85	0.886	0.886
2.13	50.16	0.3275	2.08	2.08	22.52	0.560	2.11	2.11	35.15	0.912	0.912
2.28	50.90	0.3292	2.24	2.24	23.09	0.565	2.26	2.26	35.57	0.917	0.917
2.43	50.90	0.3292	2.39	2.39	23.09	0.565	2.41	2.41	35.72	0.917	0.917
2.58	51.25	0.3291	2.54	2.54	23.20	0.565	2.56	2.56	35.79	0.917	0.917
2.73	51.48	0.3283	2.69	2.69	23.20	0.565	2.71	2.71	35.86	0.917	0.917
2.88	51.72	0.3285	2.84	2.84	23.20	0.565	2.86	2.86	35.88	0.918	0.918
3.03	51.48	0.3183	2.99	2.99	23.14	0.547	3.01	3.01	36.00	0.910	0.910
3.18	51.74	0.3181	3.14	3.14	22.97	0.528	3.16	3.16	36.03	0.910	0.910
3.33	51.72	0.3181	3.29	3.29	22.75	0.528	3.31	3.31	36.19	0.910	0.910
3.48	50.95	0.3075	3.44	3.44	22.63	0.502	3.46	3.46	36.65	0.915	0.915
3.63	49.30	0.2985	3.59	3.59	22.63	0.516	3.61	3.61	36.65	0.917	0.917



OBSERVACIONES:

Realizado: ACT. OLIVERA
Revisado: Ing. Johnny R. O.

SILVER GEO SAC.
Consultoría Geotécnica
Laboratorio de Suelos, Rocas y Pavimentos

Ing. Civil Johnny R. RAYMONDO OLIVERA RUC: 20801685524
C.I.P. N° 204352 (Fdo. del)

Clasificación del Suelo	Arzila de baja plasticidad con arena
-------------------------	--------------------------------------

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NUMERO DE INFORME
25-08-21	03-09-21	C-01	SQ. N°1032021

SOLICITANTE:

20607045551 CONSORCIO VIAL HUANCAYO

PROYECTO:

MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR, AV. FERROCARRIL (TRAMO: AV. CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL); DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUANCHAS, BAÑO, SAN JERONIMO DE TUNAN, PROVINCIA DE HUANCAYO - JUNIN

UBICACION DEL PROYECTO:

ENSAYOS REALIZADOS:

UBICACION: PROGRESIVA KM. 0+980 - LADO DERECHO
 DISTRITO: BAÑO
 PROVINCIA: HUANCAYO
 DEPARTAMENTO: JUNIN

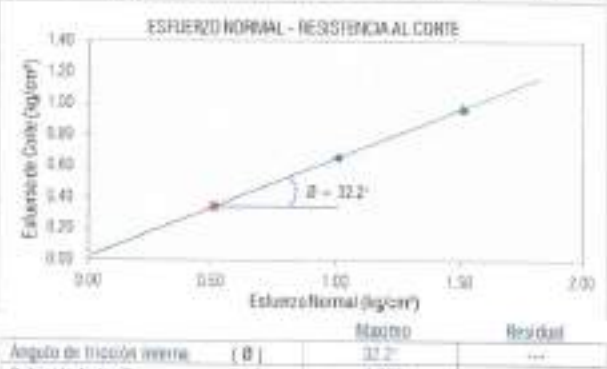
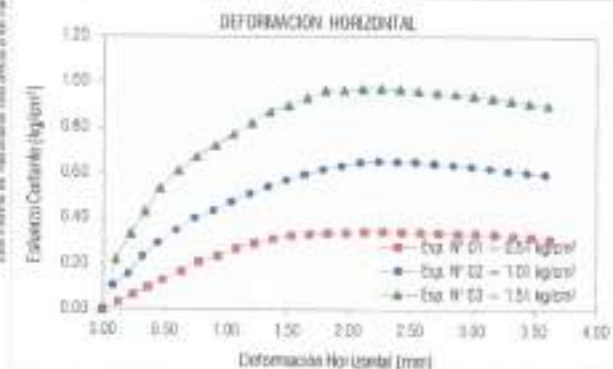
ENSAYO DE CORTE DIRECTO SEGUN NORMA ASTM D3080/D3080-11

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad: Muestreo por el corte Profundidad: 2.00 m Altitud (Cota):
 Estado: Remediación material + Tercio N° 4 Simbolo del Suelo: GC Coordenadas UTM:
 Límites de Atterberg: WL 31.2% - PL 22.1% - PI 9.1% Clasificación del Suelo: Grava arcillosa muy arenosa

