

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**“EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA
CARRETERA TAYAPAMPA - ALTO SUCCHA (KM. 7+200 –
7+320) APLICANDO EL SOFTWARE PLAXIS 2D”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

DIEGO RUBÉN CUEVAS CONTRERAS

ID: 0009-0003-1695-0051

ASESOR

MSc. LUIS SERAFÍN GONZALES HÍJAR

ID: 0009-0004-9322-3234

LIMA- PERÚ

2024

© 2024, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados
**“El autor autoriza a la UNI a reproducir la Tesis en su totalidad o en parte,
con fines estrictamente académicos.”**
Diego Rubén Cuevas Contreras
diego.cuevas.c@uni.pe
954967257

DEDICATORIA

A mi familia y amistades, en especial a mis padres, Isaura y Ricardo, por todo el cariño y apoyo incondicional que me han brindado hasta el día de hoy.

Gracias a todos.

AGRADECIMIENTOS

En muestra de mi gratitud quiero expresar mis más sinceros agradecimientos:

A mis compañeros y profesores de la facultad que han contribuido en mi formación y desarrollo profesional.

A mis padres, por todo el apoyo y motivación que me brindan día a día y por ser el pilar donde puedo sostenerme y seguir adelante.

Un especial agradecimiento a mi asesor MSc. Luis Serafín Gonzales Híjar por sus recomendaciones, paciencia y conocimientos impartidos a lo largo de la elaboración y revisión de la presente tesis.

ÍNDICE

Resumen	3
Abstract.....	4
Prólogo.....	5
Lista de tablas.....	6
Lista de figuras	7
Lista de símbolos y siglas	8
Capítulo I. Introducción.....	9
1.1. Generalidades.....	9
1.2. Descripción del problema de investigación.....	10
1.3. Objetivos del estudio	11
1.4. Antecedentes investigativos	11
Capítulo II. Marco teórico y conceptual.....	14
2.1. Marco teórico	14
2.1.1. Estabilidad de Taludes	14
2.1.1.1. <i>Definición</i>	14
2.1.1.2. <i>Evaluación geotécnica</i>	14
2.1.1.3. <i>Evaluación geomecánica</i>	15
2.1.1.4. <i>Factores que influyen en la estabilidad de taludes</i>	16
2.1.1.5. <i>Estudio de mecánica de suelos</i>	18
2.1.1.6. <i>Mecánica de rocas</i>	19
2.1.1.7. <i>Clasificación de las rocas con fines geotécnicos</i>	20
2.1.1.8. <i>Descripción de macizos rocosos</i>	20
2.1.1.9. <i>Meteorización, descomposición del macizo rocoso</i>	20
2.1.1.10. <i>Taludes</i>	21
2.1.1.11. <i>Taludes en roca</i>	22
2.1.1.12. <i>PLAXIS 2D</i>	22
2.1.1.13. <i>Modelo constitutivo Mohr Coulomb</i>	24
2.1.1.14. <i>Criterio de falla de Mohr Coulomb</i>	26
2.1.1.15. <i>Principios de cálculo que usa Plaxis 2D</i>	28
2.1.1.16. <i>Ensayos</i>	29
2.2. Marco conceptual	30
Capítulo III. Investigaciones geotécnicas aplicada a la carretera Tayapampa–Alto Succha	33
3.1. Enfoque.....	33
3.2. Nivel	33
3.3. Diseño.....	33

3.4.	Población y muestra.....	34
3.4.1.	Población.....	34
3.4.2.	Muestra	34
3.5.	Técnicas e instrumentos.....	34
3.6.	Procedimiento de análisis de datos	34
3.6.1.	Procesamiento de datos:.....	34
3.6.2.	Análisis de datos:	35
3.7.	Evaluación geológica - geotécnica	36
3.7.1.	<i>Geología regional de la zona de estudio</i>	36
3.7.2.	<i>Investigaciones geotécnicas proyectadas</i>	40
3.7.3.	Ensayos de laboratorio.....	41
3.7.4.	Estabilidad de taludes	45
3.7.4.1.	<i>Condiciones de análisis</i>	45
	Capítulo IV. Modelamiento geotécnico mediante herramientas computacionales y aplicación del software.....	46
4.1.	<i>Secciones de análisis</i>	46
4.2.	<i>Análisis de estabilidad de taludes</i>	48
4.2.1.	<i>Análisis Phi/C Reduction</i>	48
4.2.2.	<i>Análisis de deformaciones</i>	56
	Capítulo V. Discusión de los resultados	61
	Conclusiones	65
	Recomendaciones	67
	Referencias Bibliográficas	68
	Anexos	71

RESUMEN

La presente investigación tiene por objetivo Evaluar la estabilidad de taludes en la carretera Tayapampa - Alto Succha (km. 7+200 – km. 7+320) aplicando el software PLAXIS 2D. La zona de estudio está ubicada en el distrito de Cochorco, provincia de Sánchez Carrión, Departamento de la Libertad. La familia de discontinuidades que se presente y debido a que por esa zona está proyectado el diseño geométrico de la carretera Tayapampa – Alto Succha, se pueden generar posibles deslizamientos y caída de rocas en ese sector, el cual podría considerarse como crítico.

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, es del tipo aplicada, tiene un nivel descriptivo y corresponde a un diseño no experimental, donde la muestra de estudio es el tramo de la carretera Tayapampa – Alto Succha (km. 7+200 – km. 7+320)

Finalmente, se concluyó que los taludes son físicamente estables en todos los casos (debido a que su factor de seguridad es mayor a la unidad). Sin embargo, en temporada de lluvias no se cumple con el factor de seguridad mínimo en el caso pseudoestático, lo cual indica que requiere una medida de mitigación en este sector (mejoramiento del drenaje del talud, sostenimiento u optimización del talud existente). Por otro lado, la mayor deformación horizontal, vertical y total se encuentra en la carretera como consecuencia del plano de falla del talud superior, siendo mayor la deformación total de 0.000399 m.

Palabras clave: Taludes, carretera, rocas, suelo, deslizamiento.

ABSTRACT

The objective of this research is to evaluate the stability of slopes on the Tayapampa - Alto Succha highway (km. 7+200 – km. 7+320) applying the PLAXIS 2D software. The study area is located in the district of Cochorco, province of Sánchez Carrión, Department of La Libertad. The family of discontinuities that occurs and because the geometric design of the Tayapampa – Alto Succha highway is projected in that area, possible landslides and rock falls can be generated in that sector, which could be considered critical.

The research has a quantitative approach, is of the applied type, has a descriptive level and corresponds to a non-experimental design, where the study sample is the section of the Tayapampa – Alto Succha highway (km. 7+200 – km. 7+ 320)

Finally, it was concluded that the slopes are physically stable in all cases (because their safety factor is greater than unity). However, in the rainy season the minimum safety factor is not met in the pseudostatic case, which indicates that a mitigation measure is required in this sector (improvement of slope drainage, maintenance or optimization of the existing slope). On the other hand, the greatest horizontal, vertical and total deformation is found in the road as a consequence of the failure plane of the upper slope, with the total deformation being greater than 0.000399 m.

Keywords: Slopes, road, rocks, soil, landslide.

PRÓLOGO

La estabilidad de taludes es una preocupación esencial en la ingeniería civil, especialmente en regiones con condiciones geológicas complejas. La carretera Tayapampa - Alto Succha, situada en el distrito de Cochorco, provincia de Sánchez Carrión, Departamento de La Libertad, es un tramo crítico que presenta desafíos significativos debido a la presencia de discontinuidades geológicas y el riesgo de deslizamientos. Esta investigación se originó con el objetivo de evaluar la estabilidad de los taludes en un segmento específico de esta carretera, utilizando el software PLAXIS 2D para un análisis detallado y preciso.

En el Capítulo I, se introduce el problema de investigación, los objetivos del estudio y los antecedentes que justifican la relevancia de esta investigación. El Capítulo II proporciona un marco teórico y conceptual exhaustivo, abordando desde los principios fundamentales de la estabilidad de taludes hasta el uso del software PLAXIS 2D y sus modelos constitutivos, como el criterio de Mohr-Coulomb.

El Capítulo III detalla el enfoque, diseño y metodología aplicada en la investigación, incluyendo el análisis de datos y el procedimiento seguido. En el Capítulo IV, se presentan los resultados del análisis de estabilidad de los taludes, discutiendo tanto los hallazgos de los ensayos geotécnicos como las simulaciones realizadas con PLAXIS 2D.

Los resultados indican que los taludes en el tramo evaluado son físicamente estables bajo condiciones normales, aunque durante la temporada de lluvias se identifican deficiencias que requieren medidas de mitigación, como el mejoramiento del drenaje. Esta investigación no solo contribuye a la comprensión técnica de la estabilidad de taludes en la región, sino que también ofrece recomendaciones prácticas para la optimización y seguridad de la infraestructura vial.

Espero que este trabajo sirva como una herramienta valiosa para profesionales y académicos interesados en la ingeniería de taludes y el desarrollo de infraestructura segura y eficiente.

ASESOR

LISTA DE TABLAS

Tabla 1:	Categoría de riesgo en taludes viales	14
Tabla 2:	Evaluación geomecánica	15
Tabla 3:	Factores de estabilidad de taludes.....	17
Tabla 4:	Estudio de taludes	18
Tabla 5:	Investigaciones geotécnicas proyectadas	40
Tabla 6:	Ensayos de laboratorio proyectados	41
Tabla 7:	Ensayos geofísicos proyectados	41
Tabla 8:	Parámetros resistentes	41
Tabla 9:	Parámetros elásticos.....	42
Tabla 10:	Parámetros resistentes y elásticos para el análisis de estabilidad.....	44
Tabla 11:	Factores de seguridad mínimos	45
Tabla 12:	Factores de seguridad para la sección km 7+200	49
Tabla 13:	Factores de seguridad para la sección km 7+240	52
Tabla 14:	Factores de seguridad para la sección km 7+280	53
Tabla 15:	Factores de seguridad para la sección km 7+300	55
Tabla 16:	Resumen de los factores de seguridad obtenidos.....	56
Tabla 17:	Deformaciones en la sección de análisis – km 7+200	57
Tabla 18:	Deformaciones en la sección de análisis – km 7+240	58
Tabla 19:	Deformaciones en la sección de análisis – km 7+280	59
Tabla 20:	Deformaciones en la sección de análisis – km 7+300	60

LISTA DE FIGURAS

Figura N°1:	Carretera Tayapampa - Alto Succha (km. 7+200 – 7+320)	36
Figura N°2:	Geología regional de la zona de estudio	37
Figura N°3:	Unidades estratigráficas del cuadrángulo de Pataz.....	37
Figura N°4:	Investigaciones geotécnicas proyectadas	40
Figura N°5:	Determinación del E_{50} mediante el grafico Esfuerzo Deformación del Triaxial CD	42
Figura N°6:	Aceleración espectral en la zona de estudio para un periodo de retorno de 475 años.....	45
Figura N°7:	Perfil estratigráfico de sección de análisis en la progresiva km 7+200.....	46
Figura N°8:	Perfil estratigráfico de sección de análisis en la progresiva km 7+240.....	46
Figura N°9:	Perfil estratigráfico de sección de análisis en la progresiva km 7+280.....	47
Figura N°10:	Perfil estratigráfico de sección de análisis en la progresiva km 7+300.....	47
Figura N°11:	Superficie de falla en condiciones estáticas – km 7+200.....	48
Figura N°12:	Superficie de falla en condiciones pseudoestáticas – km 7+200 .	48
Figura N°13:	Superficie de falla en condiciones estáticas – km 7+200 (Temporada de lluvias)	49
Figura N°14:	Superficie de falla en condiciones pseudoestáticas – km 7+200 (Temporada de lluvias)	49
Figura N° 15:	Superficie de falla en condiciones estáticas – km 7+240.....	50
Figura N° 16:	Superficie de falla en condiciones pseudoestáticas – km 7+240 .	50
Figura N° 17:	Superficie de falla en condiciones estáticas – km 7+240 (Temporada de lluvias)	51
Figura N° 18:	Superficie de falla en condiciones pseudoestáticas – km 7+240 (Temporada de lluvias)	51
Figura N° 19:	Superficie de falla en condiciones estáticas – km 7+280.....	52
Figura N° 20:	Superficie de falla en condiciones pseudoestáticas – km 7+280 .	52
Figura N° 21:	Superficie de falla en condiciones estáticas – km 7+280 (Temporada de lluvias)	53
Figura N° 22:	Superficie de falla en condiciones pseudoestáticas – km 7+280 (Temporada de lluvias)	53
Figura N° 23:	Superficie de falla en condiciones estáticas – km 7+300.....	54
Figura N° 24:	Superficie de falla en condiciones pseudoestáticas – 7+300.....	54
Figura N° 25:	Superficie de falla en condiciones estáticas – km 7+300 (Temporada de lluvias)	55
Figura N° 26:	Superficie de falla en condiciones pseudoestáticas – km 7+300 (Temporada de lluvias)	55
Figura N° 27:	Deformaciones totales en condiciones estáticas – km 7+200	56
Figura N° 28:	Deformaciones totales en condiciones pseudoestáticas – km 7+200.....	57
Figura N° 29:	Deformaciones totales en condiciones estáticas – km 7+240	58
Figura N° 30:	Deformaciones totales en condiciones pseudoestáticas – km 7+240.....	58
Figura N° 31:	Deformaciones totales en condiciones estáticas – km 7+280	59
Figura N° 32:	Deformaciones totales en condiciones pseudoestáticas – km 7+280.....	59
Figura N° 33:	Deformaciones totales en condiciones estáticas – km 7+300	60
Figura N° 34:	Deformaciones totales en condiciones pseudoestáticas – km 7+300.....	60

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

- Φ : Angulo de fricción
- Φ' : Angulo de fricción efectivo
- c : cohesión del suelo
- c' : Cohesión efectiva del suelo
- ψ : Ángulo de dilatancia
- E_{50} : Rigidez al 50% del esfuerzo de rotura
- E_{edo} : Rigidez tangente para carga primaria edométrica
- G : Módulo de corte
- g : Aceleración de la gravedad
- m : Dependencia de la rigidez al estado de esfuerzos
- E_{ur} : Rigidez en descarga-recarga
- ν : Módulo de poisson
- K_0 : Coeficiente de presión lateral de tierras
- R_f : Relación de falla
- σ'_{ref} : Esfuerzo de referencia
- σ : Esfuerzo normal
- V_s : Velocidad de propagación de las ondas secundarias o transversales
- V_p : Velocidad de propagación de las ondas primarias o longitudinales
- MASW**: Multi-Channel Analysis of Surface Waves
- PGA** : Peak Ground Aceleration
- UTM** : Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

La inestabilidad de taludes en carreteras, causada por la geografía, clima, geología y topografía de la zona, representa un desafío ingenieril significativo que puede ocasionar bloqueos y deslizamientos, afectando la seguridad vial. En particular, en el tramo de la carretera Tayapampa - Alto Succha existe un alto riesgo de inestabilidad debido a los taludes de corte o elaboración de carreteras en una topografía accidentada.

Por ello se propone evaluar la estabilidad de taludes en la carretera Tayapampa - Alto Succha (km. 7+200 – km. 7+320) aplicando el software PLAXIS 2D para realizar la evaluación geotécnica del tramo de la carretera Tayapampa – Alto Succha (km. 7+200 – km. 7+320), con el fin de determinar mediante ensayos de laboratorio los atributos y los criterios del material del talud del tramo en investigación.

El cap. I presenta los estudios importantes que se realizaron anteriormente en la misma línea de investigación, se da a conocer el problema, la meta e H. en el cap. II, se redactan los principales conceptos sobre la estabilidad de taludes. En el cap. III, se observó el enfoque del estudio aprovechada. En el cap. IV, se exponen los logros obtenidos en la investigación.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En el mundo, la inestabilidad de taludes representa un gran problema ingenieril para todo tipo de obras, el cual se debe a la geografía, clima, geología y topografía de la zona. Así mismo, esto se debe a que las carreteras son construidas muchas veces, sobre zonas muy accidentadas, donde se visualizan taludes naturales con pendientes considerables, además del ambiente agresivo (lluvias, temperatura, etc.), lo cual puede ocasionar la erosión del material ocasionando un deslizamiento que puede causar bloqueos en la carretera. El agente responsable de la inestabilidad es la fuerza de masa (generalmente), la cual depende del peso y los efectos de infiltración que pueden saturar el material (Pérez, 2005).

De acuerdo con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2022) la red vial tiene una longitud total de 180,385.74 km, de los cuales, el 17.2% corresponde a vías pavimentadas, el 26.1% corresponde a vías afirmadas, el 20.8% corresponde a vías sin afirmar, el 32.2% corresponde a trocha y el 3.7% corresponde a vías proyectadas. Eso se traduce en un gran porcentaje de taludes que faltan estabilizar, debido a que, en el caso de proyectarse un diseño geométrico con topografía accidentada, es muy probable que se generen taludes de corte con posible susceptibilidad al deslizamiento.

La zona de estudio está ubicada en el distrito de Cochorco, provincia de Sánchez Carrión, Departamento de la Libertad. La familia de discontinuidades que se presente y debido a que por esa zona está proyectado el diseño geométrico de la carretera Tayapampa – Alto Succha, se pueden generar posibles deslizamientos y caída de rocas en ese sector, el cual podría considerarse como crítico. De acuerdo con los párrafos anteriores, se concluye que debido a los taludes de corte o la construcción de la carretera Tayapampa – Alto Succha, se pueden generar inestabilidades en el talud del tramo de estudio.

1.2.1. Problema general

- ¿Cómo evaluar la estabilidad de taludes en la carretera Tayapampa - Alto Succha (km. 7+200 – km. 7+320) aplicando el software PLAXIS 2D?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo realizar la evaluación geotécnica y/o geomecánica del tramo de la carretera Tayapampa - Alto Succha (km. 7+200 - km. 7+320)?
- ¿Cómo determinar mediante ensayos de laboratorio las propiedades y los parámetros de la roca del tramo en investigación?
- ¿Cómo evaluar la estabilidad del talud rocoso mediante el modelamiento geotécnico y la aplicación del Software PLAXIS 2D?

1.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la estabilidad de taludes en la carretera Tayapampa - Alto Succha (km. 7+200 – km. 7+320) aplicando el software PLAXIS 2D

1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar la evaluación geotécnica y/o geomecánica del tramo de la carretera Tayapampa – Alto Succha (km. 7+200 – km. 7+320).
- Determinar mediante ensayos de laboratorio las propiedades y los parámetros de la roca del tramo en investigación.
- Evaluar la estabilidad del talud rocoso mediante el modelamiento geotécnico y la aplicación del Software PLAXIS 2D.

1.4. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Plaxis 2D permite simular y analizar de manera precisa y eficiente una amplia gama de condiciones geotécnicas, incluyendo problemas de consolidación del suelo, interacción suelo-estructura, asentamientos, deformaciones, y la distribución de esfuerzos y presiones en el subsuelo, estabilidad de taludes. En ese enfoque, Contreras et al. (2022) examinaron el talud de la carretera PE-10 A Km 54+350 en el área de Plazapampa, ubicado en el distrito de Salpo, provincia

de Otuzco, departamento de La Libertad. Su objetivo era proponer soluciones para la estabilización de taludes con alto riesgo en esta carretera mediante el análisis de estabilidad utilizando los programas informáticos Slide 6.0 y Plaxis 2D. El análisis incluyó la simulación sin considerar la precipitación para condiciones estáticas y pseudoestáticas, así como la simulación con lluvia en condiciones estáticas. Plaxis 2D calculó el factor de seguridad utilizando el método de elementos finitos. Los resultados mostraron que el talud estudiado es inestable en condiciones estáticas y pseudoestáticas sin precipitación, así como en condiciones estáticas con precipitación. Por lo tanto, se concluyó que son necesarios diseños de estabilidad que involucren reconformación geométrica y técnicas de estabilización.

Otra de las investigaciones realizadas es la de Garay (2018), la cual se centra en comparar dos enfoques de estabilización de taludes: el método de equilibrio límite y el método numérico. Esta comparación se basa en la evaluación de un parámetro crucial para medir la estabilidad de un talud: el factor de seguridad. Para determinar este factor, se emplean herramientas de ingeniería como el software Plaxis para el método numérico y el software Slide para el método de equilibrio. La obtención del factor de seguridad permite analizar y validar las hipótesis planteadas, así como corroborar investigaciones previas mencionadas. De acuerdo con estudios anteriores, se concluye que las diferentes metodologías dentro del método de equilibrio límite muestran una variación del factor de seguridad entre el valor más alto y el más bajo de al menos un 5%, llegando excepcionalmente hasta un 7%.

En el análisis de los taludes de la zona de Calispuquio al occidente de Cajamarca, Alcántara (2017) empleó varios métodos, como el método de equilibrio límite utilizando Slide Software v7, el método de elementos finitos con RS2 Software v9 y el método de diferencias finitas mediante FLAC Software v8. Estos métodos se utilizaron en diferentes situaciones con el propósito de estudiar los resultados y compararlos tanto con la realidad como entre sí.

Ticona (2021) propuso un método para caracterizar geomecánicamente las formaciones rocosas modificadas en el cinturón Andahuaylas-Yauri, una región de importancia minera en desarrollo. Analiza la información geomecánica y determina unidades geotécnicas. Aplica la estimación de resistencia ISRM para clasificar las

formaciones rocosas erosionadas y construye modelos geotécnicos para evaluar la estabilidad de los taludes. Los resultados del factor de seguridad sugirieron diseños con propuestas de estabilización de taludes.

Otro de los factores condicionantes de la estabilidad de los taludes es el resultado de su evaluación geomecánica, una investigación sobre el tema ha sido desarrollado por Cuyutupa (2019) la cual tuvo como objetivo determinar cómo influye el resultado de la evaluación geomecánica en la estabilidad de taludes en la carretera Mariscal Castilla - Huancayo - Huancavelica. Los resultados indicaron que la evaluación geomecánica influye directamente en el cálculo de la estabilidad del talud.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Estabilidad de Taludes

2.1.1.1. Definición

La estabilidad de taludes se refiere a la resistencia de los terrenos inclinados o verticales contra el colapso o desplazamiento. En la ingeniería geotécnica, implica analizar las condiciones en las que un talud o pendiente puede mantener su forma y posición sin ceder ante fuerzas externas o internas, considerando factores como la geología, el peso del suelo, el agua y la topografía (Mucuta et al., 2020).

2.1.1.2. Evaluación geotécnica

La evaluación geotécnica en el contexto de la estabilidad de taludes implica examinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo y la roca que conforman el talud. Esto incluye la identificación de la naturaleza del suelo, su capacidad de soporte y su cohesión, así como la determinación de parámetros como el ángulo de fricción interna. Esta evaluación proporciona información esencial para comprender cómo el suelo interactúa con las cargas y cómo su comportamiento puede afectar la estabilidad del talud (Balbis & Cerutti, 2022).