Ensayo de Corte Directo bajo condiciones drenadas ASTM D3080/D3080-11

Especimen N° 01				Especimen N° 02				Especimen N° 03			
Descripción	Unidad	Inicial	Final	Descripción	Unidad	Inicial	Final	Descripción	Unidad	Inicial	Final
Lado	cm	6.00	6.00	Lado	cm	6.00	6.00	Lado	cm	6.00	6.00
Altura	cm	2.00	1.31	Altura	cm	2.00	1.30	Altura	cm	2.00	1.88
Densidad húmeda	g/cm³	0.05	-	Densidad húmeda	g/cm³	0.05	-	Densidad húmeda	g/cm³	0.05	-
Contenido de humedad	%	4.75%	5.23%	Contenido de humedad	g/cm³	4.75%	5.48%	Contenido de humedad	g/cm³	4.75%	5.50%
Esfuerzo Normal	kg/cm²	0.51	-	Esfuerzo Normal	kg/cm²	1.0	-	Esfuerzo Normal	kg/cm²	1.5	-
Esfuerzo Cortante Máximo	kg/cm²	0.35	-	Esfuerzo Cortante Máximo	kg/cm²	0.65	-	Esfuerzo Cortante Máximo	kg/cm²	0.97	-
Deformación Horizontal (mm)	Fuerza Cortante	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)		Deformación Horizontal	Fuerza Cortante	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)		Deformación Horizontal	Fuerza Cortante	Esfuerzo de Corte (kg/cm²)	
0.00	0.00	0.0000		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.000	
0.17	4.68	0.0048		0.06	3.67	0.107		0.10	8.06	0.223	
0.24	8.91	0.0697		0.20	5.68	0.158		0.22	12.14	0.334	
0.36	13.13	0.0983		0.30	8.58	0.204		0.34	15.83	0.432	
0.48	17.68	0.1303		0.44	10.83	0.254		0.46	19.41	0.530	
0.63	25.16	0.1673		0.58	12.98	0.300		0.61	22.88	0.611	
0.78	29.23	0.2058		0.74	15.02	0.402		0.76	25.15	0.677	
0.90	33.19	0.2363		0.86	16.37	0.435		0.91	27.23	0.722	
1.08	37.85	0.2680		1.04	17.97	0.473		1.06	29.38	0.770	
1.25	41.84	0.2998		1.19	19.45	0.508		1.21	31.54	0.820	
1.38	44.81	0.3115		1.34	20.67	0.541		1.36	33.69	0.872	
1.53	47.79	0.3254		1.48	22.16	0.570		1.51	35.00	0.909	
1.68	48.77	0.3336		1.64	23.38	0.585		1.66	36.62	0.930	
1.83	49.83	0.3380		1.79	24.38	0.617		1.81	38.16	0.964	
1.98	50.82	0.3406		1.94	25.24	0.633		1.96	38.34	0.966	
2.13	51.41	0.3430		2.09	26.04	0.648		2.11	39.08	0.971	
2.28	50.70	0.3454		2.24	26.53	0.659		2.26	39.34	0.974	
2.43	52.20	0.3494		2.39	26.85	0.662		2.41	39.69	0.978	
2.58	52.47	0.3412		2.54	26.78	0.649		2.56	39.77	0.967	
2.73	52.73	0.3400		2.69	26.78	0.644		2.71	39.65	0.967	
2.88	52.47	0.3354		2.84	26.72	0.638		2.86	38.99	0.960	
3.03	52.73	0.3341		2.99	26.72	0.631		3.01	40.00	0.944	
3.18	52.99	0.3326		3.14	26.53	0.621		3.16	39.98	0.934	
3.33	52.47	0.3265		3.29	26.28	0.610		3.31	39.77	0.927	
3.48	52.20	0.3200		3.44	26.22	0.603		3.45	39.62	0.910	
3.63	51.15	0.3116		3.59	26.16	0.596		3.61	39.62	0.902	



OBSERVACIONES:

Realizado: Arch. Denis C.R.
 Revisado: Ing. Johnny R.O.

SILVER GEO SAC.
 Gerencia General
 Laboratorio de Ensayos de Suelos y Pavimentos

Ing. Civil Johnny R. PATIÑO OLIVERA C.I.P. N° 204352

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NUMERO DE INFORME
25-06-21	03-09-21	C-01	SG- N°1032021

SOLICITANTE

20607045551 CONSORCIO VIAL HUANCAYO

PROYECTO

"MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL DE TRANSPORTE MASIVO NORTE - SUR. AV. FERROCARRIL (TRAMO: AV. CIRCUNVALACION - CRUCE CARRETERA CENTRAL), DISTRITO DE EL TAMBO, SAN AGUSTIN DE CAJAS, HUALHUAS, SAÑO, SAN JERONIMO DE TUNAN, PROVINCIA DE HUANCAYO - JUNIN"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN: PROGRESIVA KM. 0+980 - LADO DERECHO
DISTRITO: SAÑO
PROVINCIA: HUANCAYO
DEPARTAMENTO: JUNIN

ENSAYOS REALIZADOS:

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD ADMISIBLE SEGÚN TERZAGUI Y PECK (1967)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad: Muestras por el cliente Profundidad: 2.00 m. Altitud (Cota):
Estado: Remediado, Material: Tercer N° 4 Símbolo del Suelo: GC Coordenadas UTM:
Límites de Atterberg: LL: 21.3% WP: 22.1% PI: 8.8% Clasificación del Suelo: Grueso arcilloso con arena