Por otro lado, se realiza un análisis de riesgo, donde la noción de peligro o amenaza se refiere a la posibilidad de que se presente un evento, ya sea de origen natural o humano, capaz de generar impactos en áreas pobladas, infraestructuras o el entorno ambiental. La clasificación del grado de peligro se efectuó empleando la evaluación de la tabla 1 como referencia.

Tabla 1

Categoría de riesgo en taludes viales

Peligro	Riesgo		
	Alto	Medio	Medio
Medio	Bajo	Medio	Medio
Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Vulnerabilidad	Baja	Media	Alta

Nota. Tomado de Balbis y Cerutti (2022) .

2.1.1.3. Evaluación geomecánica

La evaluación geomecánica de la estabilidad de taludes es un proceso esencial en la ingeniería geotécnica para determinar la seguridad y la viabilidad de estructuras de tierra, como carreteras, presas, excavaciones y pendientes naturales. Implica el análisis de las propiedades geológicas, geotécnicas y geomecánicas del suelo y la roca en el talud, así como las condiciones ambientales y de carga que pueden afectar su estabilidad (Yépez et al., 2022).

Tabla 2.
Evaluación geomecánica

Nombre	Descripción
Caracterización del sitio	-Identificación de las propiedades geológicas y geotécnicas del suelo y la roca en el talud, como tipo de suelo, cohesión, ángulo de fricción interna, porosidad, permeabilidad, etc. -Análisis de las condiciones hidrogeológicas, incluyendo la presencia y el movimiento del agua subterránea
Cargas y solicitaciones	Determinación de las cargas y solicitaciones que actúan sobre el talud, incluyendo el peso propio del suelo, cargas externas (tráfico, edificios, etc.) y efectos de la presión del agua
Análisis de estabilidad	-Cálculo de los factores de seguridad mediante métodos analíticos o numéricos, como el método de las rebanadas, el método de equilibrio límite, el método de elementos finitos, etc. -Consideración de los modos de falla posibles, como deslizamiento superficial, deslizamiento rotacional, volcamiento, flujo de lodo, etc
Condiciones sísmicas	-Evaluación de la respuesta sísmica del talud, considerando la aceleración del terreno y sus efectos en la estabilidad. -Análisis de posibles licuefacciones o amplificación sísmica.

Estabilidad a largo plazo	Consideración de la deformación a largo plazo del talud debido a la consolidación del suelo y la posible interacción suelo-estructura
Mitigación y diseño:	<ul style="list-style-type: none"> -Desarrollo de medidas de mitigación para aumentar la estabilidad del talud, como la incorporación de sistemas de drenaje, muros de contención, anclajes, etc. -Diseño de geometría del talud, considerando la relación altura-ancho que influye en la estabilidad
Monitoreo y gestión de riesgos:	<ul style="list-style-type: none"> -Implementación de sistemas de monitoreo para seguir la evolución de las condiciones geomecánicas del talud. -Desarrollo de planes de gestión de riesgos para abordar posibles eventos imprevistos. <p>Es importante recordar que este marco teórico proporciona una visión general de los pasos involucrados en la evaluación geomecánica de la estabilidad de taludes.</p> <ul style="list-style-type: none"> -La aplicación práctica puede variar según la complejidad del proyecto y las condiciones

Nota. Tomado de (Yépez et al., 2022).

Es importante recordar que este marco teórico proporciona una visión general de los pasos involucrados en la evaluación geomecánica de la estabilidad de taludes. La aplicación práctica puede variar según la complejidad del proyecto y las condiciones del sitio. Para una evaluación geomecánica precisa, se recomienda contar con la asistencia de ingenieros geotécnicos y utilizar herramientas de software especializadas para el análisis numérico y la simulación.

2.1.1.4. Factores que influyen en la estabilidad de taludes

La estabilidad de los taludes está influenciada por una serie de factores geológicos, geotécnicos, hidrológicos y geomorfológicos. Los factores que pueden afectar la estabilidad de los taludes (Mucuta et al., 2020):

Tabla 3.
Factores de estabilidad de taludes

Factores	Descripción
Propiedades del suelo y la roca	<p>Cohesión: La cohesión es la fuerza interna que mantiene unidas las partículas del suelo. Mayor cohesión contribuye a una mayor estabilidad.</p> <p>Ángulo de fricción interna: El ángulo entre las partículas del suelo afecta la resistencia al deslizamiento.</p> <p>Porosidad y permeabilidad: La porosidad influye en la cantidad de agua que puede ser retenida, mientras que la permeabilidad afecta la capacidad de drenaje.</p>
Geología y estructuras geológicas	<p>Fallas, diaclasas y estratos inclinados pueden debilitar el talud y facilitar el deslizamiento.</p> <p>Tipos de roca y su resistencia a la erosión y la intemperie.</p>
Hidrología	<p>Presencia y movimiento del agua subterránea: Puede debilitar la cohesión del suelo y aumentar la presión del agua intersticial, reduciendo la estabilidad.</p> <p>Precipitación: Lluvias intensas pueden saturar el suelo, aumentando su peso y reduciendo la cohesión.</p>
Cargas externas	<p>Cargas estáticas y dinámicas, como edificios, carreteras, tráfico vehicular y ferrocarriles, que pueden ejercer presión adicional sobre el talud.</p>
Diseño del talud:	<p>Relación altura-ancho: Taludes más empinados son más propensos a deslizamientos. La geometría del talud debe ser apropiada para el tipo de suelo y las condiciones del sitio.</p>
Erosión y meteorización	<p>La acción del viento, agua y hielo pueden erosionar y debilitar la superficie del talud, afectando su estabilidad.</p>
Cambios en la carga	<p>Excavaciones cercanas, remoción de tierra o agregado de peso pueden cambiar la distribución de cargas y afectar la estabilidad.</p>
Sismicidad	<p>Los terremotos pueden inducir vibraciones que afectan la resistencia del suelo y pueden provocar licuefacción.</p>
Drenaje	<p>Sistemas de drenaje deficientes pueden resultar en acumulación de agua, disminuyendo la cohesión del suelo.</p>
Vegetación	<p>La presencia de raíces puede ayudar a consolidar el suelo y reducir la erosión superficial.</p>
Cambios en el nivel freático	<p>Variaciones en el nivel del agua subterránea pueden alterar la presión intersticial y la cohesión del suelo.</p>
Actividades humanas	<p>Excavaciones no planificadas, construcción mal ejecutada y alteraciones en el paisaje pueden debilitar la estabilidad de los taludes.</p>
Cambios climáticos:	<p>Variaciones en el clima pueden influir en los patrones de precipitación y temperatura, afectando la erosión y la saturación del suelo.</p>
Consolidación del suelo	<p>Procesos de compactación o consolidación pueden ocurrir con el tiempo y alterar las propiedades del suelo.</p>

Efectos temporales	Algunos taludes pueden ser estables en el corto plazo, pero volverse inestables con el tiempo debido a la evolución de los factores mencionados anteriormente.
--------------------	--

Nota. Tomado de (Mucuta et al., 2020).

La evaluación geomecánica de la estabilidad de taludes debe considerar todos estos factores de manera integral para predecir y prevenir posibles fallas. Es importante que los ingenieros geotécnicos utilicen datos de campo y herramientas de análisis avanzadas para comprender cómo estos factores interactúan en un sitio específico y tomar decisiones informadas sobre el diseño y la mitigación.

2.1.1.5. Estudio de mecánica de suelos

El estudio mecánico de suelos en el contexto de los taludes es un componente fundamental para evaluar la estabilidad de estos y tomar decisiones de diseño y mitigación adecuadas. Este estudio implica una serie de pasos y pruebas para comprender las propiedades geotécnicas del suelo en el talud. Estudio mecánico de suelos para taludes (Moreno et al., 2019):

Tabla 4.
Estudio de taludes

Nombre	Descripción
Reconocimiento de campo	<ul style="list-style-type: none"> - Realización de investigaciones en el sitio para recolectar muestras de suelo en diferentes profundidades y ubicaciones en el talud. - Observación de características geológicas, geomorfológicas y cualquier signo de inestabilidad
Muestreo de suelos	<ul style="list-style-type: none"> - Recolección de muestras de suelo a diferentes profundidades utilizando métodos como perforaciones, excavaciones a cielo abierto o equipos de sondeo. - Las muestras se obtienen para realizar pruebas en el laboratorio y comprender las propiedades del suelo
Pruebas de laboratorio	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de las muestras de suelo en el laboratorio para determinar propiedades como la granulometría, límites de Atterberg, densidad, porosidad, permeabilidad, entre otros. - Pruebas de compresión, corte y consolidación para determinar la resistencia y la compresibilidad del suelo
Análisis de resistencia al corte	Realización de pruebas de corte directo o triaxiales en las muestras para determinar la resistencia al corte del suelo bajo diferentes condiciones de carga, confinamiento y humedad

Análisis de permeabilidad	Pruebas para evaluar la permeabilidad del suelo, que es importante para comprender cómo el agua fluye a través del talud y afecta su estabilidad
Análisis de consolidación	Pruebas de consolidación para entender cómo el suelo se compacta y se asienta con el tiempo bajo cargas aplicadas
Ensayos de carga en placa	Pruebas para estimar cómo el suelo se comporta bajo cargas de fundación, proporcionando información sobre la capacidad de carga del suelo
Análisis de expansión y contracción	Determinación de la susceptibilidad del suelo a cambios volumétricos debido a la humedad y sequedad
Análisis de compresión simple	Evaluación de cómo el suelo se comprime bajo cargas verticales
Análisis de consolidación unidimensional	Prueba que mide cómo el suelo cambia en altura cuando se aplica una carga constante
Interpretación de resultados	El análisis de los datos obtenidos se utiliza para caracterizar el comportamiento mecánico del suelo y entender cómo reaccionará ante las cargas y condiciones específicas del talud
Modelado y análisis	Utilización de software de modelado geotécnico para simular el comportamiento del suelo en diferentes escenarios de carga y para predecir posibles fallas o deformaciones
Diseño y mitigación	Utilización de los resultados del estudio mecánico para diseñar taludes con geometrías y sistemas de soporte adecuados, así como para implementar medidas de mitigación para aumentar la estabilidad
Monitoreo continuo	El monitoreo posterior a la construcción para validar las predicciones y asegurarse de que el comportamiento real del talud coincida con las expectativas del estudio mecánico

Nota. Tomado de (Moreno et al., 2019).

2.1.1.6. Mecánica de rocas

La Mecánica de Rocas es una disciplina que se enfoca en el estudio de cómo los materiales rocosos responden a las fuerzas internas y externas, con el objetivo de predecir y controlar su comportamiento. Se basa en principios de Ingeniería Mecánica y se aplica principalmente en la minería. Su propósito principal es abordar problemas mecánicos comunes en entornos geológicos, como fracturas en las rocas, efectos relacionados con la escala de cargas, la baja resistencia a la tensión de las rocas (excepto el concreto), influencia del agua subterránea en las uniones rocosas, y los efectos del intemperismo, que se refiere a la alteración

física o química de las superficies de las rocas debido a la exposición a factores ambientales como gases y soluciones acuosas. (González, 2002).

2.1.1.7. *Clasificación de las rocas con fines geotécnicos*

La clasificación geológica o petrológica es fundamental para la geoingeniería, ya que proporciona información sobre la mineralogía de las rocas, las texturas, las texturas y la estructura isotrópica o anisotrópica de las rocas frente de roca estratificada o losas. De ahí que los términos roca ígnea o metamórfica se refieran a las propiedades físicas de la roca. Estos factores, utilizados para clasificar los principales grupos, determinan las propiedades físicas y la durabilidad de las rocas. La relación entre rocas específicas y procesos geológicos específicos también es importante cuando se consideran estudios del comportamiento del material rocoso, como la facilidad de disolución de rocas carbonatadas y yeso, meteorización y escalabilidad de arcillas y procesos de flujo. Sin embargo, la clasificación petrológica no es suficiente para la geoingeniería, ya que las mismas litofacies pueden revelar diferencias significativas en las características físicas (Goodman, 1989).

2.1.1.8. *Descripción de macizos rocosos*

Identificación visual de rocas basada en composición y textura, o relaciones geométricas de minerales. Estos criterios descriptivos se suman a las características genéticas, ya que pueden inferirse de la formación de minerales, la composición química, la morfología y estructura de los sedimentos. Las discontinuidades impulsan claramente las propiedades y la resistencia, la deformación y el comportamiento hidráulico del macizo rocoso. La resistencia al corte de la discontinuidad es el aspecto más importante para determinar la resistencia del macizo de roca dura fracturada, y su estimación requiere la identificación de las características principales de la discontinuidad (González, 2002).

2.1.1.9. *Meteorización, descomposición del macizo rocoso*

Meteorización

La meteorización se refiere a la alteración y desintegración de rocas y minerales en la superficie terrestre debido a factores ambientales. Este proceso se clasifica en tres tipos:

- **Meteorización Física:** Se produce cuando las rocas se rompen en fragmentos más pequeños sin cambiar su composición química. Factores como los cambios de temperatura, el hielo que se expande en fisuras, y la presión ejercida por las raíces de las plantas pueden contribuir a este tipo de meteorización.
- **Meteorización Química:** Implica la transformación de la composición química de las rocas. Reacciones con agua, oxígeno, y otros compuestos pueden disolver minerales o cambiar su estructura. Ejemplos incluyen la disolución de minerales carbonatados y la oxidación de minerales que contienen hierro.
- **Meteorización Biológica:** Este proceso ocurre cuando organismos vivos afectan las rocas. Las raíces de las plantas, al crecer en las fisuras de las rocas, pueden fracturarlas, y ciertos organismos pueden producir ácidos que contribuyen a la disolución de los minerales.

Descomposición

La descomposición se refiere a la ruptura de las rocas en partículas más pequeñas debido a la meteorización. Puede ser de naturaleza física, donde las rocas se fragmentan sin alterar su composición, o química, donde los minerales se transforman en nuevos productos. Esta desintegración resulta en la formación de sedimentos que pueden ser transportados por diversos agentes.

Desgaste

El desgaste es el proceso mediante el cual los materiales meteorizados y descompuestos son removidos y transportados desde su lugar de origen. Factores como el agua, el viento y la actividad glacial juegan un papel en este proceso. El desgaste contribuye a la formación de nuevos paisajes y a la redistribución de sedimentos, afectando la estabilidad de los taludes.

2.1.1.10. Taludes

Las obras lineales y otras obras de infraestructura que requieran una superficie plana en extensiones con pendientes elevadas o que alcancen una cierta profundidad por debajo de la superficie y excavación de taludes (excavación)

taludes a ambos lados. El diseño de estas pendientes es importante, como lo es en la mayoría de las operaciones de construcción y minería (González, 2002).

2.1.1.11. Taludes en roca

Debido a la complejidad y variabilidad de los macizos rocosos, los seres humanos han necesitado simplificar sus características y propiedades de alguna manera. Con este fin, han surgido clasificaciones geomecánicas, que se desarrollan para categorizar los macizos rocosos mediante observaciones directas en el campo, así como mediante ensayos sencillos e indicadores de calidad que están relacionados con los parámetros geomecánicos. Estas clasificaciones se aplican en diversos contextos, como túneles, taludes o excavaciones en roca.

Sin embargo. El proceso de meteorización y degradación de las propiedades de las rocas puede llevar a que estas se comporten más como suelos, especialmente en áreas con alta saturación de agua. Este fenómeno disminuye la resistencia y durabilidad de la roca, lo que justifica el enfoque de modelar el talud como un suelo para obtener un análisis más realista y manejable (Hencher & Lee, 2024; Delmonaco et al., 2024).

En muchos estudios de estabilidad de taludes, se ha optado por modelar el material como suelo en lugar de roca debido a la falta de datos específicos sobre las discontinuidades rocosas o cuando las condiciones del talud sugieren un comportamiento más similar al de los suelos. Este enfoque simplificado permite un análisis más manejable y práctico utilizando software como PLAXIS 2D, sin comprometer la confiabilidad de los resultados (Geoengineer.org, 2024).

2.1.1.12. PLAXIS 2D

PLAXIS 2D es una herramienta de elementos finitos fácil de usar que proporciona la capacidad de modelar una variedad de problemas geotécnicos desde una sola aplicación integrada. Permite analizar la deformación y la estabilidad de proyectos que abarcan desde excavaciones, terraplenes y cimientos hasta túneles, minería y geomecánica. Los requisitos mínimos para la instalación del software incluyen Windows 10 o 11, una tarjeta gráfica con al menos 256 MB de OpenGL 3.3, un procesador de doble núcleo, 4 GB de memoria RAM, un disco duro con un mínimo de 2 GB de espacio disponible, y una resolución de pantalla de al menos 1224x768.

Ventajas del software PLAXIS 2D:

- **Modelado geotécnico avanzado:** PLAXIS 2D ofrece herramientas y elementos finitos específicos para la simulación de problemas geotécnicos, lo que permite modelar y analizar de manera precisa y detallada diversos tipos de estructuras geotécnicas, como cimentaciones, excavaciones, taludes, muros de contención, etc.
- **Interfaz de usuario amigable:** El software cuenta con una interfaz intuitiva y amigable que facilita la creación y manipulación de modelos geotécnicos, permitiendo a los usuarios desarrollar sus análisis de manera eficiente.
- **Opciones de visualización:** PLAXIS 2D ofrece diversas opciones de visualización gráfica, lo que facilita la comprensión e indagación de los efectos tenidos en las simulaciones.
- **Análisis de problemas geotécnicos complejos:** La capacidad del software para manejar problemas geotécnicos complejos, como la interacción suelo-estructura, la conducta no lineal del suelo y la inclusión de refuerzos, lo convierten en una herramienta valiosa para proyectos de ingeniería geotécnica desafiantes.
- **Amplia base de datos de materiales:** PLAXIS 2D ofrece una base de datos de materiales geotécnicos predefinidos y personalizables, lo que facilita la selección y modelado de los diferentes tipos de suelo y materiales involucrados en el análisis.

Desventajas del software PLAXIS 2D:

- **Curva de aprendizaje:** Aunque la interfaz es amigable, el software puede tener una curva de aprendizaje para usuarios nuevos en el campo de la geotecnia.
- **Requisitos de hardware:** El software PLAXIS 2D puede ser exigente en términos de recursos del sistema, especialmente al trabajar con modelos complejos y grandes, lo que puede requerir equipos informáticos potentes.

- **Licencias y costo:** El acceso completo al software generalmente requiere una licencia comercial, lo que puede representar un costo significativo para algunos usuarios o empresas.
- **Modelado tridimensional:** Aunque PLAXIS 2D es adecuado para análisis en dos dimensiones, algunos problemas geotécnicos pueden requerir la simulación tridimensional, lo que implicaría utilizar el software PLAXIS 3D o plataformas similares.
- **Actualizaciones y soporte:** Como con cualquier software, la calidad del soporte técnico y las actualizaciones periódicas pueden afectar la eficacia y la longevidad del uso del software.

2.1.1.13. *Modelo constitutivo MOHR COULOMB*

El modelo constitutivo de Mohr-Coulomb es una aproximación inicial al comportamiento no lineal del suelo, conocido por ser un modelo elastoplástico perfecto y de naturaleza isotrópica. Este modelo combina la ley de Hooke con una forma generalizada del criterio de falla de Mohr-Coulomb. Es capaz de simular el comportamiento de suelos granulares sueltos o suelos finos normalmente consolidados. Sin embargo, es importante señalar que no refleja un comportamiento elastoplástico progresivo, sino que se caracteriza por un comportamiento inicialmente elástico seguido de una respuesta plástica perfecta. Su formulación incluye dos componentes principales: la elasticidad perfecta y la plasticidad asociada con el desarrollo de deformaciones irreversibles.

Consideraciones a los parámetros del modelo Mohr Coulomb

El modelo de Mohr-Coulomb, que se comporta de manera elástica lineal y perfectamente plástica, utiliza cinco parámetros en total. Estos incluyen dos parámetros de rigidez y tres de resistencia. Estos parámetros son bien conocidos por los ingenieros geotécnicos y se pueden determinar a partir de pruebas básicas en muestras de suelo. Los parámetros de rigidez se expresan en unidades estándar.

- **Módulo de Young (E):** PLAXIS utiliza el módulo de Young como el módulo de rigidez básico en el modelo elástico y el modelo de Mohr-Coulomb, aunque también se muestran algunos módulos de rigidez alternativos. Un

módulo de rigidez tiene la dimensión de la tensión. Los valores del parámetro de rigidez adoptados en un cálculo requieren atención especial, ya que muchos geomateriales muestran un comportamiento no lineal desde el inicio de la carga. En las pruebas triaxiales de muestras de suelo, la pendiente inicial de la curva esfuerzo-deformación (módulo tangente) generalmente se indica como E_0 y el módulo secante al 50% de resistencia se denota como E_{50} . Para materiales con un gran rango elástico lineal, es realista usar E_{50} , pero para la carga de suelos, generalmente se usa E_{50} (PLAXIS, 2024).

- **Cohesión (c):** La resistencia cohesiva tiene la dimensión de la tensión. En el modelo de Mohr-Coulomb, el parámetro de cohesión puede usarse para modelar la cohesión efectiva c' del suelo (intersección de la cohesión), en combinación con un ángulo de fricción efectivo realista ϕ' . Esto no solo puede hacerse para el comportamiento drenado del suelo, sino también si el tipo de comportamiento del material está configurado como No drenado, ya que en ambos casos PLAXIS realizará un análisis de esfuerzos efectivos (PLAXIS, 2024).
- **Ángulo de fricción (ϕ):** El ángulo de fricción ϕ (phi) se ingresa en grados. En general, el ángulo de fricción se utiliza para modelar la fricción efectiva del suelo, en combinación con una cohesión efectiva c' . Esto no solo puede hacerse para el comportamiento drenado del suelo, sino también si el tipo de comportamiento del material está configurado como No drenado (A), ya que en ambos casos PLAXIS realizará un análisis de esfuerzos efectivos (PLAXIS, 2024).
- **Módulo de poisson (ν):** según (PLAXIS, 2024), las pruebas triaxiales drenadas estándar pueden mostrar una disminución significativa del volumen al comienzo de la carga axial y, como consecuencia, un valor inicial bajo de la razón de Poisson ν_0 . En algunos casos, como en problemas específicos de descarga, puede ser realista usar un valor inicial tan bajo, pero en general, al utilizar el modelo de Mohr-Coulomb, se recomienda usar un valor más alto.

Elegir una razón de Poisson resulta bastante sencillo al aplicar el modelo elástico o el modelo de Mohr-Coulomb para cargas gravitacionales en condiciones de compresión unidimensional. En estos casos, PLAXIS ofrece valores adecuados para $K_0 = \sigma'_h / \sigma'_v$. Dado que ambos modelos determinan la relación conocida $\sigma'_h / \sigma'_v = \nu / (1 - \nu)$ para la compresión unidimensional, es fácil seleccionar una razón de Poisson que proporcione un valor realista de K_0 . Así, ν se ajusta en función de K_0 . Frecuentemente, los valores de ν se encuentran en el rango de 0.3 a 0.4, y estos valores también pueden ser aplicables para otras condiciones de carga además de la compresión unidimensional.