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD ADMISIBLE SEGÚN TERZAGUI Y PECK (1967)

PARÁMETROS DE CÁLCULO

Ángulo de Fricción interna	32.2
Corrección por talud local	21.4
Cohesión (kg/cm²) c	0.02
Corrección por talud local c	0.0138
Densidad de suelo Natural	1.801
Densidad seca de suelo	1.802
Humedad del Suelo (%)	4.75%
Factor de Seguridad	3.0

COEFICIENTE DE EMPUJE DE TIERRAS

Ka	=	0.45
Kp	=	2.15
Ko	=	0.63

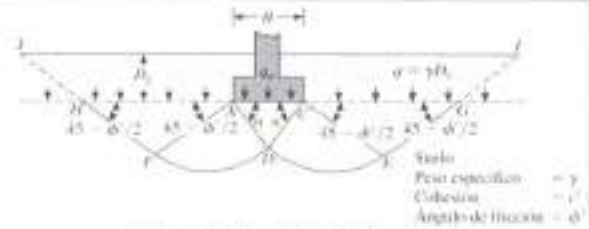
FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA (vesic)

N _q =	16.28	N _q /N _s =	0.45
N _γ =	7.39	tan φ =	0.39
N _c =	6.59		

Cuantificación Corrida:

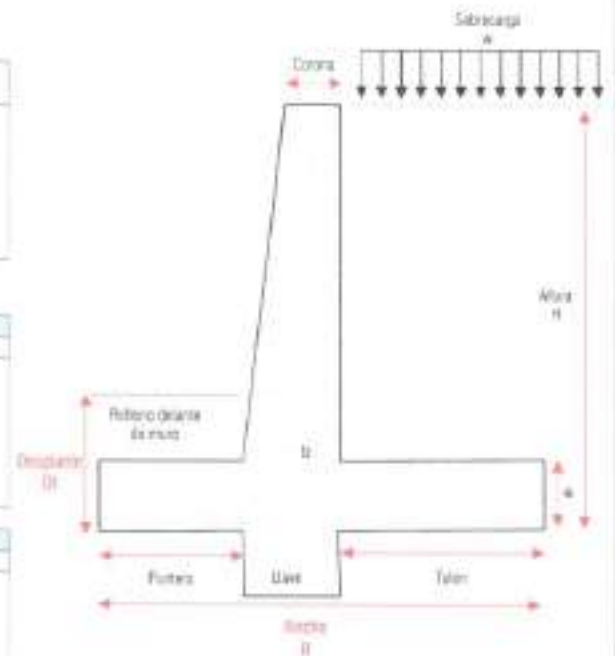
Ancho B (m)	Largo L (m)	Desplante Df (m)	Qult (ton)	Qadm (kg/cm²)	Δe (cm)
2.00	1.50	1.50	32.07	1.97	0.11
2.50	1.50	1.50	35.03	1.17	0.12
3.00	1.50	1.50	38.00	1.27	0.13
3.50	1.50	1.50	40.97	1.37	0.14
4.00	1.50	1.50	43.94	1.46	0.15
4.50	1.50	1.50	46.90	1.56	0.16
5.00	1.50	1.50	49.87	1.66	0.17

Ancho B (m)	Largo L (m)	Desplante Df (m)	Qult (ton)	Qadm (kg/cm²)	Δe (cm)
2.00	2.00	2.00	38.73	1.29	0.13
2.50	2.00	2.00	41.89	1.39	0.14
3.00	2.00	2.00	44.88	1.49	0.15
3.50	2.00	2.00	47.83	1.59	0.16
4.00	2.00	2.00	50.80	1.69	0.17
4.50	2.00	2.00	53.76	1.79	0.18
5.00	2.00	2.00	56.53	1.88	0.19



$$Q_{ult} = 9c \cdot \alpha \cdot N_c + 0.5 \cdot S_g \cdot q \cdot B \cdot N_q + S_q \cdot \alpha \cdot N_q$$

$$q_{adm} = Q_{ult} / FS$$



OBSERVACIONES:

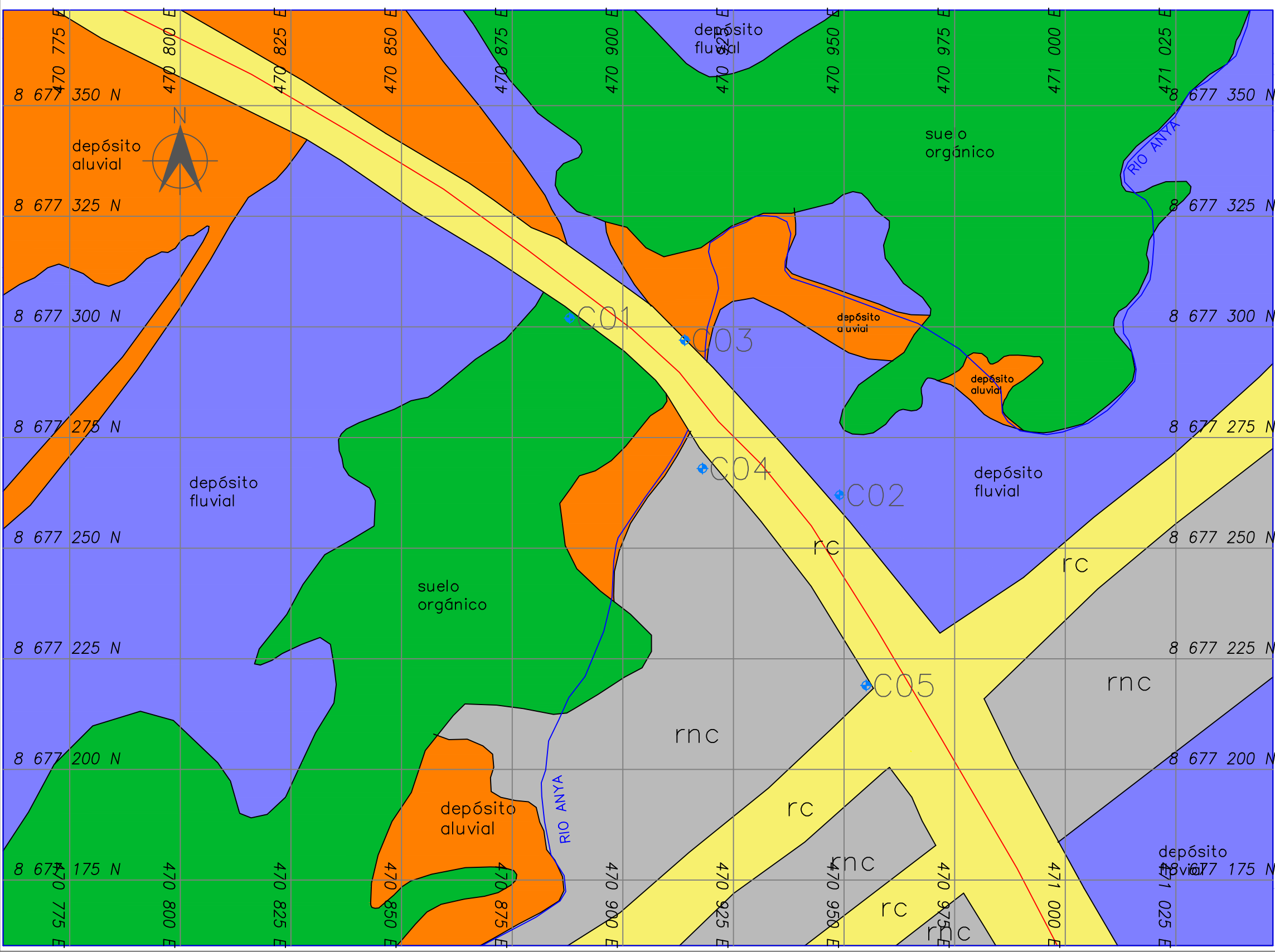
Realizado: Arch. Sergio L.A.
Revisado: Ing. Johnny A. G.

SILVER GEO SAC.
Laboratorio de Ensayos de Materiales

Ing. Civil Johnny R. RAYMUNDO OLIVERA
C.L.P. N° 204352

RUC: 20607045524
(Pag. 05)

ANEXO D
MAPA DE GEOLOGIA LOCAL



LEYENDA

- Depósito fluvial
- Depósito aluvial
- Suelo orgánico
- Relleno controlado
- Relleno no controlado

SIMBOLOGÍA

- C04 Calicata
- Río



UNIVERSIDAD NACIONAL
MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE ING. GEOLOG., MINERA,
METALURG. Y GEOGRAF.
E.A.P. INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS: ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL SECTOR AV.
FERROCARRIL CRUCE CON EL RÍO ANYA, SAN PEDRO DE SAÑO, HUANCAYO, REGIÓN JUNÍN.
TESISTA: DAJHANNA SOFIA D'JESUS GRADOS ALVARADO
ASESOR: DR. CIRO SERGIO BEDIA GUILLEN

PLANO:
GEOLOGÍA LOCAL DEL SECTOR AV.
FERROCARRIL CRUCE CON EL RÍO ANYA, SAN
PEDRO DE SAÑO, HUANCAYO, REGIÓN JUNÍN.