- **Módulo de corte (G):** El módulo de corte, G , se mide en unidades de tensión. De acuerdo a la ley de Hooke, la relación entre el módulo de Young E y el módulo de corte se expresa como:

$$G = \frac{E}{2(1-\nu)} \quad (2.1)$$

En PLAXIS al ajustar un valor para G , el módulo de E cambiará, mientras que “ ν ” se mantendrá constante.

2.1.1.14. Criterio de falla de Mohr Coulomb

El criterio de falla Mohr-Coulomb es uno de los más utilizados en ingeniería geotécnica debido a su practicidad y simplicidad; su expresión matemática es directa y sus parámetros de resistencia tienen un significado físico claro; estos parámetros son fáciles de obtener mediante pruebas in situ o de laboratorio, lo cual facilita su aplicación en diversos problemas de ingeniería. Para la mayoría de los ingenieros geotécnicos, la frase resistencia de los suelos evoca inmediatamente el criterio de falla de Mohr-Coulomb; esto se debe a que este criterio proporciona una manera directa de derivar la resistencia al corte del suelo, lo que simplifica significativamente la resolución de problemas de resistencia (Li et al., 2021).

El criterio de falla Mohr-Coulomb ha sido dominante en la solución de problemas de resistencia en ingeniería geotécnica debido a su capacidad para proporcionar directamente la resistencia al corte del suelo; su aplicación simplifica el proceso de análisis y diseño en una amplia gama de proyectos geotécnicos, desde

pequeñas construcciones hasta grandes infraestructuras (Schwartzkopff et al., 2023).

Aplicaciones del criterio de falla Mohr-Coulomb

En el análisis de estabilidad de taludes, la resistencia al corte determinado a partir del criterio Mohr-Coulomb es un factor crucial; este análisis se realiza para evaluar la probabilidad de que un talud natural o artificial se mantenga en su lugar sin deslizarse; el criterio Mohr-Coulomb permite determinar la resistencia al corte del suelo, que es la fuerza interna que resiste el movimiento a lo largo de una superficie de falla potencial dentro del talud; el factor de seguridad de un talud es una medida de cuán cerca está de fallar; se define como la relación entre las fuerzas que resisten el deslizamiento y las fuerzas que lo promueven. Utilizando los parámetros de cohesión y ángulo de fricción interna obtenidos a partir del criterio Mohr-Coulomb, los ingenieros pueden calcular el factor de seguridad y, por tanto, evaluar la estabilidad del talud (Tian & Zheng, 2023).

Para el cálculo de la capacidad de carga de los cimientos, la resistencia al corte del suelo es un parámetro fundamental; los cimientos son la parte de una estructura que transmite su carga al suelo, y su capacidad de carga es la máxima carga que el suelo puede soportar sin experimentar un fallo significativo; el criterio Mohr-Coulomb permite a los ingenieros calcular esta capacidad de carga de manera eficiente; utilizando los parámetros de cohesión y ángulo de fricción interna, se pueden determinar las condiciones bajo las cuales el suelo puede soportar las cargas de la estructura sin desplazarse o asentarse de manera inadecuada (Tian & Zheng, 2023).

Parámetros clave

Los parámetros principales del criterio Mohr-Coulomb son la cohesión y el ángulo de fricción interna; estos valores son fundamentales para determinar la resistencia al corte del suelo, que es la cantidad más importante en el análisis de estabilidad de taludes, la evaluación de la presión del suelo en muros de contención y el cálculo de la capacidad de carga de cimientos (Li et al., 2021).

Según Schwartzkopff et al. (2023) el criterio de falla de Mohr-Coulomb se puede expresar en términos del esfuerzo cortante (τ) y esfuerzo normal efectivo (σ'_n) con dos constantes, el ángulo interno de fricción (φ) y la cohesión (c):

$$\tau = c + \tan(\varphi)\sigma'_n \quad (2.2)$$

Según Schwartzkopff et al. (2023) el plano de falla potencial para el criterio de falla de Mohr-Coulomb se calcula a partir del ángulo de fricción interno; el ángulo de inclinación (β) y la dirección de inmersión (α), con respecto a la dirección de tensión principal efectiva menor, del plano de falla potencial son:

$$\beta = 45^\circ + \frac{\varphi}{2}; \alpha = 0^\circ \quad (2.3)$$

2.1.1.15. Principios de cálculo que usa Plaxis 2D

PLAXIS 2D se emplea para análisis geotécnico del cual utiliza el método de los elementos finitos para evaluar la deformación, estabilidad y flujo en proyectos de ingeniería civil; este programa se ha diseñado para ser potente y, a la vez, fácil de usar, permitiendo a los ingenieros realizar análisis complejos con una curva de aprendizaje relativamente corta (Mulyadi et al., 2023). Dentro de los principios de cálculo que emplea PLAXIS 2D se encuentra:

- **Método de los Elementos Finitos:** PLAXIS 2D se basa en el Método de los Elementos Finitos, una técnica numérica que discretiza un dominio continuo en una malla de elementos finitos; cada elemento finito es una pequeña parte del dominio total, y al resolver las ecuaciones de equilibrio en cada uno de estos elementos, se obtiene una solución aproximada para todo el sistema; admitiendo una evaluación precisa de cómo las tensiones y deformaciones se distribuyen en el suelo y las estructuras (Abdullah, 2022).
- **Formulación Bidimensional:** El análisis en dos dimensiones simplifica problemas tridimensionales a una representación bidimensional, facilitando la modelación y el cálculo en situaciones donde una dimensión predomina sobre las otras; esto es especialmente útil en proyectos como túneles, excavaciones y muros de contención, donde las condiciones pueden ser idealizadas en un plano 2D (Alsharedah et al., 2023).
- **Modelos Constitutivos del Suelo:** El software incluye varios modelos constitutivos para representar el comportamiento del suelo, como el modelo elasto-plástico de Mohr-Coulomb, el modelo de Hardening Soil, y el modelo

Cam-Clay; estos modelos ayudan a predecir cómo el suelo se deforma bajo diferentes cargas y condiciones (Mulyadi et al., 2023).

- **Interacción Suelo-Estructura:** PLAXIS 2D evalúa la interacción entre el suelo y las estructuras, un aspecto crucial en proyectos de ingeniería geotécnica; esta interacción es esencial para el diseño de taludes, cimentaciones, muros de contención, túneles y otras estructuras, asegurando que se considere cómo el suelo y la estructura afectan mutuamente su comportamiento (Alsharedah et al., 2023).
- **Consolidación y Permeabilidad:** Este aborda problemas de consolidación, analizando cómo el agua en los poros del suelo se redistribuye con el tiempo bajo cargas aplicadas; la permeabilidad del suelo se tiene en cuenta para evaluar estos procesos, que son cruciales en el diseño de estructuras que requieren una evaluación detallada del comportamiento del agua en el suelo (Abdullah, 2022).

2.1.1.16. Ensayos

- **Ensayo de compresión simple:** Para, Chitravel et al. (2022) es un ensayo que se utiliza para puntualizar la resistencia a la compresión no confinada de un material geotécnico, como un suelo o una roca. En este ensayo, una muestra cilíndrica o una muestra de forma similar del material se pone en una máquina y se ejecuta una carga axial vertical hacia abajo. La muestra está confinada lateralmente, lo que significa que no hay resistencia lateral al movimiento. A medida que se aplica la carga, se mide la deformación y se registra la carga hasta que ocurre la falla en la muestra.
- **Compresión Triaxial:** Por otra parte, Kan y Francois (2023) es un ensayo de laboratorio que se utiliza para evaluar la resistencia al corte y el comportamiento del suelo bajo diferentes condiciones de esfuerzo. En este ensayo, una muestra cilíndrica confinada del suelo se pone en una cámara de ensayo y se aplica una presión axial y dos presiones laterales. Estos esfuerzos pueden simular condiciones reales que el suelo experimentaría en el campo. A medida que se aplican las cargas, se mide la deformación y se registra la carga hasta que ocurre la falla en la muestra. Los resultados del ensayo proporcionan información sobre la resistencia al corte y la capacidad de deformación del suelo bajo diferentes condiciones de esfuerzo.

- **Corte directo en discontinuidad Natural:** Para Glad et al. (2022) es similar al ensayo de corte directo, pero se realiza específicamente en una muestra que contiene una discontinuidad natural, como una junta o una falla en una roca. La muestra se prepara de manera que la discontinuidad esté en una posición predeterminada en la muestra y luego se aplica una carga horizontal para inducir el corte a lo largo de la discontinuidad. Este ensayo proporciona información importante sobre la resistencia al corte y la estabilidad de las interrupciones naturales en la roca, lo que es esencial en proyectos de ingeniería que involucran excavaciones en terrenos rocosos.
- **Ensayo de corte Directo:** Zou y Cvetkovic (2023) mencionan que es un ensayo de laboratorio que se usa para decretar la resistencia al corte de un material geotécnico, como un suelo. En este ensayo, una muestra rectangular o cuadrada del suelo se divide en dos mitades y se coloca una mitad en la parte superior de la otra, creando una superficie de corte. Se aplica una carga normal hacia abajo y una fuerza horizontal para inducir el corte en la superficie de contacto. A medida que se aplica la carga, se mide la deformación y se registra la carga hasta que ocurre la falla en la muestra. La resistencia al corte se calcula dividiendo la carga máxima aplicada por el área de la superficie de corte. Este ensayo es más simple que la compresión triaxial, pero proporciona una medida útil de la resistencia al corte del suelo.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

- Estabilidad de taludes: Capacidad de una pendiente o talud para mantener su forma y posición sin colapsar o deslizarse.
- Geotecnia: Rama de la ingeniería que se enfoca en la mecánica de suelos y rocas, y su interacción con las estructuras.
- Ingeniería geotécnica: Disciplina que aplica principios de mecánica de suelos y rocas en el diseño y construcción de proyectos de ingeniería.
- Análisis de estabilidad: Evaluación de la resistencia de una estructura o terreno contra posibles fallas o desplazamientos.
- Talud: Superficie inclinada de terreno, natural o artificial.
- Corte carretero: Excavación realizada en la construcción de una carretera.
- Índice de estabilidad: Medida cuantitativa utilizada para evaluar la seguridad de una estructura o terreno contra posibles fallas.

- Geomecánica: Interacción entre la geología y la mecánica de suelos y rocas.
- Software PLAXIS 2D: Herramienta de modelado geotécnico para análisis de deformaciones y estabilidad en dos dimensiones.
- Simulación numérica: Uso de cálculos matemáticos para representar y predecir comportamientos en situaciones reales.
- Mecánica de suelos: Estudio del comportamiento de los suelos bajo diferentes condiciones de carga y estrés.
- Propiedades geotécnicas: Características físicas y mecánicas del suelo que influyen en su comportamiento.
- Geología: Ciencia que estudia la composición, estructura e historia de la Tierra y sus procesos.
- Topografía: Medición y representación gráfica de las características físicas de un terreno.
- Factor de seguridad: Relación entre la resistencia de un material o estructura y las fuerzas o cargas aplicadas.
- Deslizamiento: Movimiento de un suelo o roca a lo largo de una superficie de falla.
- Carga sísmica: Fuerzas generadas por un terremoto que afectan las estructuras y el terreno.
- Coeficiente de fricción: Medida de la resistencia al deslizamiento entre dos superficies.
- Cohesión: Capacidad del suelo para mantener sus partículas unidas.
- Deformación del terreno: Cambios en la forma o posición del suelo debido a cargas externas.
- Erosión: Desgaste y desplazamiento del suelo debido a factores naturales como agua y viento.
- Carretera Tayapampa - Alto Succha: Tramo vial específico que forma parte del estudio.
- Evaluación de riesgos: Análisis de posibles amenazas y su impacto en un proyecto o área.
- Impacto ambiental: Efectos positivos o negativos de una actividad en el medio ambiente.
- Modelamiento geotécnico: Creación de representaciones matemáticas de comportamientos geotécnicos.

- Variables geotécnicas: Propiedades y características que influyen en el comportamiento de suelos y rocas.
- Geodatos: Información espacial y geográfica.
- Caracterización del suelo: Descripción detallada de las propiedades físicas y mecánicas del suelo.
- Estudios de estabilidad: Análisis de la capacidad de una estructura o terreno para mantener su forma bajo cargas y condiciones específicas.
- Mitigación de riesgos: Acciones para reducir o eliminar posibles amenazas y sus efectos.

CAPÍTULO III. INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS APLICADA A LA CARRETERA TAYAPAMPA – ALTO SUCCHA

3.1. ENFOQUE

El enfoque cuantitativo es un método de investigación que se basa en la recopilación y análisis de datos numéricos usando técnicas estadísticas, con el objetivo de obtener resultados objetivos y precisos sobre patrones, relaciones y tendencias en fenómenos estudiados, enfatizando la medición, la objetividad y la replicabilidad según (Fernández et al., 2021).

Así mismo en el estudio es de tipo aplicada, porque se ejecutará las evaluaciones geomecánica del tramo de la carrera Tayapampa-Alto Succha (km. 7+200 – 7+320) aplicando el software Plaxis 2D.

3.2. NIVEL

El nivel descriptivo de investigación se enfoca en la presentación sistemática de información objetiva sin buscar explicaciones causales o relaciones complejas. Este enfoque proporciona una comprensión precisa a través de la recolección de datos y la presentación de hechos observables, siendo útil en etapas iniciales o cuando se requiere una visión general antes de análisis más profundos. (Hernández & Mendoza, Metodología de la investigación, 2018). La investigación adopta un enfoque descriptivo con el propósito principal de ofrecer una descripción detallada y sistemática de la estabilidad de los taludes en una sección específica de la carretera.

3.3. DISEÑO

Una investigación no experimental es un enfoque metodológico que busca analizar y comprender fenómenos o situaciones tal como se presentan en su entorno natural, sin intervenir en ellos ni manipular variables de estudio. (Armijo et al., 2021). Así, el enfoque no experimental permite analizar la estabilidad de los taludes en su contexto natural, brindando resultados más realistas y relevantes para la situación específica de la carretera.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. Población

La población se refiere al conjunto total de personas, objetos o medidas que comparten características comunes y que pueden ser observados en una región y período de tiempo específicos (Hernández, 2018).

Por lo tanto, la población está dada por la carretera Tayapampa – Alto Succha.

3.4.2. Muestra

Según, Hernández (2018) hace mención de una muestra implica referirse a un subgrupo extraído de la población o conjunto general que resulta de interés para el estudio, y en el cual se recopilarán los datos relevantes. La muestra está dada el tramo de la carretera Tayapampa – Alto Succha (km. 7+200 – km. 7+320).

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Las técnicas de investigación son métodos y procedimientos específicos empleados para obtener, analizar y procesar información en un estudio (Ruiz & Valenzuela, 2022). En el contexto de la investigación la aplicación de técnicas cuantitativas, como el análisis de datos numéricos generados por el software Plaxis 2D, permitirá una evaluación precisa de los datos de estabilidad de los taludes. Además, se emplearán técnicas como la revisión y análisis documental de registros históricos sobre la carretera y la región, para comprender el contexto geotécnico y topográfico en el que se encuentra la carretera.

En esta investigación, se usarán tres instrumentos clave para evaluar la estabilidad de los taludes en la carretera Tayapampa - Alto Succha. La guía de análisis documental se empleará para explorar registros históricos y contextuales. La guía de observación capturará información en el terreno, incluyendo detalles visuales y condiciones físicas.

3.6. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS

3.6.1. Procesamiento de datos:

El enfoque de esta investigación estará dirigido a reunir y analizar de manera detallada la información requerida con el fin de lograr los resultados esperados.

Adicionalmente, se ofrecerá una explicación completa del proceso requerido para alcanzar cada uno de los objetivos previamente establecidos (Arias et al., 2022).

OE 1: Realizar la evaluación geotécnica y/o geomecánica del tramo de la carretera Tayapampa – Alto Succha (km. 7+200 – km. 7+320).

OE 2: Determinar mediante ensayos de laboratorio las propiedades y los parámetros del material del tramo en investigación.

OE 3: Evaluar la estabilidad del talud mediante el modelamiento geotécnico y la aplicación del Software PLAXIS 2D.

3.6.2. Análisis de datos:

En esta investigación, se utilizará un análisis estadístico descriptivo para comprender y presentar con precisión los datos recopilados. Este enfoque permitirá una descripción detallada de las variables relevantes, incluyendo medidas de tendencia central, dispersión y distribución. El objetivo principal es destacar tendencias, variaciones y relaciones preliminares en los datos, lo que contextualizará y respaldará los hallazgos. Además, sentará las bases para análisis posteriores en caso necesario y proporcionará una comprensión inicial de los datos.

a) La recolección de datos incluirá la revisión de información sobre la estabilidad de los taludes en el tramo de estudio, el modelamiento en PLAXIS 2D y los estudios básicos de la carretera. Se utilizarán principalmente la observación, la interpretación de resultados de laboratorio y los resultados del modelamiento numérico en PLAXIS 2D.

b) El procesamiento y análisis de datos incluirá la descripción de las características del tramo de estudio, la evaluación geomecánica de las progresivas críticas, ensayos de laboratorio para determinar sus propiedades físicas y mecánicas, y el modelamiento numérico en PLAXIS 2D.

3.7. Evaluación geológica - geotécnica

El tramo de estudio está ubicado en la carretera Tayapampa - Alto Succha (km. 7+200 – 7+320) en la provincia de Sánchez Carrión del Departamento de La Libertad. La única manera de llegar por carretera a la zona es por la ruta Trujillo-Quiruvilca - Cajabamba. La carretera es transitable durante todo el año, aunque se interrumpe de vez en cuando en la época de lluvias.

A continuación, se muestra un mapa de ubicación del tramo en estudio:

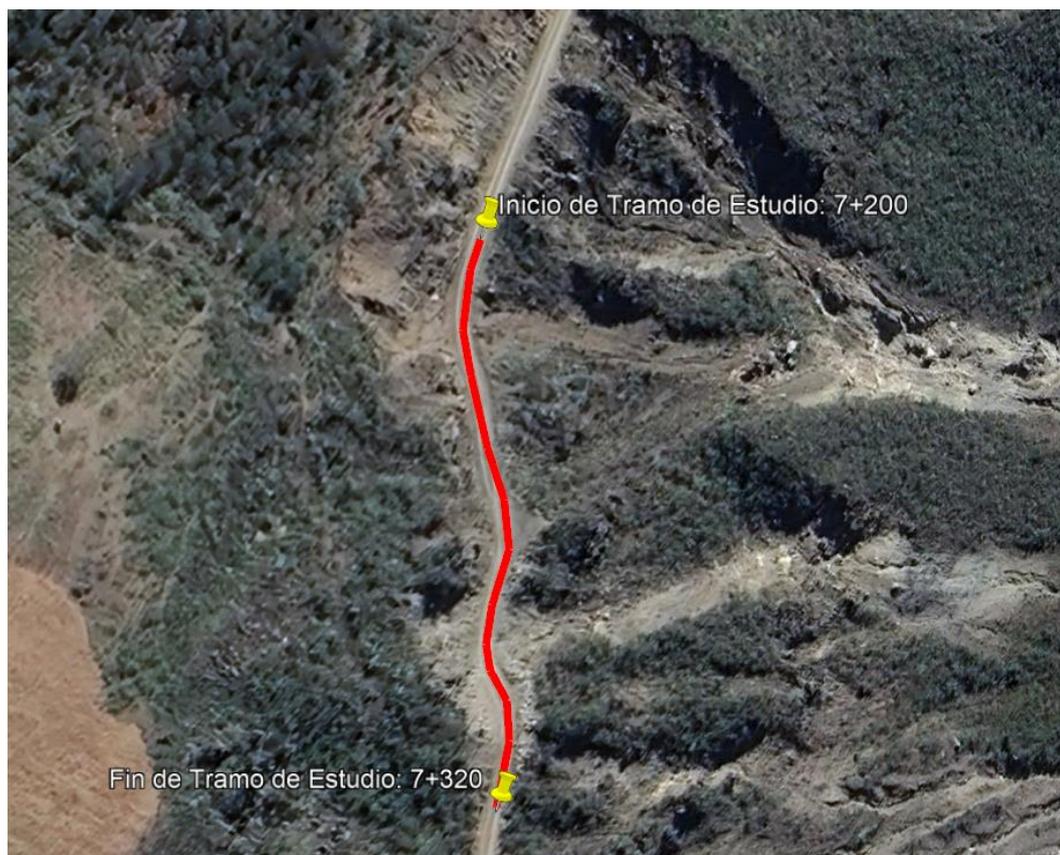


Figura N°1. Carretera Tayapampa - Alto Succha (km. 7+200 – 7+320)
Nota. Tomado de Google Earth (2024).

3.7.1. Geología regional de la zona de estudio

La información ha sido extraída del Boletín N°9: Geología del Cuadrángulo de Pataz (Hoja 16-h) (1964), el cual forma parte de la Carta Geológica Nacional del Perú.

formación Contaya, identificada por Newell y Tafur en 1943 en la región de Contamana. Esta correlación se basa en similitudes tanto litológicas como paleontológicas. La formación Contaya presente en el área de Pataz se encuentra expuesta en ambos lados del valle del río Marañón y está compuesta principalmente por varias centenas de metros de lutitas y pizarras de tonalidades negras u oscuras, con intercalaciones ocasionales de delgadas capas de cuarcita según lo descrito por Wilson et al. en 1964.

Las relaciones estratigráficas de la formación Contaya se describen de la siguiente manera: en la base de la formación se observa una discordancia angular, debajo de la cual se encuentran expuestas rocas metamórficas pertenecientes al Complejo del Marañón. Se nota una marcada diferencia en el grado de metamorfismo entre la formación Contaya y los micaesquistos que se hallan debajo, aunque a pesar de la presencia de una capa abundante no se dificulta la identificación del contacto entre ellas. En cuanto al contacto superior de la formación Contaya, se evidencia una discordancia ligeramente angular con las areniscas y lutitas del grupo Ambo, según lo reportado por Wilson et al. en 1964. La formación Contaya en Pataz contiene una gran cantidad de graptolitos, y en algunas capas de estratificación de las pizarras se han observado estos fósiles en un estado de conservación regular. Estas formas sugieren la presencia de rocas del Ordovícico temprano y medio.

La formación Contaya en Pataz abarca capas más recientes que las encontradas en la sección típica y capas más antiguas que las descritas por Steinmann en 1930 en la región de Ambo. Sin embargo, es evidente que se trata de una sola unidad estratigráfica de gran tamaño.