ESCALA:
PAPEL A3
1/25000
DATUM:
WGS 84
18 S

ANEXO E

MEMORIA DE CÁLCULO DE MURO TERRAMESH

1. DATOS DE PARTIDA (PARÁMETROS DE PROYECTO)

- **Altura del muro:** $H=3.00$
- **Separación vertical de refuerzos:** $S_v=0.50$ m.
- **Relleno:** $\varphi=34.0^\circ$; $\gamma=20.0$ kN/m³.
- **Cohesión del relleno:** $c\approx 0.0$ kPa (no considerada en empuje activo).
- **Sobrecarga superficial (vehicular proyectada):** $q=20.0$ kPa.
- **Fricción muro–suelo adoptado:** $\delta=0.75\varphi=0.75\times 34.0^\circ=25.5^\circ$.
- **Longitud promedio adoptada del bloque reforzado:** $L_{\text{prom}}=2.00$ m.
- **Zona activa considerada (altura activa de refuerzos):** $h_{\text{act}}=0.90$ m.
- **Coefficiente sísmico horizontal adoptado para análisis pseudo-estático:**
 $k_h=0.175$.

2. DEFINICIÓN DE SÍMBOLOS (PARA EVITAR AMBIGÜEDAD)

- **H:** altura del muro [m].
- γ : peso unitario del relleno [kN/m³].
- **q:** sobrecarga superficial [kPa = kN/m²].
- φ : ángulo de fricción interno del relleno [$^\circ$].
- δ : ángulo de fricción muro–suelo [$^\circ$].
- **Ka:** coeficiente de empuje activo (adimensional).
- **Ea:** empuje activo total por metro lineal [kN/m].
- **W:** peso del bloque reforzado por metro lineal [kN/m].
- **L_{prom}:** longitud promedio del bloque reforzado [m].
- **M_{stab}:** momento estabilizante por metro lineal [kN·m].
- **M_{over}:** momento volcamiento por empuje estático [kN·m].
- **kh:** coeficiente sísmico horizontal (adimensional).
- **Fh:** fuerza sísmica horizontal equivalente [kN/m].
- μ : coeficiente de fricción en base $\mu=\tan(\varphi_{\text{base}})$
- **R:** resistencia por fricción en la base [kN/m].
- **FS:** factor de seguridad.

3. ANTECEDENTES

El muro tipo **Terramesh** se proyecta para estabilizar el talud del cruce Av. Ferrocarril – río Anya (Huancayo).

- **Altura total:** $H = 3.0$ m.
- **Suelo de relleno granular compactado** ($\varphi = 34^\circ$, $\gamma = 20$ kN/m³).
- **Cohesión despreciable** ($c \approx 0$).
- **Sobrecarga vehicular:** $q = 20$ kPa.
- **Zona sísmica 3 (PGA = 0.35 g) → coeficiente sísmico adoptado:** $k_h = 0.175$ (½ PGA, criterio USACE 2003).
- **Base del muro:** $\varphi_{\text{base}} = 28^\circ$, $\mu = \tan \varphi = 0.53$.
- **Marca el empuje a** $\frac{1}{3}$ H de altura.

a) **Cálculo de K_a (Rankine):**

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$K_a = \tan^2(45 - 17) = \tan^2(28) = (0.532)^2 = 0.283$$

b) **Cálculo de empuje activo:**

$$E_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 + K_a q H$$

$$E_a = 0.5(0.283) (20)(3)^2 + 0.283(20)(3) = 42.4 \text{ kN/m}$$

c) **Peso del bloque**

$$W = \gamma H L = 20(3)(2) = 120 \text{ kN/m}$$

d) **Cálculo de momentos**

$$M_{\text{stab}} = W \frac{L}{2} = 120(1.0) = 120 \text{ kN}$$

$$M_{\text{over}} = E_a \frac{H}{3} = 42.4(1.0) = 42.4 \text{ kN}$$

e) FS Volteo

$$F_{Svol} = \frac{M_{stab}}{M_{over}} = \frac{120}{42.4} = 2.83$$

f) Deslizamiento

$$R = \mu W = 0.53(120) = 63.6 \text{ kN}$$

$$FS_{desl} = \frac{R}{E_a + k_h W}$$

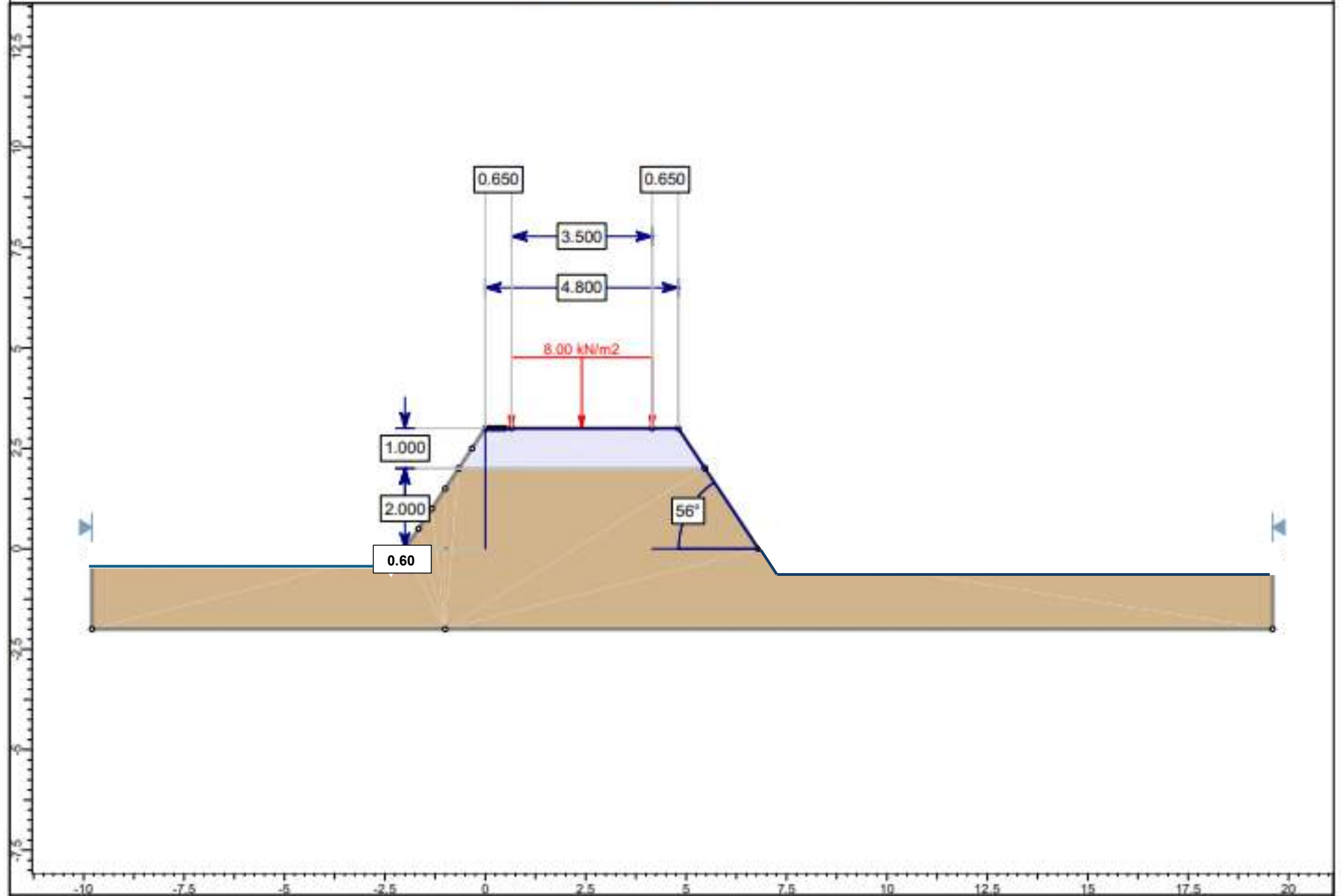
$$FS_{desl} = \frac{63.6}{42.4 + 21.0} = 1.01$$

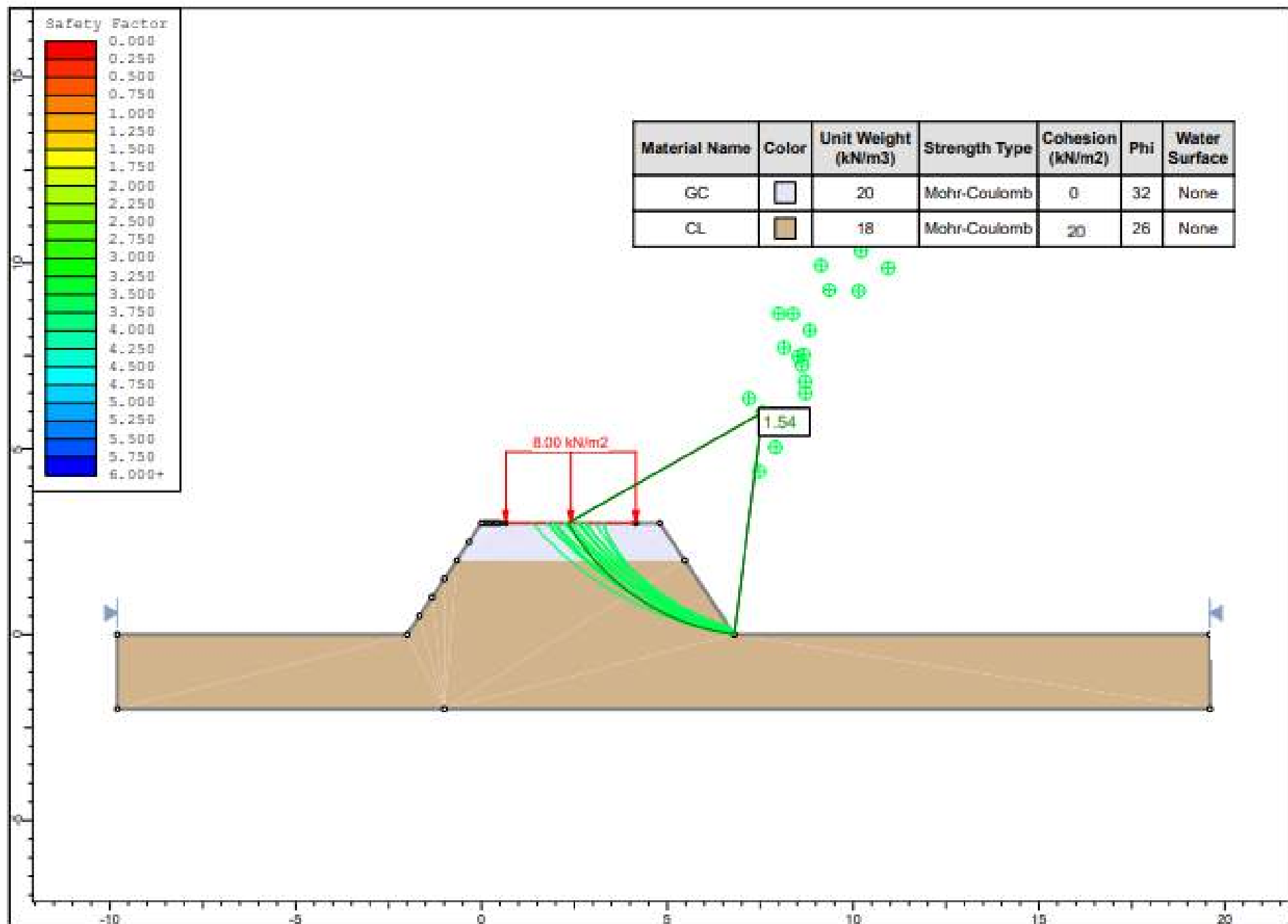
El muro tipo Terramesh de 3 m cumple con los factores de seguridad exigidos en condición estática y presenta un desempeño aceptable bajo condición pseudo-estática ($k_h = 0.175$).