Se presume que la formación Contaya se depositó en un entorno marino de aguas profundas, caracterizado por condiciones anaeróbicas, en una cuenca de sedimentación ubicada a una distancia considerable de las fuentes de sedimentos, al igual que las pizarras y lutitas graptolíticas encontradas en otras partes del mundo. En este contexto, se sabe que el mar "Contaya" se extendió sobre una amplia área, alcanzando condiciones de deposición similares casi hasta la frontera brasileña. Este fenómeno resultó en una notable uniformidad de facies a lo largo de distancias de cientos de kilómetros.

La respecto a la geología local, la formación Contaya presenta una variedad litológica que incluye lutitas (rocas finas compuestas de partículas de arcilla y limo, con texturas y colores diversos y capas delgadas), areniscas (rocas sedimentarias

formadas por granos de arena cementados, con variaciones en color y textura según los minerales y el tipo de cemento), y conglomerados (rocas formadas por fragmentos grandes de otras rocas, unidos por una matriz que los cementa). Esta formación se originó en un entorno sedimentario que probablemente abarcaba ambientes fluviales y lacustres, donde los sedimentos se acumularon y fueron cementados a lo largo del tiempo. La relevancia geológica de la Formación Contaya radica en su importancia para estudios de geotecnia e ingeniería civil, ya que su composición y características sedimentarias proporcionan datos valiosos para evaluar las propiedades mecánicas y la estabilidad de los taludes en la región.

Por otro lado, entre las formaciones rocosas intrusivas presentes en el área de estudio se encuentra el granito rojo. En el valle del río Marañón, a corta distancia al norte de Llapuy, se identifica un afloramiento de granito rojo de extensión limitada que intruye en los micaesquistos del Precámbrico. En su parte superior, este afloramiento está cubierto de manera discordante por los sedimentos triásicos del grupo Pucará, según lo descrito por Wilson y colaboradores en 1964. A primera vista, el granito rojo se caracteriza por ser una roca de grano grueso en la que se pueden distinguir cristales de ortosa rosada, hornblenda negra y verde oscuro, así como cuarzo. El análisis de una lámina delgada revela la siguiente composición mineralógica:

- Ortosa - 35%
- Cuarzo - 45%
- Plagioclasa -18%
- Máficos - 2%

La roca muestra una fracturación notable y, a primera vista, parece más similar a una formación volcánica antigua que a una intrusión, aunque no exhibe signos de haber experimentado metamorfismo regional. En cuanto a la edad del granito rojo, se infiere que su emplazamiento ocurrió después del evento de metamorfismo regional que afectó a los esquistos durante el Precámbrico o posiblemente durante el Eopaleozoico. Además, debido a sus relaciones con el grupo Pucará, se deduce que es de edad pre-Noriano. La composición litológica del stock es similar a la de los granitos rojos que se encuentran en la Costa Sur del Perú, los cuales se consideran de edad Precámbrica o Paleozoica inferior, según lo señalado por Bellido en 1960.

La semejanza en la composición litológica y su conexión con los esquistos antiguos llevan a la suposición de que el granito rojo en el cuadrángulo de Patata tiene una edad aproximadamente similar a su contraparte en la costa. Por consiguiente, se clasifica provisionalmente como de edad Precámbrica a Paleozoica inferior, según lo indicado por Wilson y colaboradores en 1964.

3.7.2. Investigaciones geotécnicas proyectadas

En la zona de estudio se han proyectado las siguientes investigaciones geotécnicas:



Figura N°4. Investigaciones geotécnicas proyectadas
Nota. Tomado de Google Earth (2024).

Estas investigaciones geotécnicas, están resumidas en la siguiente tabla:

Tabla 5.
Investigaciones geotécnicas proyectadas

Exploración	Código	Este (m)	Norte (m)	Prof. (m)
Calicata	C-01	204666.00	9133035.00	3.0

Calicata	C-02	204672.00	9132953.00	3.0
Trinchera	T-01	204668.00	9132992.00	3.0

Nota. Elaboración propia.

Por otro lado, se muestran los ensayos de laboratorio, los cuales serán usados para determinar los parámetros resistentes y elásticos de las diferentes unidades geotécnicas presentes en la zona de estudio.

Tabla 6.
Ensayos de laboratorio proyectados

Exploración	Código	Prof. (m)	Ensayos estándar	Densidad natural	Triaxial (CD)
Calicata	C-01	3.0	1	1	1
Calicata	C-02	3.0	1		
Trinchera	T-01	3.0	1		

Nota. Elaboración propia.

Finalmente, para complementar las investigaciones directas se realiza la siguiente proyección de ensayos geofísicos:

Tabla 7.
Ensayos geofísicos proyectados

Código	Ensayo	Coord. Inicio	
		Este	Norte
MASW-01	MASW-1D	204670.00	9133007.00

Nota. Elaboración propia.

3.7.3. Ensayos de laboratorio

Según los resultados de las investigaciones geotécnicas, así como también los ensayos de laboratorio, se definieron 3 unidades geotécnicas cuyos parámetros resistentes se exponen a continuación:

Tabla 8.
Parámetros resistentes

Material	γ (KN/m ³)	C' (kPa)	ϕ' (°)	ν
UG-1	23.0	4.5	35.0	0.30
UG-2	22.0	24.0	35.8	0.29
UG-3*	25.5	80.0*	42.0*	0.25

*Extraído de bibliografía: Barton (1974), Hoek y Bray (1981), Jibson et al. (2000).

Nota. Elaboración propia.

Por otro lado, según el resultado del ensayo MASW 1D, las velocidades presentadas en el perfil indican el siguiente rango, del cual puede inferirse el módulo de elasticidad:

Tabla 9.
 Parámetros elásticos

Material	Vs min	Vs máx	Vs representativo	E (ton/m2)	E (Kpa)
UG-1	343	665	504	7148	70093
UG-2	611	888	888	445000	4370000
UG-3	734	1280	1007	774000	7590000

Nota. Elaboración propia.

Además, para la Unidad Geotécnica 1 (UG-1) se puede caracterizar el valor de E₅₀, el cual puede ser extraído del ensayo triaxial realizado.

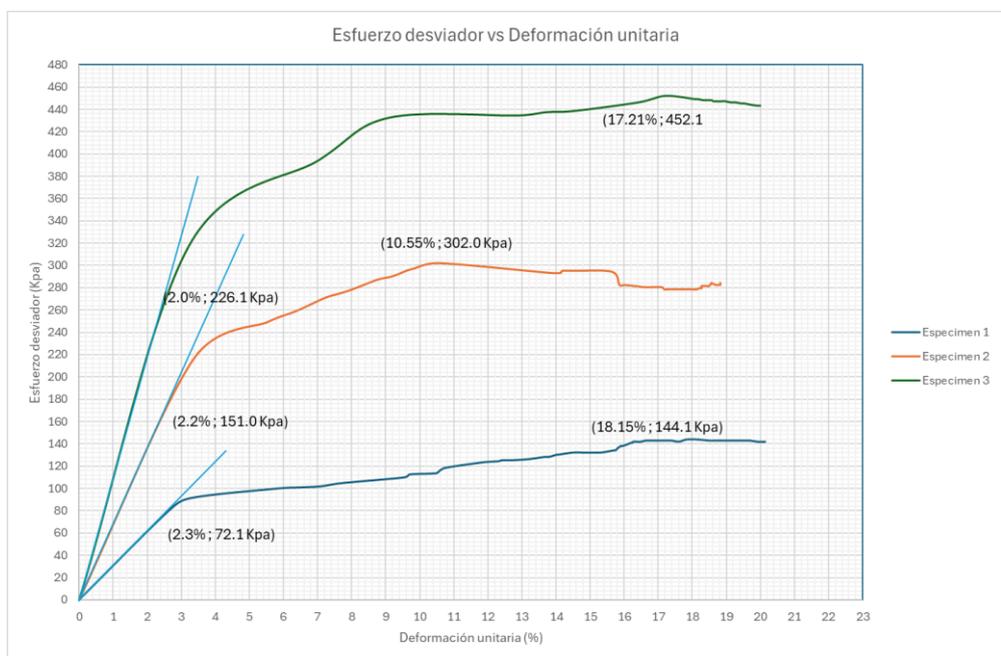


Figura N°5. Determinación del E₅₀ mediante el gráfico Esfuerzo Deformación del Triaxial CD.
 Nota. Elaboración propia

Cálculo del E₅₀:

$$E_{50}(1) = \frac{72.1}{0.023}$$

$$E_{50}(2) = \frac{151.0}{0.022}$$

$$E_{50}(3) = \frac{226.1}{0.020}$$

$$E_{50}(1) = 3134.78 \text{ kPa}$$

$$E_{50}(2) = 6863.64 \text{ kPa}$$

$$E_{50}(3) = 11305.00 \text{ kPa}$$

Por lo que el E_{50} será:

$$E_{50} = \frac{E_{50}(1) + E_{50}(2) + E_{50}(3)}{3} = \frac{3134.78 + 6863.64 + 11305.00}{3} = 7101.14 \text{ kPa}$$

Finalmente, En el análisis del material de la UG-2, se realizó un ensayo de abrasión Los Ángeles para evaluar su resistencia al desgaste. El resultado obtenido fue del 81.1%, lo cual indica un alto grado de desintegración bajo condiciones de abrasión. Este valor indica que el material posee características más similares a las de un suelo altamente meteorizado que a las de una roca intacta. Por lo tanto, es justificable modelar el talud que contiene este material como suelo en lugar de roca, ya que esta clasificación refleja de manera más precisa las propiedades mecánicas y el comportamiento esperado del talud bajo condiciones de carga y estabilidad.

En la siguiente tabla se muestran los parámetros resistentes y elásticos calibrados que serán utilizados en el análisis de estabilidad:

Tabla 10.
Parámetros resistentes y elásticos para el análisis de estabilidad

Simbología	Unidades	Descripción	UG-1	UG-2	UG-3
γ_{unsat}	kN/m ³	Peso específico no saturado	23.00	22.00	25.50
γ_{sat}	kN/m ³	Peso específico saturado	24.00	23.00	26.50
C'	kPa	Cohesión efectiva	4.50	24.00	80.00
ϕ'	°	Ángulo de fricción efectivo	35.00	35.80	42.00
ψ	°	Ángulo de dilatancia:	5.00	5.80	12.00
E_{50}	kPa	Rigidez al 50% del esfuerzo de rotura	7101.14	437000.00	801000.00
E_{ed} $E_{ed} = 0.8 * E_{50}$	kPa	Rigidez tangente para carga primaria edométrica:	5680.91	-	-
E_{ur} $E_{ur} = 3 * E_{50}$	kPa	Rigidez en descarga – recarga:	21303.42	-	-
ν'_{ur}	--	Relación de Poisson en descarga-recarga (0.25 a 0.30)	0.30	0.29	0.25
σ'_{ref}	kPa	Esfuerzo de referencia (100 Kpa)	100.00	-	-
K_0 $K_0 = 1 - \sin \phi'$ $K_0 = (1 - \sin \phi') \sqrt{OCR}$	--	Coefficiente de presión lateral de tierras: Suelos granulares: Suelos finos:	0.43	-	-
Abrasión (%)	--	Relación de falla (0.9)	-	81.10	-

Nota. Elaboración propia

3.7.4. Estabilidad de taludes

3.7.4.1. Condiciones de análisis

Los factores de seguridad mínimos adoptados están basados en la norma AASHTO LRFD.

Tabla 11.
Factores de seguridad mínimos

Condición	Caso Estático	Caso Pseudoestático
Permanente	1.30	1.10

Nota. Tomado de AASHTO.

Los coeficientes sísmicos empleados para los análisis pseudoestáticos se basan en la Norma E.030 2018.

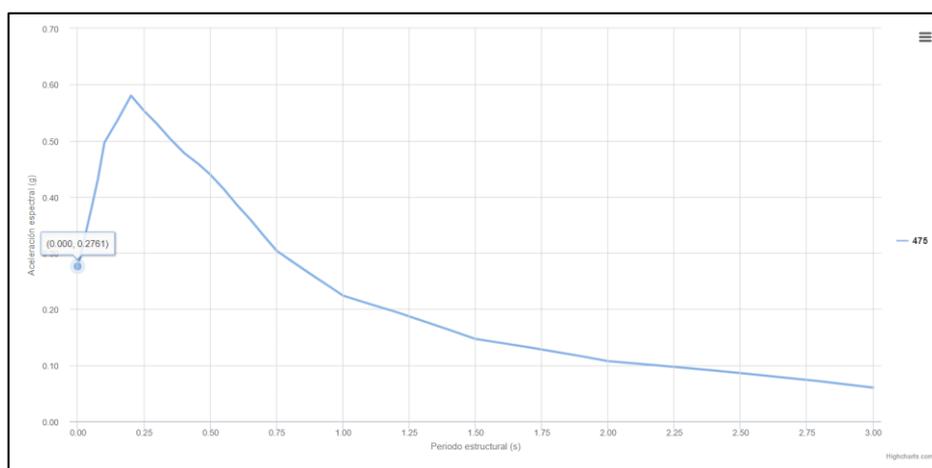


Figura N°6. Aceleración espectral en la zona de estudio para un periodo de retorno de 475 años.
Nota. Tomado de Actualización del programa de cómputo orientado a la determinación del peligro sísmico en el país (2016).

El coeficiente de aceleración sísmica para el análisis pseudoestático de estabilidad de taludes, para considerar los efectos de la inercia y la disipación de energía se puede considerar para taludes permanentes, tal y como es el caso del presente proyecto como 0.5(PGA), es decir 0.138g.

CAPÍTULO IV. MODELAMIENTO GEOTÉCNICO MEDIANTE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES Y APLICACIÓN DEL SOFTWARE

4.1. Secciones de análisis

El análisis de estabilidad de taludes será realizado para 4 secciones de análisis, las cuales se presentan a continuación:

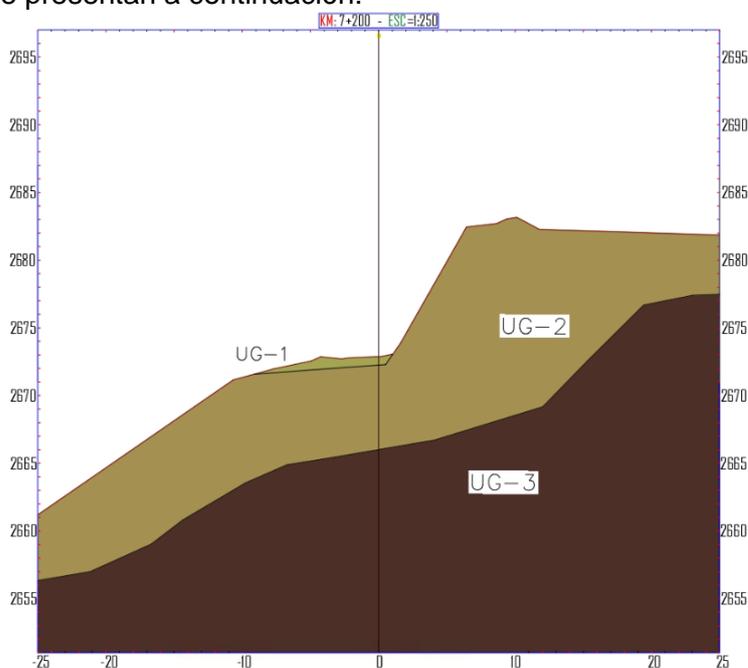


Figura N°7. Perfil estratigráfico de sección de análisis en la progresiva km 7+200
Nota. Elaboración propia.

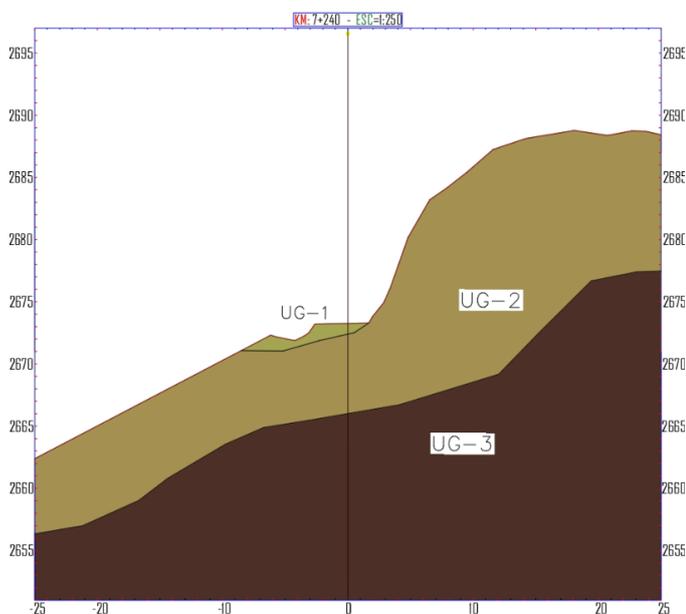


Figura N°8. Perfil estratigráfico de sección de análisis en la progresiva km 7+240
Nota. Elaboración propia.

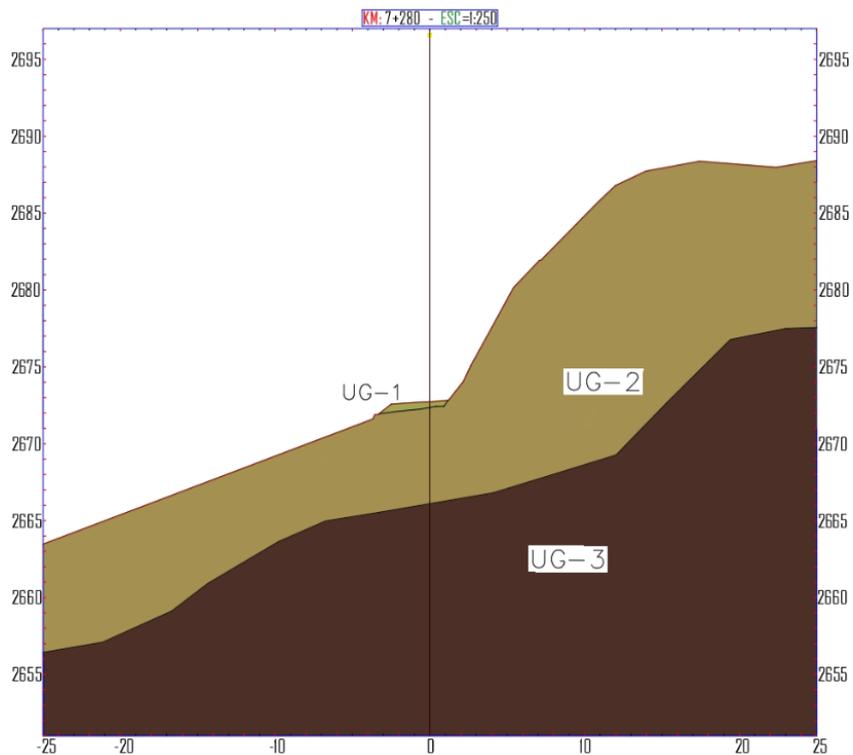


Figura N°9. Perfil estratigráfico de sección de análisis en la progresiva km 7+280
Nota. Elaboración propia.

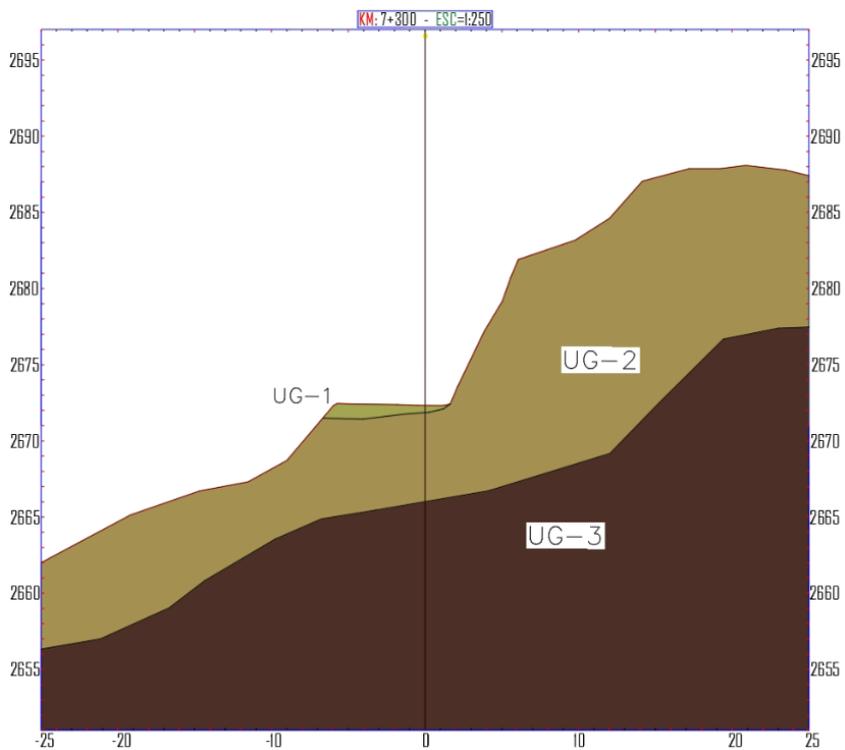


Figura N°10. Perfil estratigráfico de sección de análisis en la progresiva km 7+300
Nota. Elaboración propia.

4.2. Análisis de estabilidad de taludes

4.2.1. Análisis Phi/C Reduction

El análisis Phi/C Reduction se realizó para condiciones estáticas y pseudoestáticas, para la sección km 7+200 se obtuvieron los siguientes resultados:

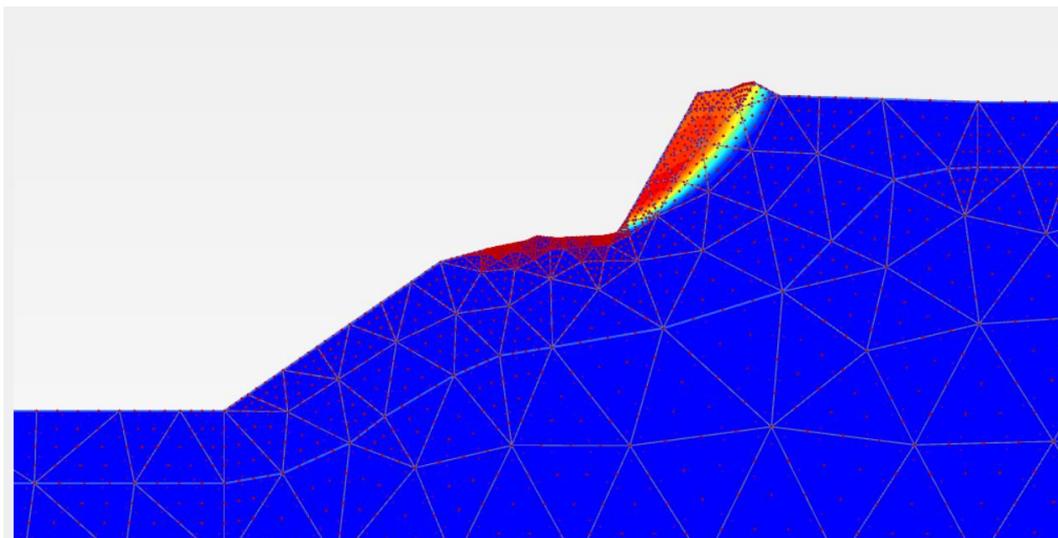


Figura N°11. Superficie de falla en condiciones estáticas – km 7+200
Nota. Elaboración propia.

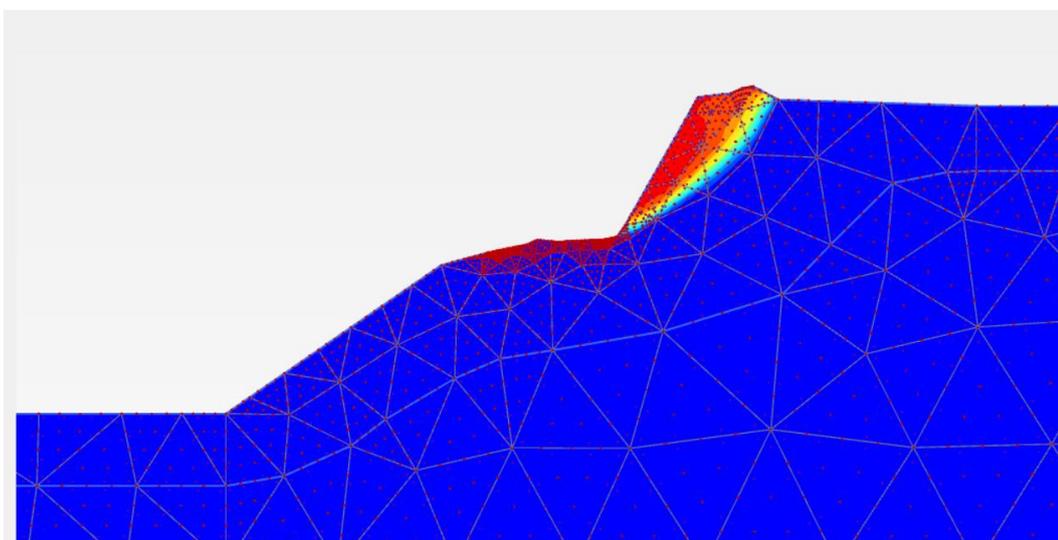


Figura N°12. Superficie de falla en condiciones pseudoestáticas – km 7+200
Nota. Elaboración propia.

Además, se consideró la influencia del agua en el talud, simulando una temporada de lluvias:

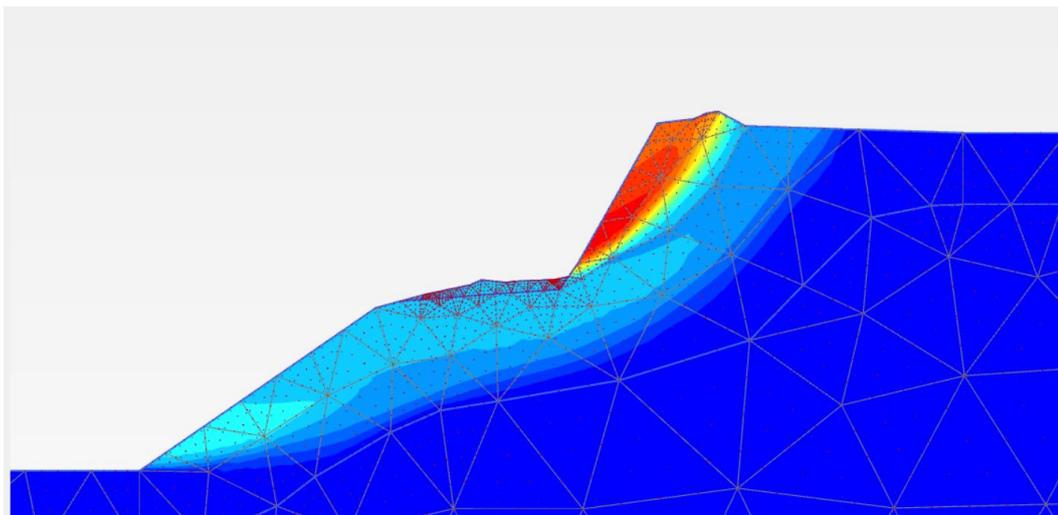


Figura N°13. Superficie de falla en condiciones estáticas – km 7+200 (Temporada de lluvias)
 Nota. Elaboración propia.

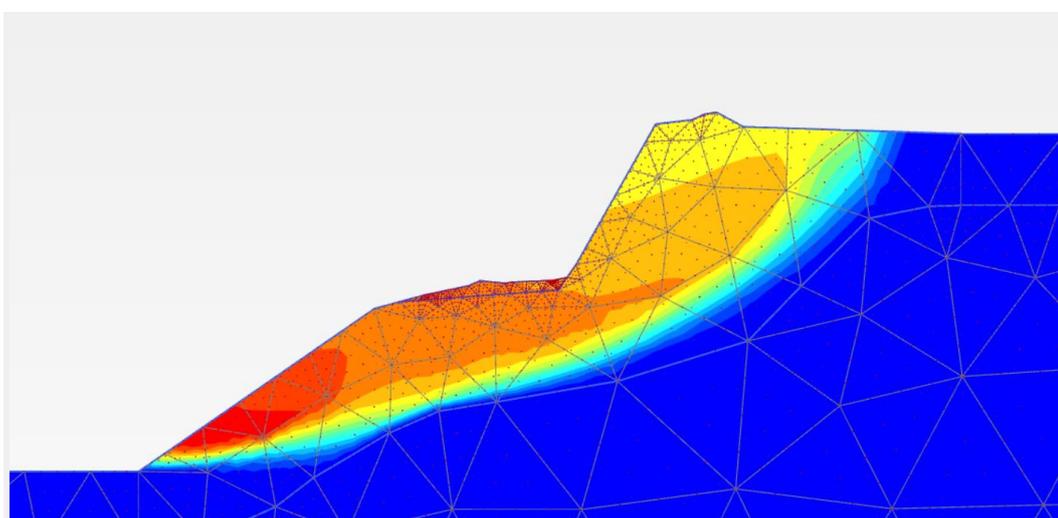


Figura N°14. Superficie de falla en condiciones pseudoestáticas – km 7+200 (Temporada de lluvias)
 Nota. Elaboración propia.

Los factores de seguridad provenientes del análisis de estabilidad son los siguientes:

Tabla 12.

Factores de seguridad para la sección km 7+200

Condición	Caso Estático	Caso Pseudoestático
Temporada seca	1.547	1.267
Temporada de lluvias	1.491	1.080

Nota. Elaboración propia.

Para la sección km 7+240 se obtuvieron los siguientes resultados:

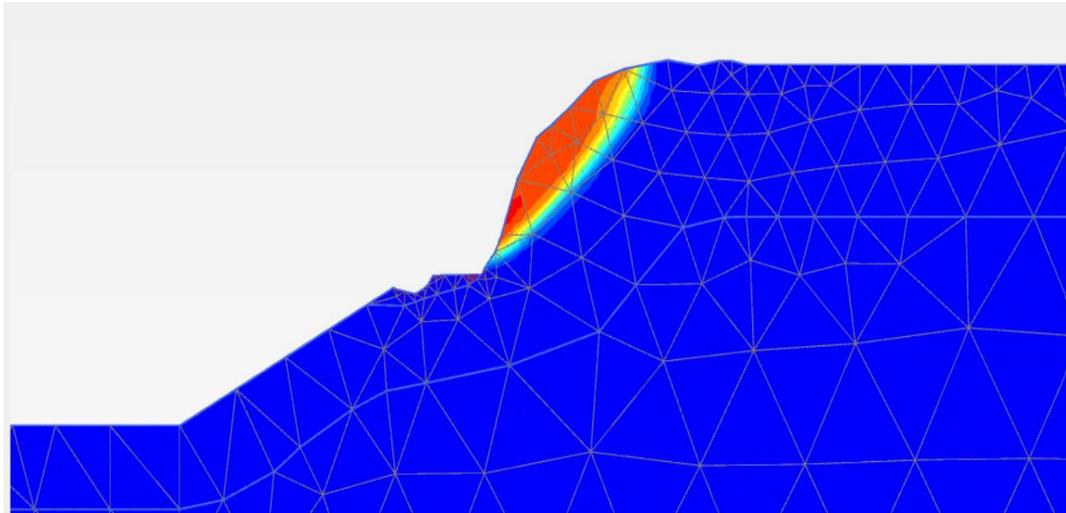


Figura N° 15. Superficie de falla en condiciones estáticas – km 7+240
Nota. Elaboración propia.

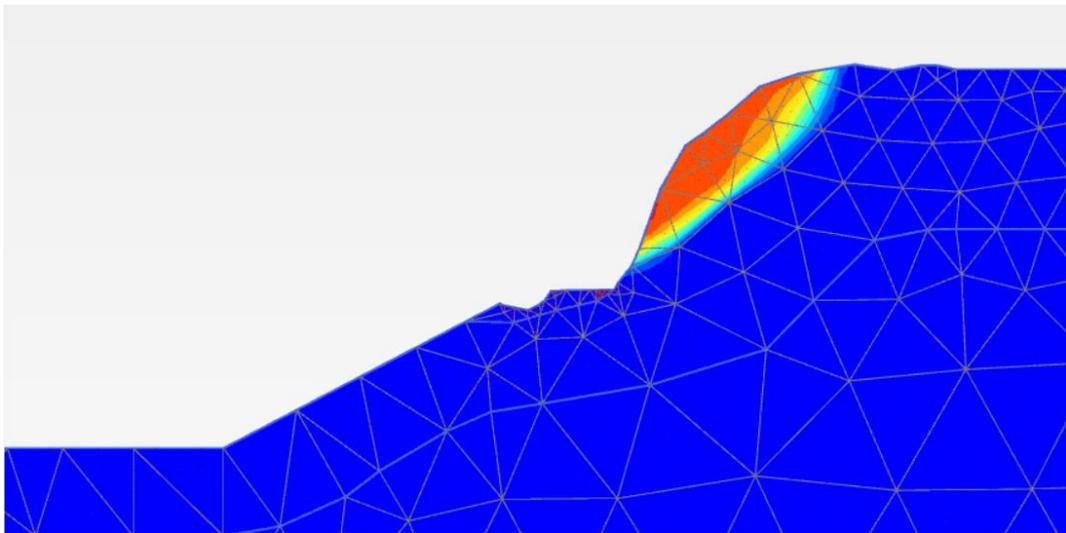


Figura N° 16. Superficie de falla en condiciones pseudoestáticas – km 7+240
Nota. Elaboración propia.

Además, se consideró la influencia del agua en el talud, simulando una temporada de lluvias:

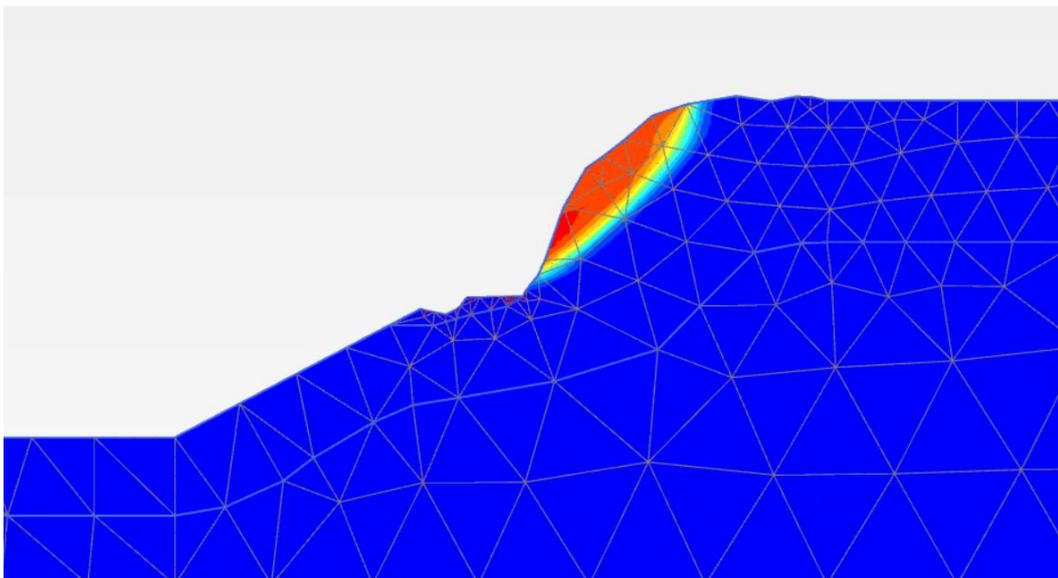


Figura N°17. Superficie de falla en condiciones estáticas – km 7+240 (Temporada de lluvias)
Nota. Elaboración propia.

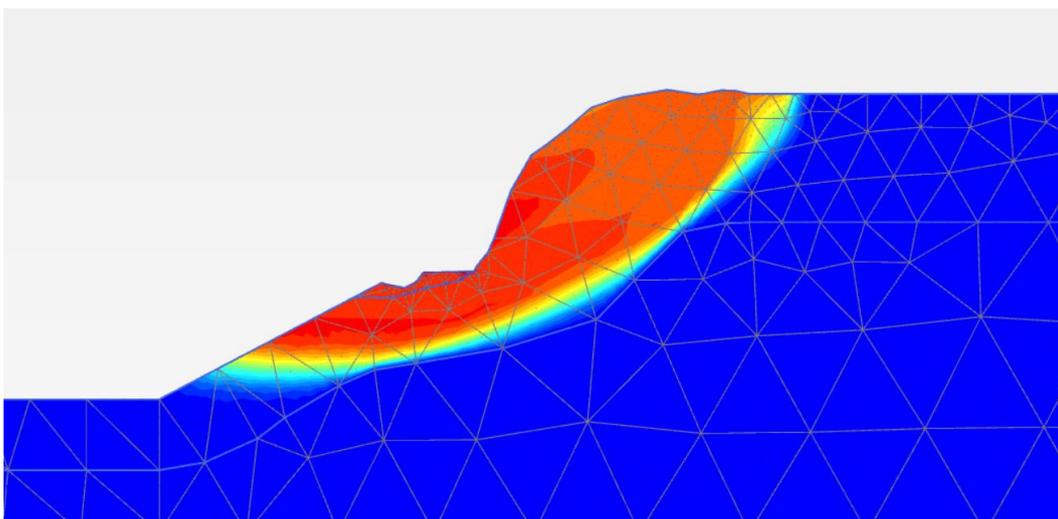


Figura N°18. Superficie de falla en condiciones pseudoestáticas – km 7+240 (Temporada de lluvias)
Nota. Elaboración propia.

Los factores de seguridad provenientes del análisis de estabilidad son los siguientes:

Tabla 13.
 Factores de seguridad para la sección km 7+240

Condición	Caso Estático	Caso Pseudoestático
Temporada seca	1.322	1.058
Temporada de lluvias	1.318	1.030

Nota. Elaboración propia.

Para la sección km 7+280 se obtuvieron los siguientes resultados:

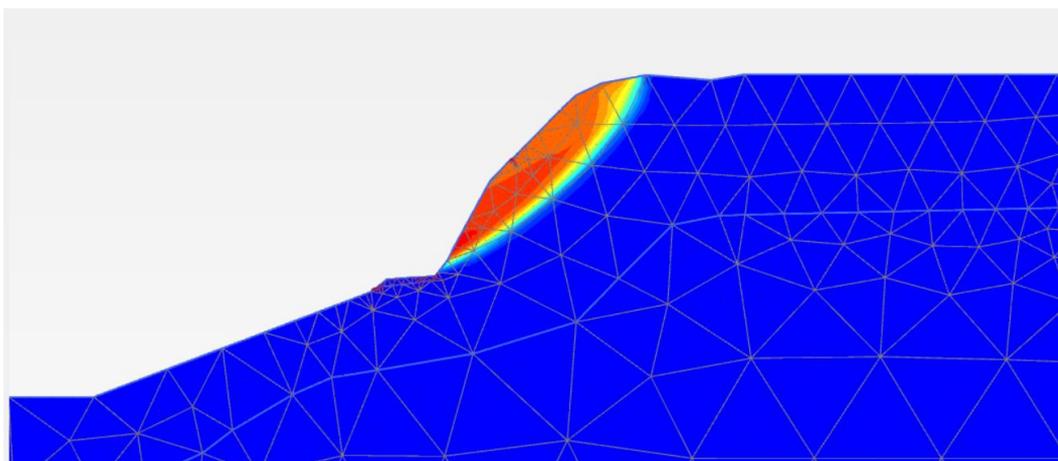


Figura N°19. Superficie de falla en condiciones estáticas – km 7+280

Nota. Elaboración propia.

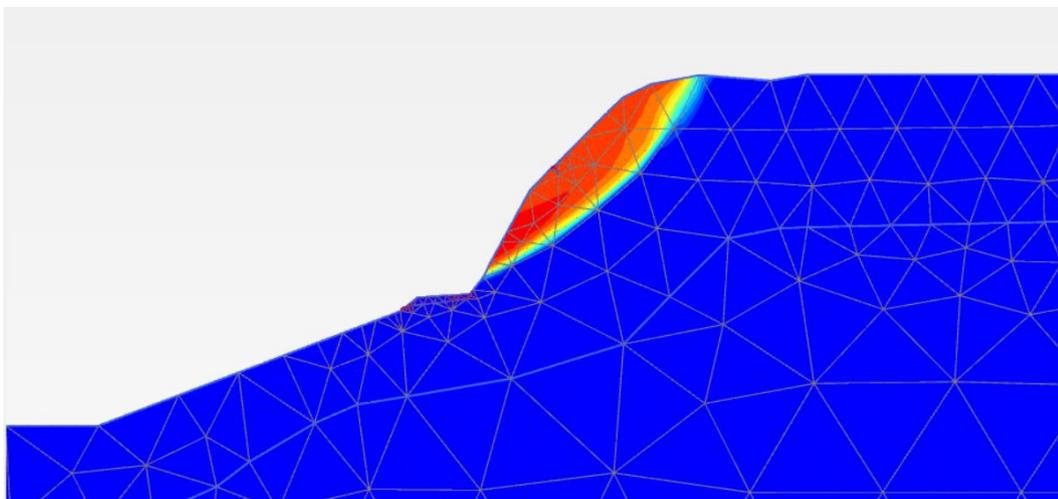


Figura N°20. Superficie de falla en condiciones pseudoestáticas – km 7+280

Nota. Elaboración propia.

Además, se consideró la influencia del agua en el talud, simulando una temporada de lluvias:

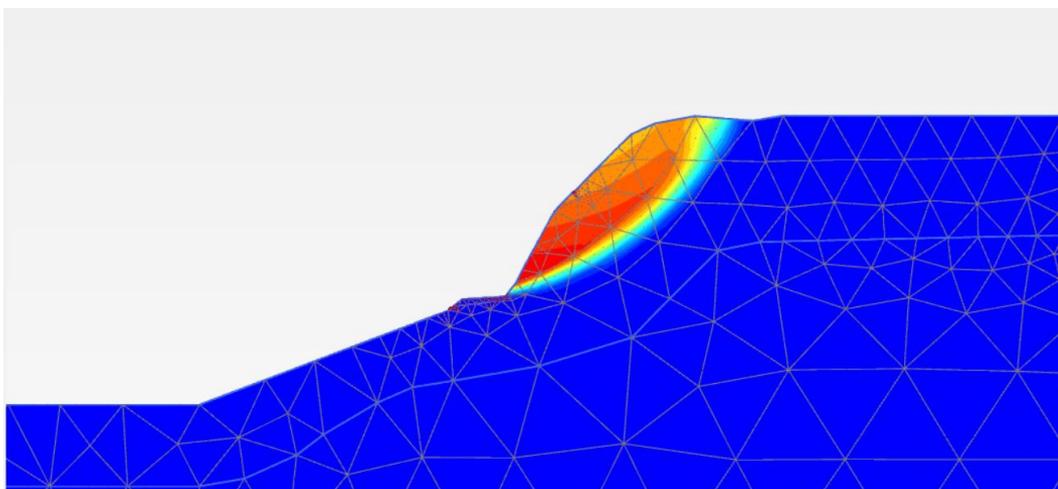


Figura N°21. Superficie de falla en condiciones estáticas – km 7+280 (Temporada de lluvias)
 Nota. Elaboración propia.

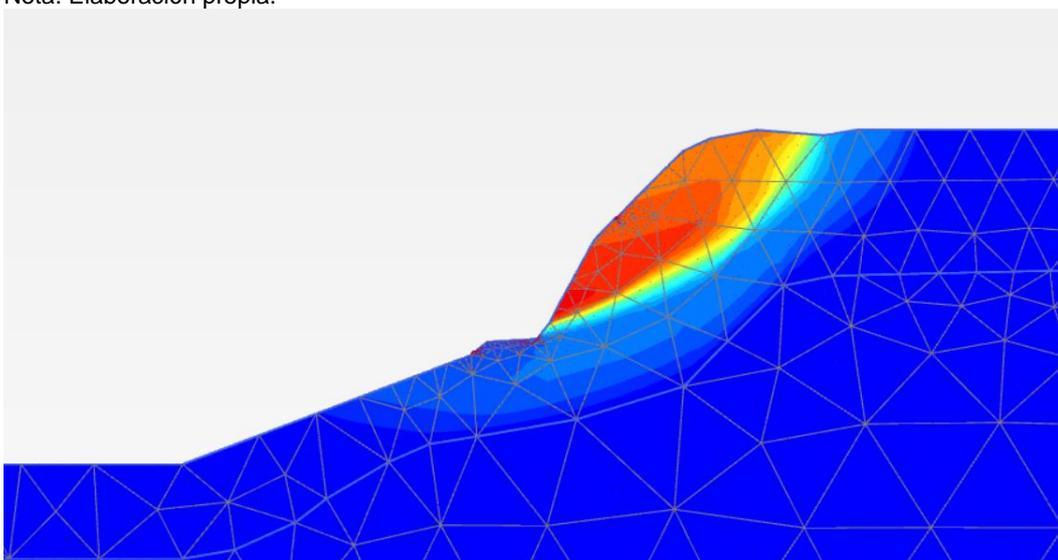


Figura N°22. Superficie de falla en condiciones pseudoestáticas – km 7+280 (Temporada de lluvias)
 Nota. Elaboración propia.

Los factores de seguridad provenientes del análisis de estabilidad son los siguientes:

Tabla 14.

Factores de seguridad para la sección km 7+280

Condición	Caso Estático	Caso Pseudoestático
Temporada seca	1.411	1.118
Temporada de lluvias	1.297	1.038

Nota. Elaboración propia.