Se recomienda control constructivo para garantizar la fricción en base y compactación adecuada del relleno.

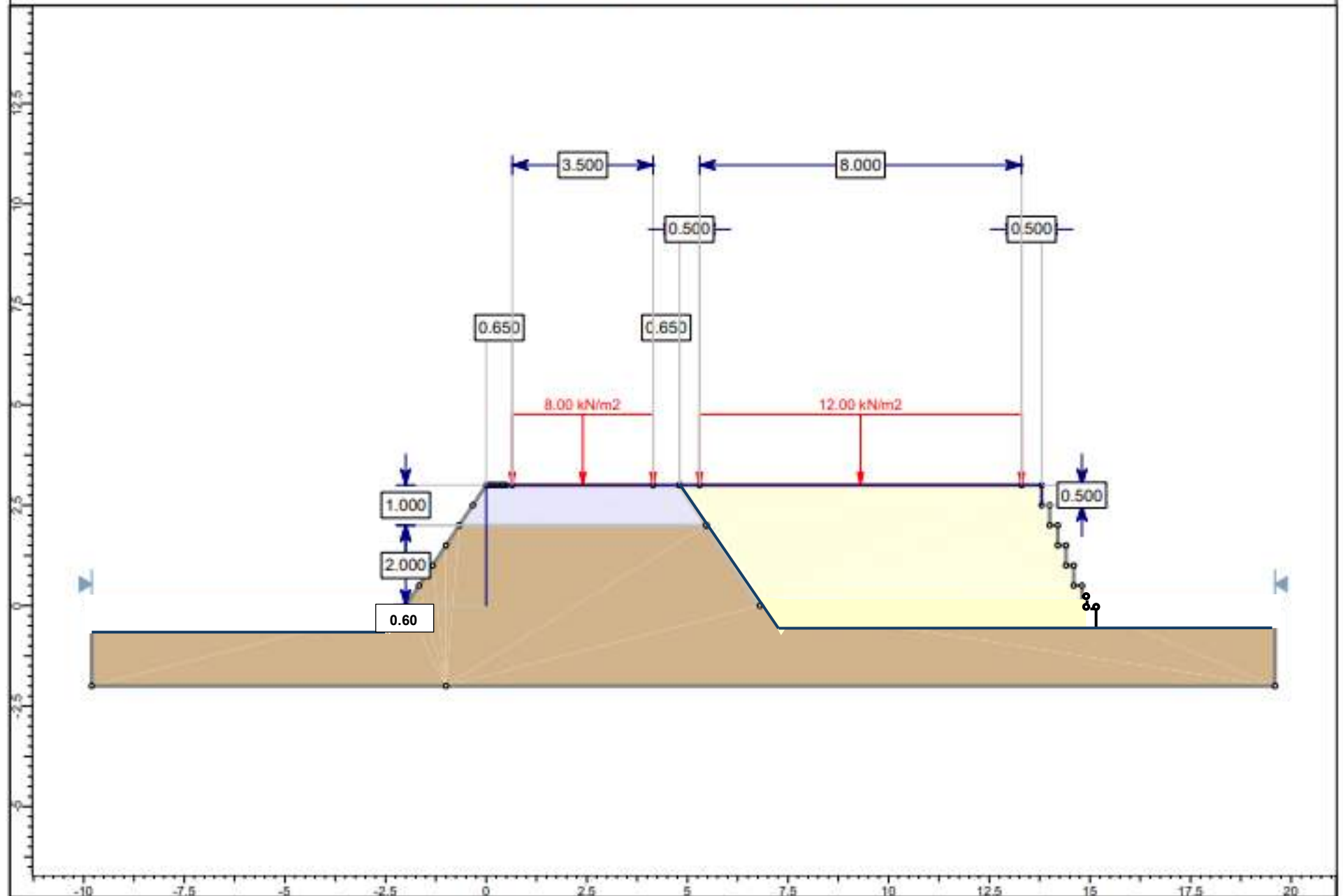
ANEXO F
ANÁLISIS DE
ESTABILIDAD DEL
TALUD

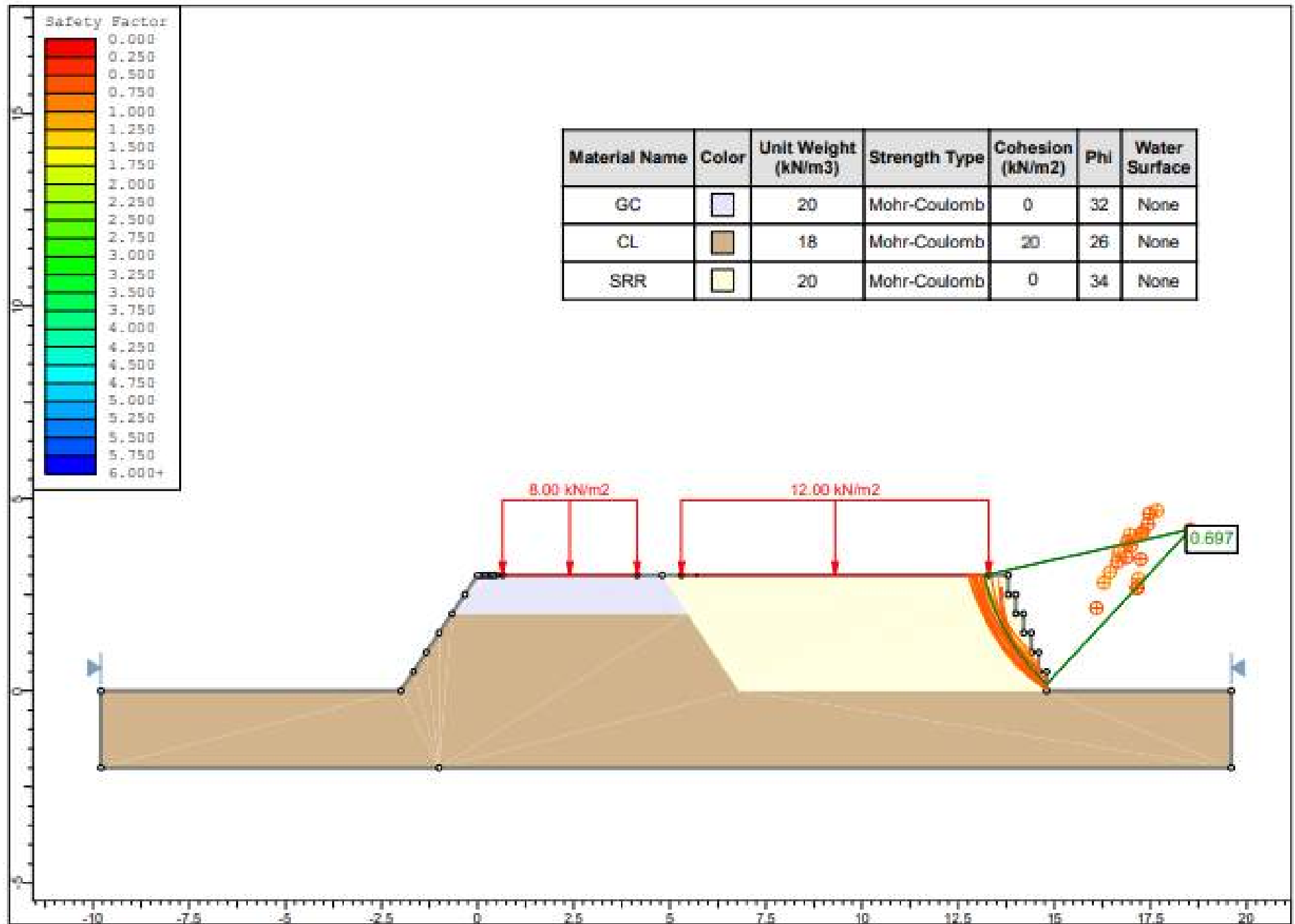
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES: GEOMETRÍA - ESCENARIO A





ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES: GEOMETRÍA - ESCENARIO B





ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES: GEOMETRÍA - ESCENARIO C