Finalmente, para la sección km 7+300 se obtuvieron los siguientes resultados:

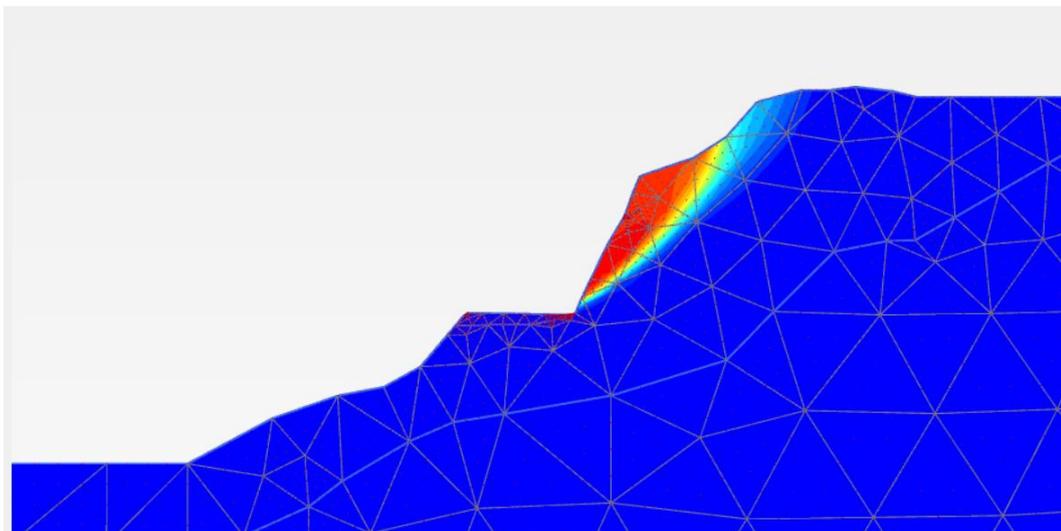


Figura N°23. Superficie de falla en condiciones estáticas – km 7+300
Nota. Elaboración propia.

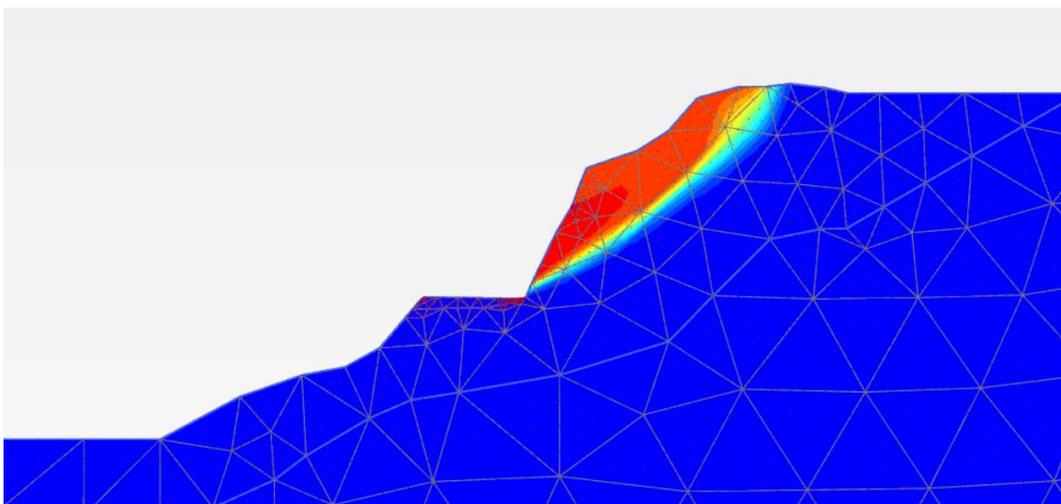


Figura N°24. Superficie de falla en condiciones pseudoestáticas – 7+300
Nota. Elaboración propia.

Además, se consideró la influencia del agua en el talud, simulando una temporada de lluvias:

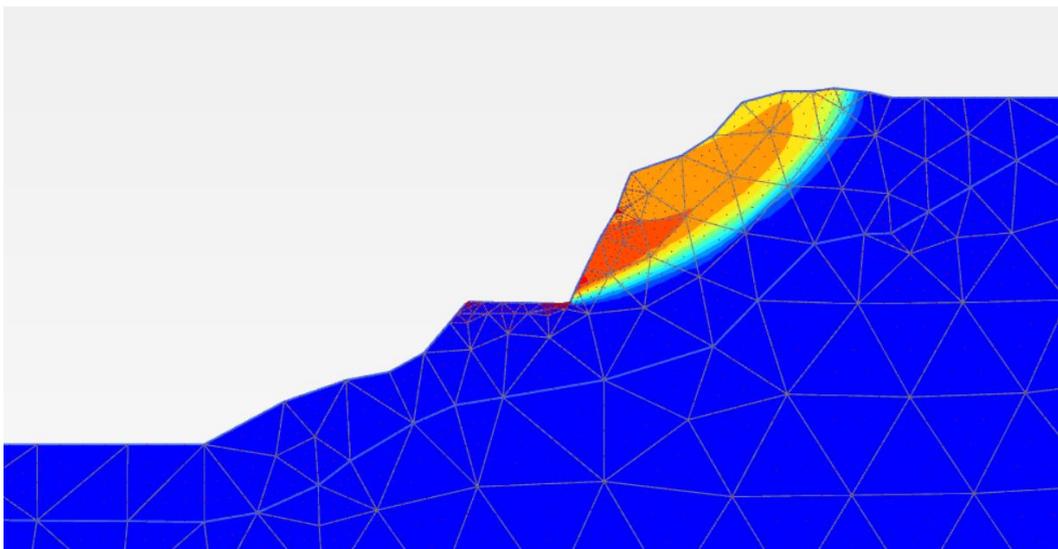


Figura N°25. Superficie de falla en condiciones estáticas – km 7+300 (Temporada de lluvias)
 Nota. Elaboración propia.

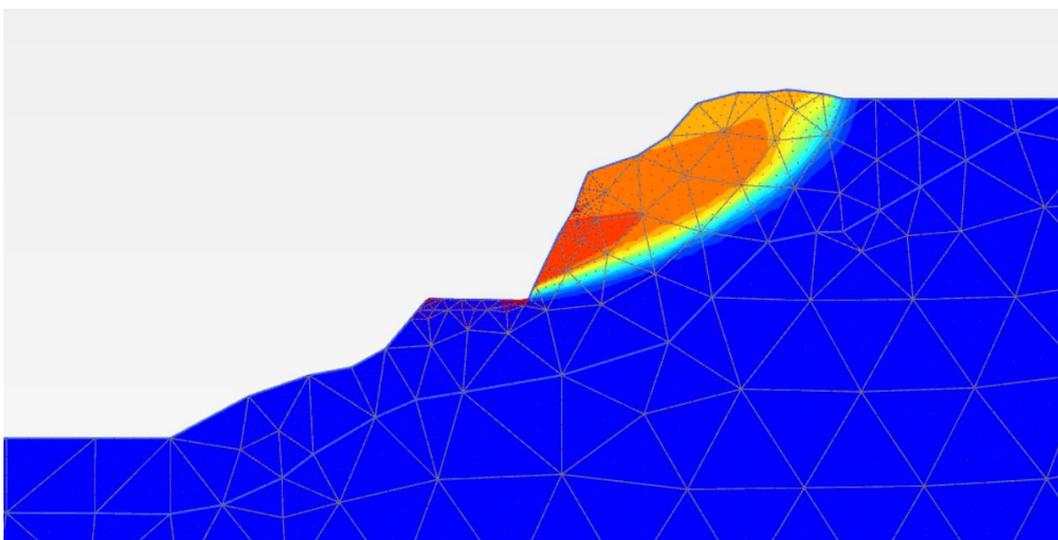


Figura N°26. Superficie de falla en condiciones pseudoestáticas – km 7+300 (Temporada de lluvias)
 Nota. Elaboración propia.

Los factores de seguridad provenientes del análisis de estabilidad son los siguientes:

Tabla 15.
 Factores de seguridad para la sección km 7+300

Condición	Caso Estático	Caso Pseudoestático
Temporada seca	1.433	1.167
Temporada de lluvias	1.401	1.099

Nota. Elaboración propia.

A continuación, se muestra un resumen de los factores de seguridad obtenidos:

Tabla 16.

Resumen de los factores de seguridad obtenidos

Progresiva	Condición	Caso Estático	Caso Pseudoestático
7+200	Temporada seca	1.547	1.267
	Temporada de lluvias	1.491	1.080
7+240	Temporada seca	1.322	1.058
	Temporada de lluvias	1.318	1.030
7+280	Temporada seca	1.411	1.118
	Temporada de lluvias	1.297	1.038
7+300	Temporada seca	1.433	1.167
	Temporada de lluvias	1.401	1.099

Nota. Elaboración propia.

4.2.2. Análisis de deformaciones

El análisis de deformaciones se realizó en cada una de las secciones de análisis, considerándose 3 puntos de control en cada una de ellas para verificar las deformaciones horizontales, verticales y totales. Para la sección km 7+200 se obtuvieron los siguientes resultados:

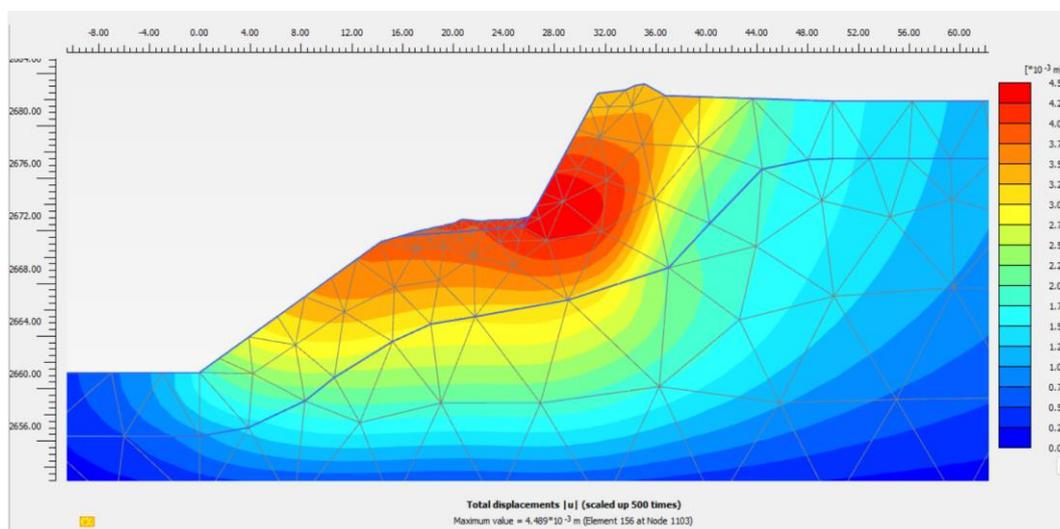


Figura N°27. Deformaciones totales en condiciones estáticas – km 7+200

Nota. Elaboración propia.

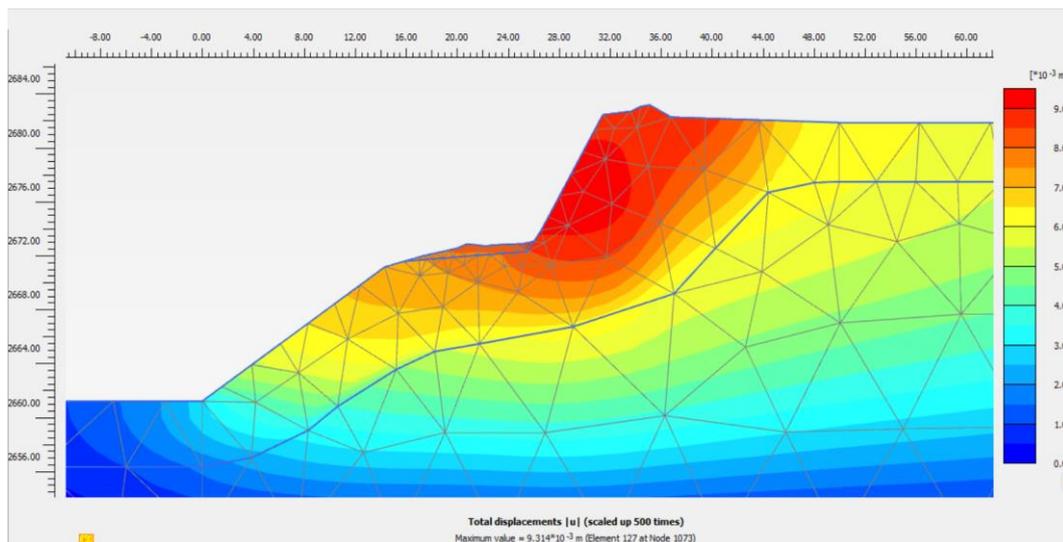


Figura N°28. Deformaciones totales en condiciones pseudoestáticas – km 7+200

Nota. Elaboración propia.

Por otro lado, se muestran las deformaciones horizontales, verticales y totales en la siguiente tabla:

Tabla 17.

Deformaciones en la sección de análisis – km 7+200

Descripción	Nodos	Condición	u_x [m]	u_y [m]	u [m]
Talud Superior	849	Estática	-1.35E-03	1.42E-04	1.36E-03
		Pseudoestática	-6.73E-03	-7.24E-05	6.73E-03
Carretera	1219	Estática	-2.73E-03	4.06E-04	2.76E-03
		Pseudoestática	-7.03E-03	2.59E-05	7.03E-03
Talud Inferior	1881	Estática	-2.60E-03	1.28E-04	2.60E-03
		Pseudoestática	-5.86E-03	-1.67E-05	5.86E-03

Nota. Elaboración propia.

Para la sección km 7+240 se obtuvieron los siguientes resultados:

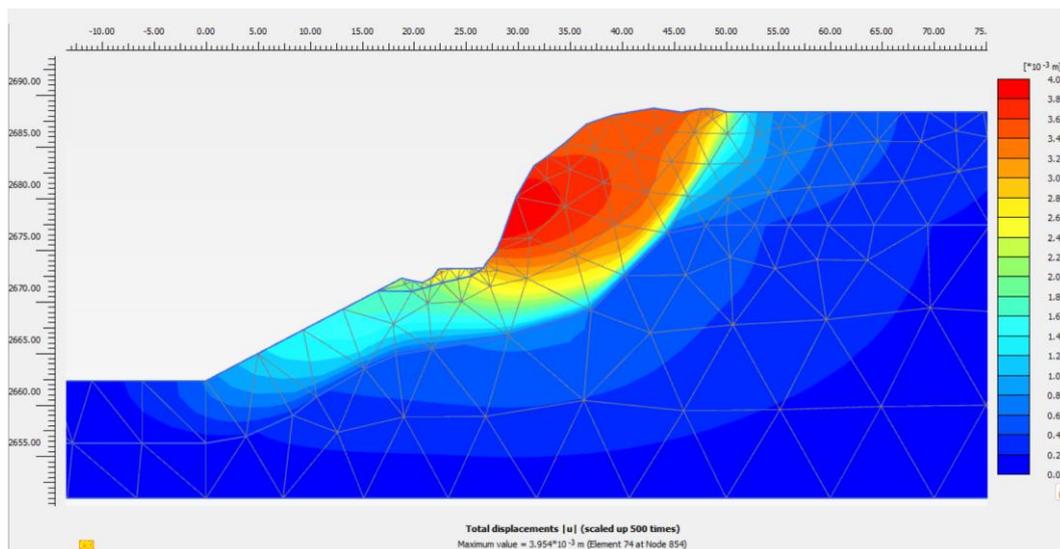


Figura N°29. Deformaciones totales en condiciones estáticas – km 7+240
 Nota. Elaboración propia.

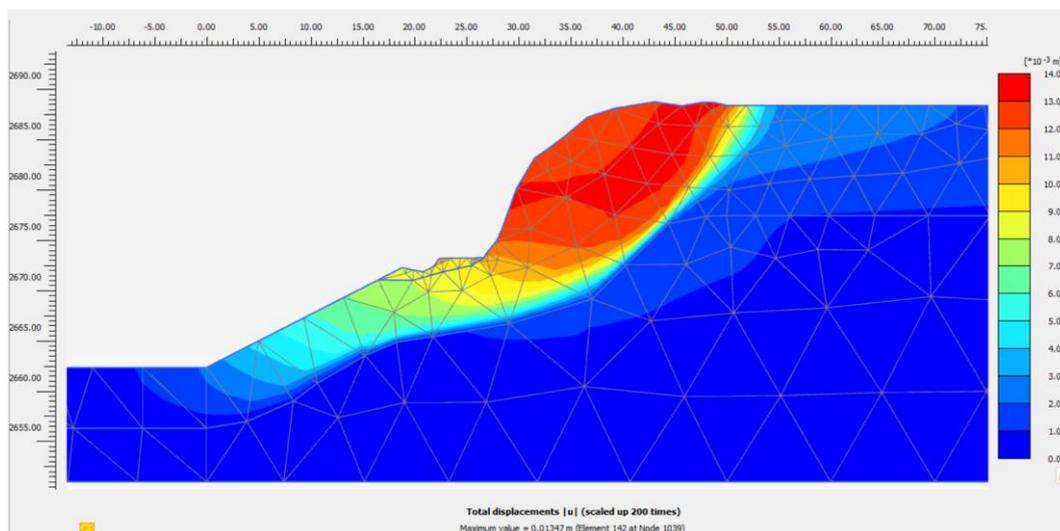


Figura N°30. Deformaciones totales en condiciones pseudoestáticas – km 7+240
 Nota. Elaboración propia.

Por otro lado, se muestran las deformaciones horizontales, verticales y totales en la siguiente tabla:

Tabla 18.
 Deformaciones en la sección de análisis – km 7+240

Descripción	Nodos	Condición	u_x [m]	u_y [m]	u [m]
Talud Superior	987	Estática	-3.20E-03	-9.83E-04	3.35E-03
		Pseudoestática	-1.07E-02	-1.42E-03	1.08E-02
Carretera	498	Estática	-3.99E-03	2.47E-04	3.99E-03
		Pseudoestática	-1.03E-02	-1.09E-03	1.03E-02
Talud Inferior	285	Estática	-3.37E-03	6.76E-05	3.37E-03
		Pseudoestática	-6.87E-03	-1.31E-04	6.87E-03

Nota. Elaboración propia.

Para la sección km 7+280 se obtuvieron los siguientes resultados:

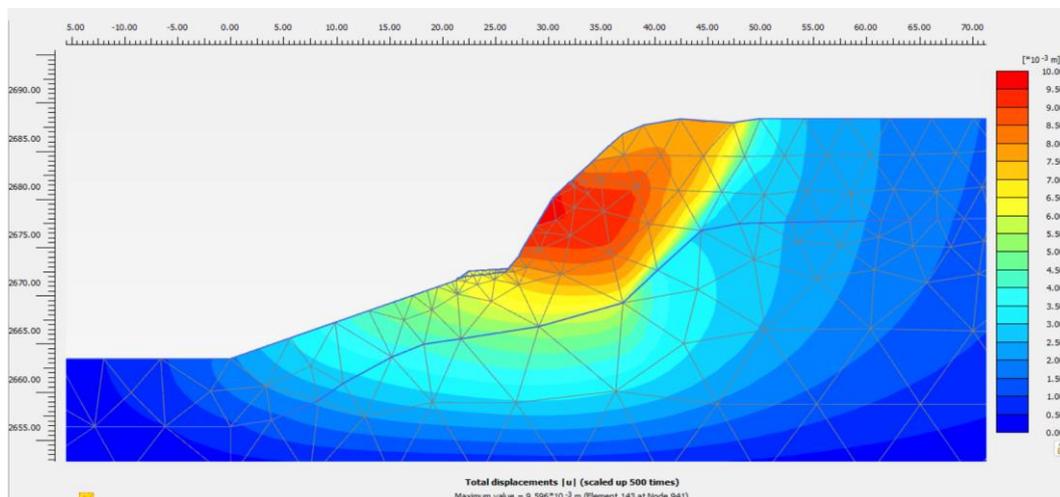


Figura N°31. Deformaciones totales en condiciones estáticas – km 7+280
 Nota. Elaboración propia.

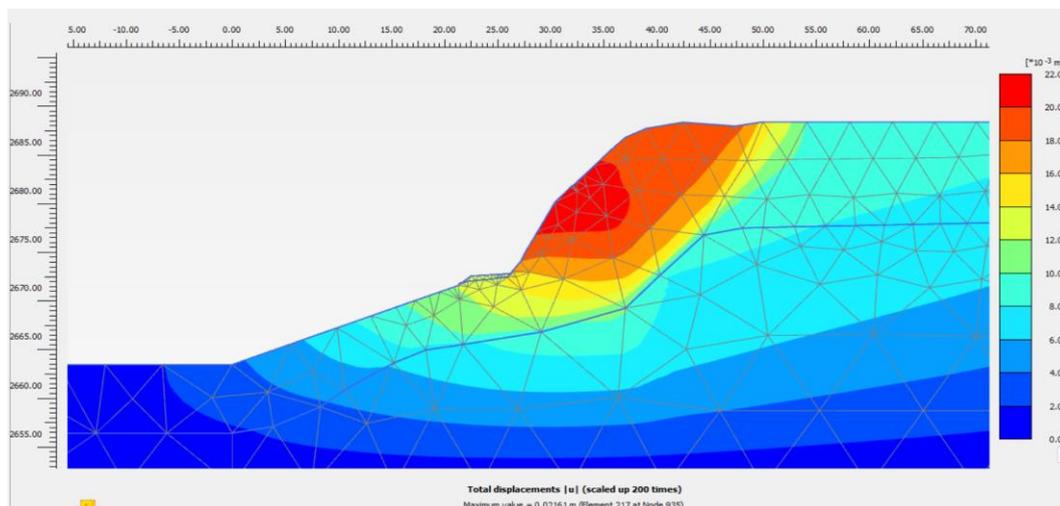


Figura N°32. Deformaciones totales en condiciones pseudoestáticas – km 7+280
 Nota. Elaboración propia.

Por otro lado, se muestran las deformaciones horizontales, verticales y totales en la siguiente tabla:

Tabla 19.
 Deformaciones en la sección de análisis – km 7+280

Descripción	Nodos	Condición	u_x [m]	u_y [m]	u [m]
Talud Superior	1434	Estática	-2.84E-03	-4.10E-04	2.87E-03
		Pseudoestática	-1.01E-02	-7.55E-04	1.01E-02
Carretera	553	Estática	-3.72E-03	4.11E-04	3.74E-03
		Pseudoestática	-8.14E-03	-1.47E-04	8.14E-03
Talud Inferior	399	Estática	-3.43E-03	3.27E-04	3.45E-03
		Pseudoestática	-7.27E-03	1.58E-05	7.27E-03

Nota. Elaboración propia.

Para la sección km 7+300 se obtuvieron los siguientes resultados:

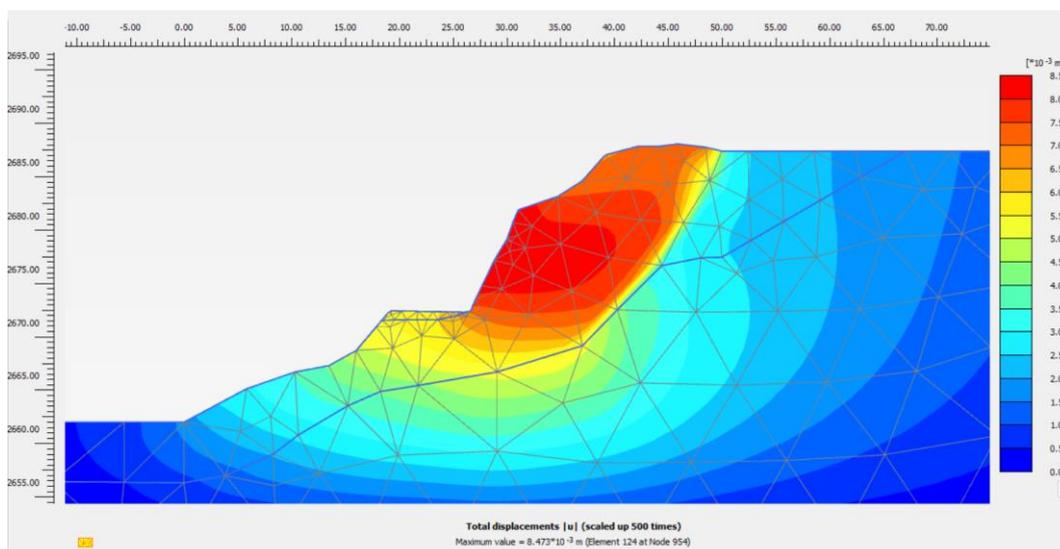


Figura N°33. Deformaciones totales en condiciones estáticas – km 7+300
 Nota. Elaboración propia.

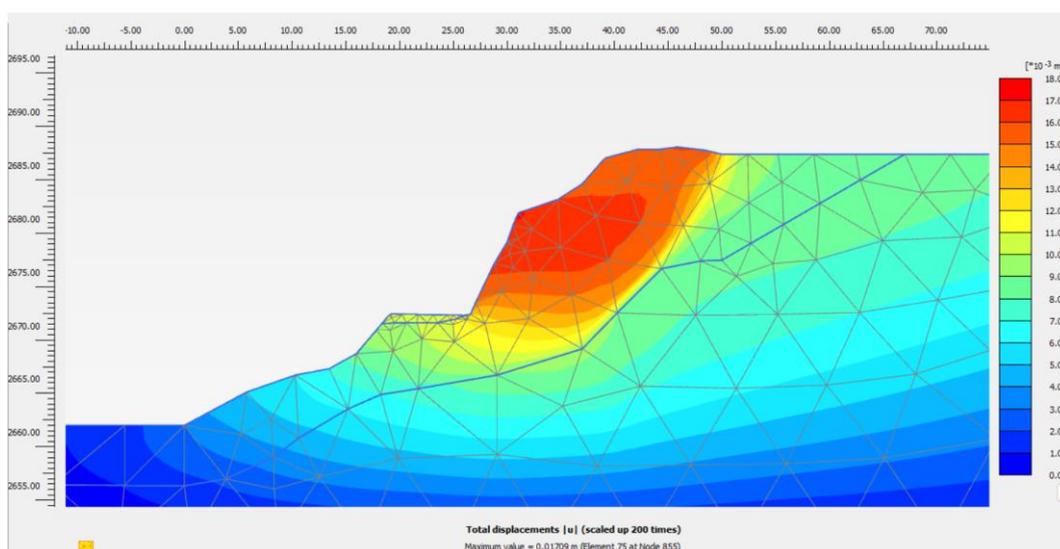


Figura N°34. Deformaciones totales en condiciones pseudoestáticas – km 7+300
 Nota. Elaboración propia.

Por otro lado, se muestran las deformaciones horizontales, verticales y totales en la siguiente tabla:

Tabla 20.
 Deformaciones en la sección de análisis – km 7+300

Descripción	Condición	u_x [m]	u_y [m]	u [m]
Talud Superior	Estática	-2.89E-03	-5.25E-04	2.94E-03
	Pseudoestática	-9.96E-03	-8.29E-04	9.99E-03
Carretera	Estática	-3.39E-03	3.18E-04	3.41E-03
	Pseudoestática	-7.85E-03	-1.47E-04	7.85E-03
Talud Inferior	Estática	-3.18E-03	3.86E-04	3.20E-03
	Pseudoestática	-6.80E-03	6.56E-05	6.80E-03

Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El tramo de la carretera (zona de estudio) tiene como formación geológica principal a la formación Contaya del área de Pataz. Esta formación aflora en los dos lados del valle del Marañón, consiste de varios cientos de metros de lutitas y pizarras negras o gris oscuras en láminas y capas delgadas, en las cuales se intercalan escasas capas delgadas de cuarcita. Las relaciones estratigráficas de la formación Contaya son las siguientes: la base de la formación es una discordancia angular debajo de la cual afloran rocas metamórficas del Complejo del Marañón. Hay una diferencia notable en el grado de metamorfismo entre la formación Contaya y los mica-esquistos subyacentes, pues aunque hay abundante cubierta no existe dificultad en ubicar el contacto.

Para determinar los estratos superficiales se proyectaron investigaciones geotécnicas como calicatas y trincheras. Por otro lado, para los estratos profundos se planteó un ensayo geofísico: MASW 1D.

Con esta caracterización geotécnica, se determinaron 3 unidades geotécnicas:

Unidad Geotécnica 1: La unidad geotécnica 1 presenta una densidad de 23 kN/m³, una cohesión de 4.5 kPa y un ángulo de fricción de 35°. Además, se presenta una relación de Poisson de 0.30. Por otro lado, presenta velocidades de corte entre 343 m/s y 665 m/s, teniendo una velocidad representativa de 504 m/s. Se realizó un ensayo triaxial del cual se determinaron los parámetros de resistencia y los parámetros elásticos como la rigidez al 50% del esfuerzo de rotura, el cual tiene un valor de 7101 KPa. Debido a la data disponible en esta unidad geotécnica y al tipo de suelo (granular), se determinó que se usará un modelo constitutivo Mohr Coulomb. Este modelo sirve para analizar diferentes tipos de suelo, tanto blandos como rígidos / duros, el cual a diferencia del modelo Mohr Coulomb, puede analizar una serie de no linealidades (elásticas y plásticas). Este modelo emplea y considera diferentes componentes de la rigidez del suelo, los cuales deberán ser calibrados y calculados.

Unidad Geotécnica 2: La unidad geotécnica 2 presenta una densidad de 22 kN/m³, una cohesión de 24 kPa y un ángulo de fricción de 35.8°. Además, se presenta una relación de Poisson de 0.29. Por otro lado, presenta velocidades de corte entre 611 m/s y 888 m/s, teniendo una velocidad representativa de 888 m/s. Para el modelamiento numérico se utilizó el modelo constitutivo Mohr Coulomb

debido a su naturaleza de roca de altamente fracturada a moderadamente fracturada.

Unidad Geotécnica 3: La unidad geotécnica 3 presenta una densidad de 25 kN/m³, una cohesión de 80 kPa y un ángulo de fricción de 42°. Además, se presenta una relación de Poisson de 0.25. Por otro lado, presenta velocidades de corte entre 734 m/s y 1280 m/s, teniendo una velocidad representativa de 1007 m/s. Para el modelamiento numérico se utilizó el modelo constitutivo Mohr Coulomb debido a que es una matriz rocosa.

Se realizó el análisis de estabilidad de los taludes en 4 secciones típicas presentes en el tramo de estudio, de las cuales tenemos lo siguiente:

Sección 7+200: Se realizó el análisis para casos estáticos y pseudoestáticos con el método Phi/C Reduction considerando 2 condiciones principales (temporada seca y temporada de lluvias). El análisis de estabilidad indicó que para la temporada seca se obtuvo un factor de seguridad de 1.547 en caso estático y 1.267 para caso pseudoestático. Por otro lado, para temporada de lluvias se obtuvo un factor de seguridad de 1.491 en caso estático y 1.080 en caso pseudoestático. Se observa, en temporada de lluvias no se cumple con el factor de seguridad mínimo en el caso pseudoestático, lo cual indica que requiere una medida de mitigación en este sector (implementación del drenaje del talud, estabilización u optimización del talud existente). Además del análisis Phi / C Reduction para determinar el factor de seguridad por cada sección, se realizó un análisis de deformaciones plásticas el cual indicó que la mayor deformación para el caso estático se presenta en el talud superior con una deformación de 0.0045 m para condiciones de lluvia, la mayor deformación para el caso pseudoestático se presenta en el talud superior con una deformación de 0.0093 m para la temporada de lluvias.

Sección 7+240: Se realizó el análisis para casos estáticos y pseudoestáticos con el método Phi/C Reduction considerando 2 condiciones principales (temporada seca y temporada de lluvias). El análisis de estabilidad indicó que para la temporada seca se obtuvo un factor de seguridad de 1.322 en caso estático y 1.058 para caso pseudoestático. Por otro lado, para temporada de lluvias se obtuvo un factor de seguridad de 1.318 en caso estático y 1.030 en caso

pseudoestático. Se observa que, en temporadas secas y de lluvias no se cumple con el factor de seguridad mínimo en el caso pseudoestático, lo cual indica que requiere una medida de mitigación en este sector (implementación de drenaje del talud, estabilización u optimización del talud existente). Además del análisis Phi / C Reduction para determinar el factor de seguridad por cada sección, se realizó un análisis de deformaciones plásticas el cual indicó que la mayor deformación para el caso estático se presenta en el talud superior con una deformación de 0.0039 m para condiciones de lluvia, la mayor deformación para el caso pseudoestático se presenta en el talud superior con una deformación de 0.013 m para la temporada de lluvias.

Sección 7+280: Se realizó el análisis para casos estáticos y pseudoestáticos con el método Phi/C Reduction considerando 2 condiciones principales (temporada seca y temporada de lluvias). El análisis de estabilidad indicó que para la temporada seca se obtuvo un factor de seguridad de 1.411 en caso estático y 1.118 para caso pseudoestático. Por otro lado, para temporada de lluvias se obtuvo un factor de seguridad de 1.297 en caso estático y 1.038 en caso pseudoestático. Sin embargo, en temporadas de lluvias no se cumple con el factor de seguridad mínimo en el caso estático y pseudoestático, lo cual indica que requiere una medida de mitigación en este sector (implementación del drenaje del talud, estabilización u optimización del talud existente). Además del análisis Phi / C Reduction para determinar el factor de seguridad por cada sección, se realizó un análisis de deformaciones plásticas el cual indicó que la mayor deformación para el caso estático se presenta en el talud superior con una deformación de 0.0096 m para condiciones de lluvia, la mayor deformación para el caso pseudoestático se presenta en el talud superior con una deformación de 0.022 m para la temporada de lluvias.

Sección 7+300: Se realizó el análisis para casos estáticos y pseudoestáticos con el método Phi/C Reduction considerando 2 condiciones principales (temporada seca y temporada de lluvias). El análisis de estabilidad indicó que para la temporada seca se obtuvo un factor de seguridad de 1.433 en caso estático y 1.167 para caso pseudoestático. Por otro lado, para temporada de lluvias se obtuvo un factor de seguridad de 1.401 en caso estático y 1.099 en caso pseudoestático. Se aprecia que, en temporada de lluvias no se cumple con el

factor de seguridad mínimo en el caso pseudoestático, lo cual indica que requiere una medida de mitigación en este sector (implementación del drenaje del talud, estabilidad u optimización del talud existente). Además del análisis Phi / C Reduction para determinar el factor de seguridad por cada sección, se realizó un análisis de deformaciones plásticas el cual indicó que la mayor deformación para el caso estático se presenta en el talud superior con una deformación de 0.0014 m para condiciones de lluvia, la mayor deformación para el caso pseudoestático se presenta en el talud superior con una deformación de 0.0011 m para la temporada de lluvias.

CONCLUSIONES

El área de investigación está relacionada a la formación Contaya que está compuesta por rocas tipo lutitas y areniscas.

La caracterización geotécnica del área de estudio se realizó mediante exploraciones directas y ensayos geofísicos MASW 1D y refracción sísmica, con los cuales se identificaron tres unidades geotécnicas UG-1, UG-2 y UG-3 con propiedades distintas que se obtuvieron mediante ensayos de laboratorio, las cuales fueron modeladas utilizando el criterio de Mohr Coulomb. Esta caracterización permitió obtener parámetros representativos de resistencia y deformación, esenciales para el análisis de estabilidad, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Simbología	UG-1	UG-2	UG-3
γ_{unsat}	23 kN/m ³	22 kN/m ³	25.5 kN/m ³
γ_{sat}	24 kN/m ³	23 kN/m ³	26.5 kN/m ³
C'	4.5 24 kPa	24 kN/m ³	80 kN/m ³
ϕ'	35°	35.8°	42°
ψ	5°	5.8°	12°
E50	7101.14 kPa	437000 kPa	801000 kPa
ν_{ur}	0.3	0.29	0.25
Abrasión (%)	-	81.1	-

La aplicación del software PLAXIS 2D permitió una evaluación detallada de la estabilidad de los taludes en el tramo de la carretera Tayapampa - Alto Succha (km. 7+200 – km. 7+320). Se identificaron cuatro secciones críticas (7+200, 7+240, 7+280 y 7+300), para las cuales se realizaron análisis en condiciones estáticas y pseudoestáticas bajo diferentes escenarios climáticos (temporada seca y temporada de lluvias) en donde se obtuvieron los siguientes resultados:

Progresiva	Condición	Caso Estático	Caso Pseudoestático
7+200	Temporada seca	1.547	1.267
	Temporada de lluvias	1.491	1.080
7+240	Temporada seca	1.322	1.058
	Temporada de lluvias	1.318	1.030
7+280	Temporada seca	1.411	1.118
	Temporada de lluvias	1.297	1.038
7+300	Temporada seca	1.433	1.167
	Temporada de lluvias	1.401	1.099

Se concluye que los resultados para condiciones pseudoestáticas, especialmente durante la temporada de lluvias, indicaron que en varias secciones (7+200, 7+240, 7+280 y 7+300), los factores de seguridad no cumplen con los mínimos requeridos según la normativa AASHTO vigente. Esto sugiere una vulnerabilidad a deslizamientos bajo eventos sísmicos o lluvias intensas, requiriendo medidas de mitigación como la implementación de drenajes, estabilización de taludes y optimización de los mismos.

Se concluye que se realizó el análisis de deformaciones mediante el software PLAXIS 2D para las secciones en análisis y se determinaron las deformaciones máximas las cuales se dieron en temporadas de lluvia tanto para condiciones estáticas como pseudoestáticas, obteniéndose los siguientes resultados:

Progresiva	Condición	Caso Estático	Caso Pseudoestático
7+200	Temporada de lluvias	0.0045m	0.009m
7+240	Temporada de lluvias	0.0039m	0.013m
7+280	Temporada de lluvias	0.0096m	0.022m
7+300	Temporada de lluvias	0.0014m	0.0011m

RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar un sistema de monitoreo constante en las áreas críticas del talud evaluado, utilizando instrumentos para detectar movimientos y cambios en las condiciones de saturación del suelo, lo que permitirá tomar decisiones preventivas. Además, se aconseja revisar y, de ser necesario, modificar las técnicas de construcción empleadas en la carretera Tayapampa - Alto Succha, aplicando técnicas de reforzamiento en las secciones con factores de seguridad bajos. Es fundamental capacitar al personal encargado del mantenimiento y monitoreo de los taludes en métodos y tecnologías recientes para la gestión de riesgos geotécnicos, asegurando así una correcta interpretación de los datos y toma de decisiones.

También se sugiere llevar a cabo investigaciones adicionales que incluyan la modelación tridimensional de los taludes y la exploración de diferentes modelos constitutivos. Finalmente, se recomienda establecer un programa de mantenimiento regular para la carretera y sus taludes, incluyendo la inspección de drenajes y la remoción de vegetación que podría afectar la estabilidad del talud, asegurando así la mitigación de riesgos a corto y largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdullah, G. (2022). Using Plaxis 2D finite element modeling to assess bearing capacity of Sultana's soil in Najran Region, Kingdom of Saudi Arabia. *Materials Today: Proceedings*, 49(7), 2679–2687. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.051>
- Alcántara, E. (2017). *Aplicación de los métodos de equilibrio límite, elementos finitos y diferencias finitas en el comportamiento de laderas y taludes sector Calispuquio-Cajamarca* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1390>
- Alsharedah, Y., Naggar, M., & Ahmed, A. (2023). Improving tailings dam safety via soil treatment. *Sustainability*, 15(21), 15276. <https://doi.org/10.3390/su152115276>
- Arias, J., Holgado, J., Tafur, T., & Vasquez, M. (2022). *Metodología de la investigación: El método ARIAS para realizar un proyecto de tesis*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C.
- Armijo, I., Aspillaga, C., Bustos, C., Calderón, A., Cortés, C., Fossa, P., Melipillan, R., Sánchez, A., & Vivanco, A. (2021). *Manual de metodología de investigación*. Universidad del Desarrollo.
- Balbis, A., & Cerutti, J. (2022). Evaluación geotécnica de taludes viales: Caso de estudio: Ruta Provincial E-53 entre PK 24+000 a 25+600 (Córdoba, Argentina). *Revista Redalyc*. <https://doi.org/10.4322/cobramseg.2022.0830>
- Bower, T., Jefferson, A., & Cleall, P. (2020). A reformulated hardening soil model. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering and Computational Mechanics*, 173(1), 11–29. <https://doi.org/10.1680/jencom.18.00054>
- Chittravel, S., Otsubo, M., Kono, M., & Kuwano, R. (2022). Post-erosion mechanical responses of internally unstable gap-graded soil under drained torsional simple shear and triaxial compression. *Soils and Foundations*, 62, 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2022.101224>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. (2022). *Estadística - Infraestructura de transportes - Infraestructura vial*. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/344790-estadistica-infraestructura-de-transportes-infraestructura-vial>
- Cuyutupa, F. (2019). *Evaluación geomecánica con fines de estabilidad de talud carretera Mariscal Castilla Huancayo - Huancavelica* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes]. Repositorio UPLA. <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/926>
- Fernández, J., Purihuaman, C., López, O., & Sánchez, M. (2021). *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Colloquium Editores.
- Frank, C. V., & Alva Pretel, D. A. (2022). *Diseño de estabilidad del talud mediante los softwares Slide y Plaxis en la carretera PE-10A sector Plazapampa en el año 2021* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio RENATI-SUNEDU. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3206295>
- Garay Vásquez, J. A. (2018). *Comparación de métodos de estabilidad de taludes por equilibrio límite y por métodos numéricos en condiciones de carga*

- estática y pseudo-estática* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/25115>
- Glad, A., Amour, F., Welch, M., Clausen, O., & Anderskov, K. (2022). Natural fractures and discontinuities in a Lower Cretaceous chalk-marlstone reservoir, Valdemar Field, Danish North Sea. *Marine and Petroleum Geology*, 136, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2021.105445>
- González, L. (2002). *Ingeniería geológica*. Pearson Educación.
- Goodman, R. (1989). *Introduction to rock mechanics*. Wiley.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill Education.
- Kan, K., & Francois, B. (2023). Triaxial tension and compression tests on saturated lime-treated plastic clay upon consolidated undrained conditions. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 19, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.irmge.2023.03.017>
- Kawa, M., Puła, W., & Truty, A. (2021). Probabilistic analysis of the diaphragm wall using the hardening soil-small (HSs) model. *Engineering Structures*, 232, 111869. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.111869>
- Li, T., Gong, W., & Yang, X. (2021). Stability analysis of a non-circular tunnel face in soils characterized by modified Mohr-Coulomb yield criterion. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 109, 103785. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103785>
- Moreno, L., Muñoz, M., & Ramírez, R. (2019). Caracterización mecánica de suelos del perfil costero entre Ancón y Anconcito. *Revista Ciencia UNEMI*, 12(31), 40–53. <https://www.redalyc.org/journal/5826/582661248005/582661248005.pdf>
- Mucuta, H., Cartaya, M., & Watson, R. (2020). Evaluación de estabilidad en taludes del yacimiento Castellano mediante el cálculo del factor de seguridad. *Revista Cubana de Ciencias de la Tierra*, 36(4). http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1993-80122020000400441&script=sci_arttext
- Mulyadi, E., Lastiasih, Y., & Li, A. (2023). Numerical simulations of soil liquefaction using PLAXIS 2D. *Journal of Physics: Conference Series*, 2519, 012007. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2519/1/012007>
- Pérez, E. (2005). *Estabilidad de taludes*. Universidad Politécnica de Cataluña. https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250339/2015/Tema5--Taludes.pdf
- PLAXIS. (2024). *PLAXIS 2D 2024.1: Materials Models Manual*. Delft University of Technology & PLAXIS.
- Ruiz, C., & Valenzuela, M. (2022). *Metodología de la investigación*. Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo.
- Saleh, S., Yunus, N., Ahmad, K., & Said, K. (2021). Numerical simulation with hardening soil model parameters of marine clay obtained from conventional tests. *SN Applied Sciences*, 3(156), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-04115-w>
- Schwartzkopff, A., Sainoki, A., Bruning, T., & Karakus, M. (2023). A conceptual three-dimensional frictional model to predict the effect of the intermediate principal stress based on the Mohr-Coulomb and Hoek-Brown failure criteria. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 172, 105605. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2023.105605>

- SENCICO. (2016). *Actualización del programa de cómputo orientado a la determinación del peligro sísmico en el país*. SENCICO.
- Sukkarak, R., Likitlersuang, S., Jongpradist, P., & Jamsawang, P. (2021). Strength and stiffness parameters for hardening soil model of rockfill materials. *Soils and Foundations*, 61(6), 1597–1614. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2021.09.007>
- Tian, D., & Zheng, H. (2023). The generalized Mohr-Coulomb failure criterion. *Applied Sciences*, 13(9), 5405. <https://doi.org/10.3390/app13095405>
- Ticona Jove, G. C. (2021). *Criterio de caracterización geomecánica y análisis de estabilidad de macizos rocosos alterados* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/6be7ed9b-bb00-4ca0-983a-056661769c58>
- Wilson, J., & Reyes, L. (1964). *Geología del cuadrángulo de Pataz (Hoja 16-h)*. Boletín 9. Carta Geológica Nacional.
- Yépez, S., Ocampos, A., Espín, J., & Chulde, E. (2022). Evaluación geomecánica de la estabilidad de las cavernas Humanti, Archidona-Napo. *GEOLatitud*, 5(2). <https://geolatitud.geoenergja.gob.ec/ojs/ojs/index.php/GeoLatitud/article/view/140/104>
- Zou, L., & Cvetkovic, V. (2023). A new approach for predicting direct shear tests on rock fractures. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 168, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2023.105408>

ANEXOS

Anexo 1:	Ensayo triaxial Consolidado Drenado	72
Anexo 2:	Ensayo de corte directo ASTM D3080	82
Anexo 3:	Ensayos de Análisis granulométrico	84
Anexo 4:	Ensayos de Densidad y Peso unitario in situ	86
Anexo 5:	Peso específico	89
Anexo 6:	Limites de consistencia.....	93
Anexo 7:	Ensayo de abrasión máquina de los ángeles (ASTM C131)	95
Anexo 8:	Informe Técnico del ensayo de Prospección Geofísica por el método de Refracción Sísmica y MASW.....	96

Anexo 1: Ensayo triaxial Consolidado Drenado



INFORME	Código	GC24 TS
MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA PRUEBA DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CONSOLIDADO DRENADO PARA SUELOS ASTM D7183-20	Versión	00
	Fecha	01-10-2023
	Página	1 de 10

GECONSAC

Proyecto : EVALUACION DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA CARRETERA TAYAPAMPA-ALTO SUCCHA (KM. 7+200 - 7+320) APLICANDO EL SOFTWARE PLAXIS 2D Registro N° : GC24 TS

Solicitante : BACH DIEGO RUBEN CUEVAS CONTRERAS Muestreado por : Solicitante

Atención : Ensayado por : J. Quirozca U.

Ubicación de Proyecto : COCHORCO-SANCHEZ CARRION - LA LIBERTAD Fecha inicio de Ensayo : 18/05/2024

Material : GRAVA MAL GRADA CON LIMO Fecha fin de Ensayo : 25/05/2024

Material : GRAVA MAL GRADA CON LIMO

Sondaje : UG-1

N° de Muestra : M-1

Profundidad : 0.00 a 1.00 (m.)

DATOS INICIALES DE LOS ESPECIMENES

Especimen N°		1	2	3
Diámetro	(cm.)	10.00	10.00	10.00
Altura	(cm.)	20.00	20.00	20.00
Densidad húmeda	(g/cm ³)	2.102	2.078	2.034
Humedad	(%)	6.90	6.70	5.93
Densidad seca	(g/cm ³)	1.966	1.947	1.920
Relación de vacíos		0.35	0.36	0.38
Grado de saturación	(%)	62.60	60.20	11.20

DATOS FINALES DE LOS ESPECIMENES

Densidad húmeda	(g/cm ³)	2.328	2.262	2.368
Humedad	(%)	9.15	11.61	7.77
Densidad seca	(g/cm ³)	2.133	2.027	2.198
Relación de vacíos		0.24	0.51	0.21
Grado de saturación	(%)	100.0	100.0	100.0

DATOS DEL ENSAYO

Velocidad de deformación	(mm/min.)	0.13	0.13	0.13
Presión de celda	(kg/cm ²)	3.50	4.00	5.00
Contrapresión	(kg/cm ²)	3.00	3.00	3.00
Parámetro B	(%)	96.4	86.0	100.0
Presión efectiva de confinamiento	(kg/cm ²)	0.50	1.00	2.00

MAXIMO ESFUERZO DESVIADOR

$\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$	(kg/cm ²)	1.44	2.84	4.58
Δu	(kg/cm ²)	0.00	0.00	0.00
ϵ	%	16.16	17.51	16.81

MAXIMA RELACION DE TENSIONES

σ_1 / σ_3'	(kg/cm ²)	3.69	3.85	3.27
$\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$	(kg/cm ²)	1.35	2.85	4.54
Δu	(kg/cm ²)	0.00	0.00	0.00
ϵ	%	15.51	16.82	16.24

OBSERVACIONES:

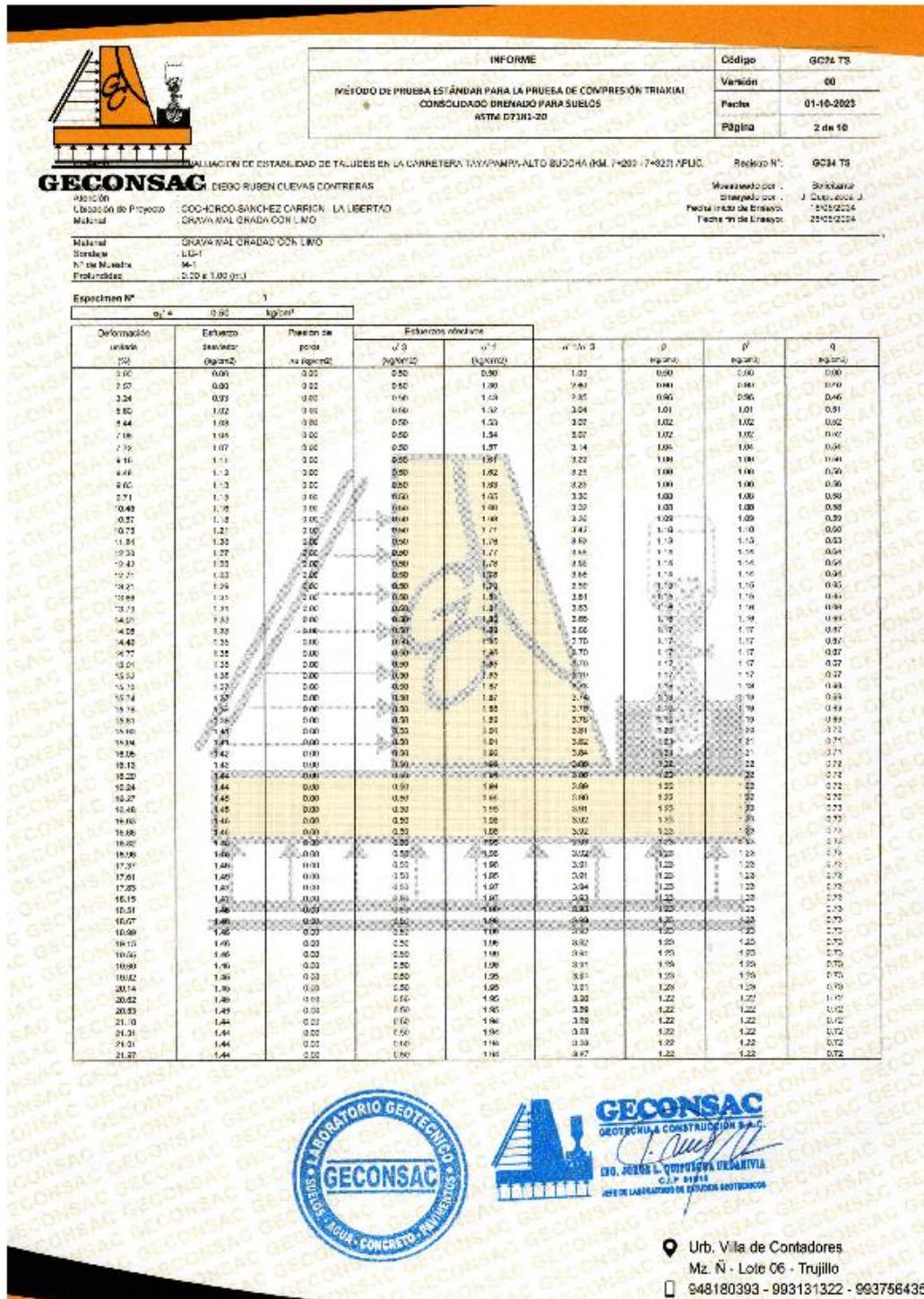
Muestra Remoldeada a la densidad seca de 2.09 +/- 0.03 g/cm³ y contenido de humedad de 5.1 +/- 0.3%

A solicitud del cliente la muestra fue cortada por el tamiz 3/4" para realizar el remoldeo de muestras




📍 Urb. Villa de Contadores
Mz. N - Lote 06 - Trujillo

☎ 948180393 - 993131322 - 993756435





INFORME

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA PRUEBA DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CONSOLIDADO
DRENADO PARA SUELOS
ASTM D7181-20

Código	GC24 TS
Versión	00
Fecha	01-10-2023
Página	3 de 10

Proyecto : EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA CARRETERA TAYAPAMPA-ALTO SUCCHA (KM. 7+200 - 7+320) APLIC.

Solicitante : BACH. DIEGO RUBEN CUEVAS CONTRERAS

Atención : -

Ubicación de Proyecto : COCHORCO-SANCHEZ CARRION - LA LIBERTAD

Materiales : GRAVA MAL GRADA CON LIMO

Método : GRAVA MAL GRADA CON LIMO

Sondaje : UG-1

N° de Muestra : M-1

Profundidad : 0.00 a 1.00 (m.)

Registro N° : GC24 TS

Muestreador por : J. Quirozcos U.

Ensayado por : J. Quirozcos U.

Fecha Inicial de Ensayo : 18/05/2024

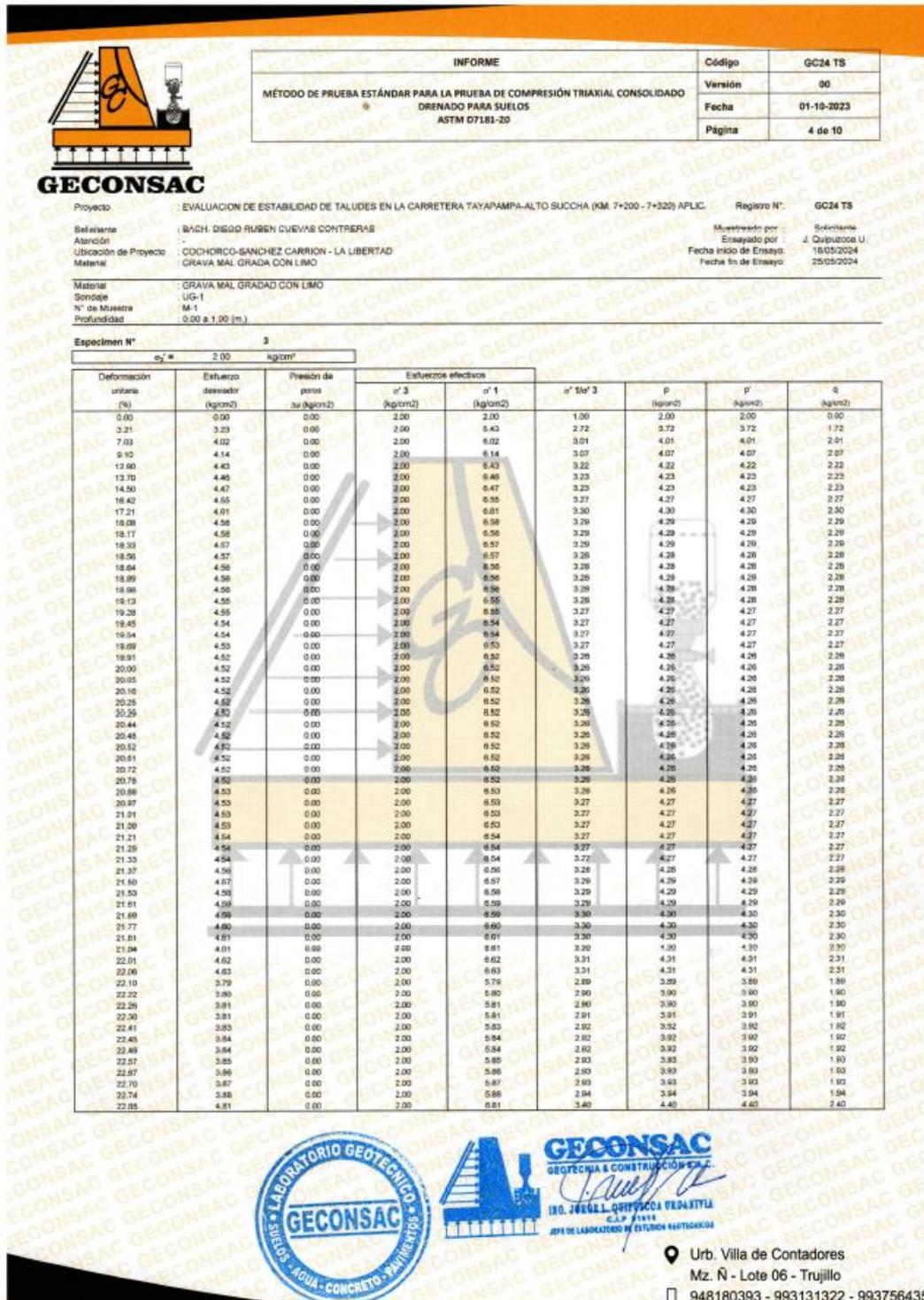
Fecha Final de Ensayo : 25/05/2024

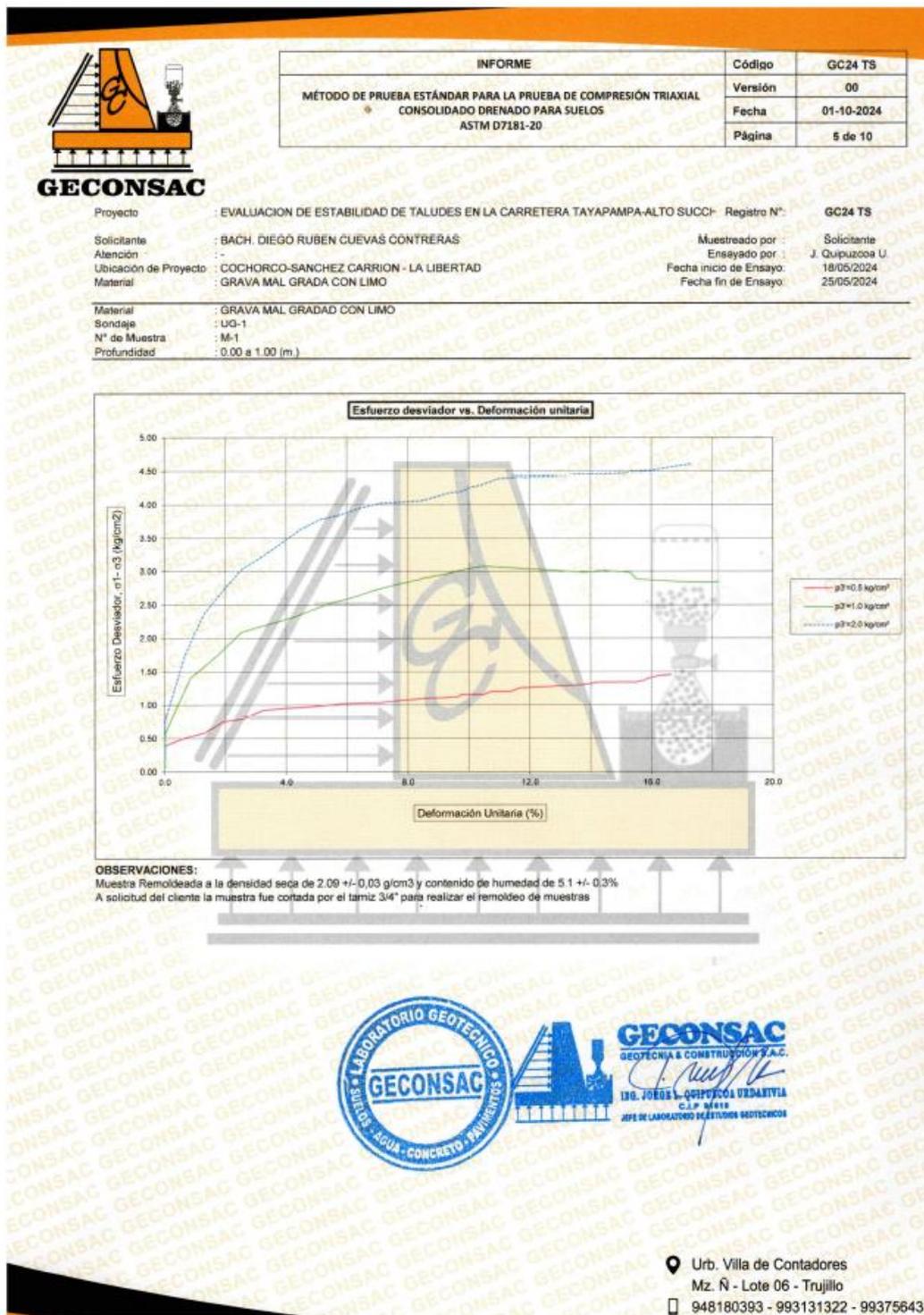
Especimen N° : 2

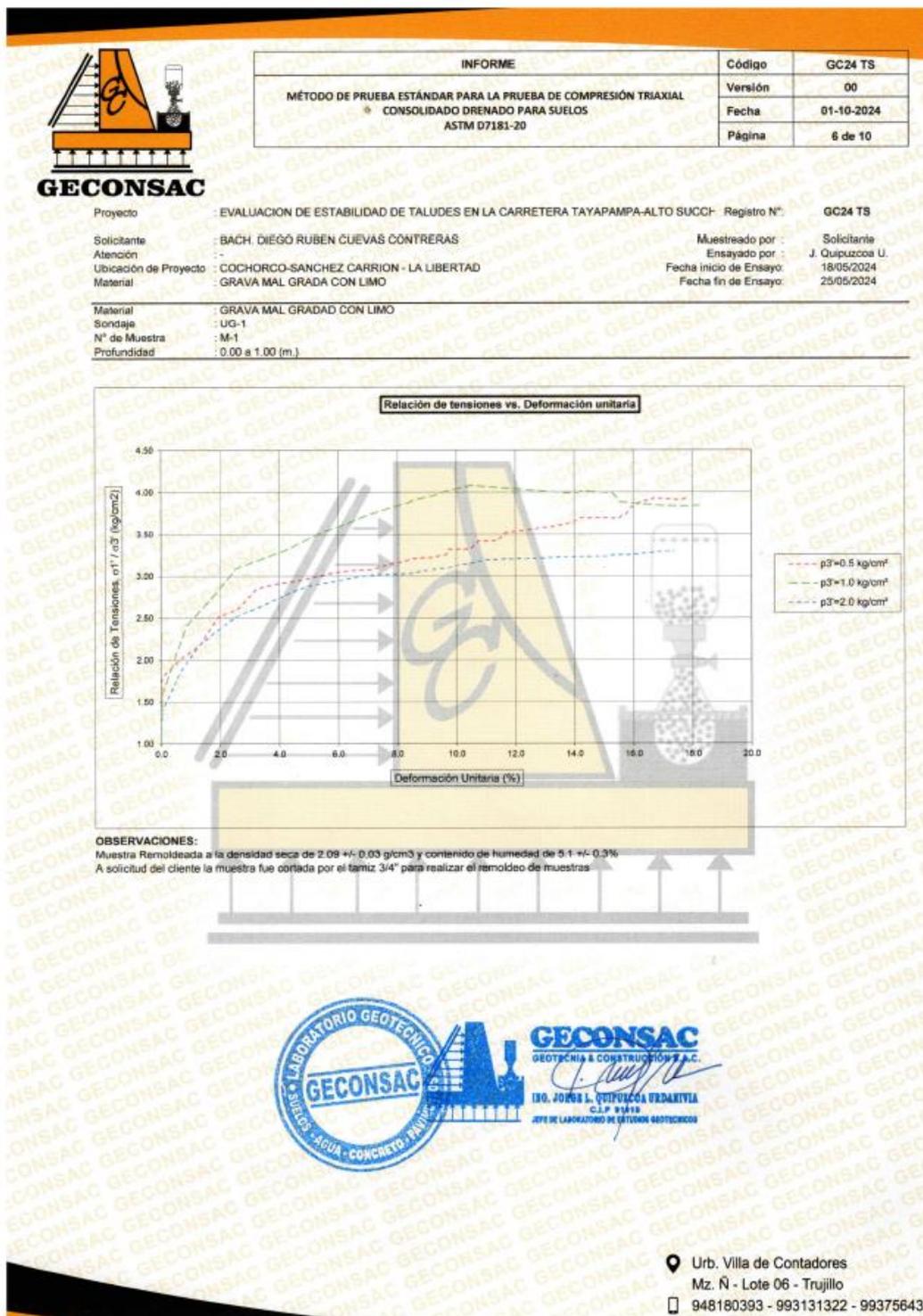
Deformación unitaria (%)	Esfuerzo seccional (kg/cm ²)	Presión de poros (kg/cm ²)	Esfuerzos efectivos			p (kg/cm ²)	q' (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)
			σ' ₁ (kg/cm ²)	σ' ₂ (kg/cm ²)	σ' ₃ (kg/cm ²)			
0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
3.36	2.20	0.00	1.00	3.20	3.20	2.19	2.10	1.10
5.52	2.54	0.00	1.00	3.54	3.54	2.27	2.27	1.27
6.36	2.84	0.00	1.00	3.64	3.64	2.32	2.32	1.32
7.20	2.76	0.00	1.00	3.76	3.76	2.38	2.38	1.38
7.92	2.90	0.00	1.00	3.80	3.80	2.40	2.40	1.40
7.92	2.83	0.00	1.00	3.83	3.83	2.42	2.42	1.42
8.35	2.98	0.00	1.00	3.88	3.88	2.44	2.44	1.44
8.77	2.93	0.00	1.00	3.93	3.93	2.45	2.45	1.45
9.20	2.96	0.00	1.00	3.96	3.96	2.46	2.46	1.46
9.50	3.01	0.00	1.00	4.01	4.01	2.51	2.51	1.51
8.92	3.03	0.00	1.00	4.03	4.03	2.51	2.51	1.51
10.95	3.08	0.00	1.00	4.08	4.08	2.54	2.54	1.54
13.84	2.99	0.00	1.00	3.99	3.99	2.49	2.49	1.49
14.13	2.99	0.00	1.00	3.99	3.99	2.50	2.50	1.50
14.15	3.00	0.00	1.00	4.00	4.00	2.50	2.50	1.50
14.18	3.01	0.00	1.00	4.01	4.01	2.51	2.51	1.51
14.27	3.01	0.00	1.00	4.01	4.01	2.51	2.51	1.51
14.40	3.01	0.00	1.00	4.01	4.01	2.51	2.51	1.51
14.48	3.01	0.00	1.00	4.01	4.01	2.51	2.51	1.51
14.62	3.01	0.00	1.00	4.01	4.01	2.51	2.51	1.51
14.82	3.00	0.00	1.00	4.00	4.00	2.50	2.50	1.50
15.85	2.88	0.00	1.00	3.88	3.88	2.44	2.44	1.44
16.86	2.88	0.00	1.00	3.88	3.88	2.44	2.44	1.44
16.90	2.87	0.00	1.00	3.87	3.87	2.44	2.44	1.44
16.34	2.88	0.00	1.00	3.88	3.88	2.43	2.43	1.43
16.82	2.86	0.00	1.00	3.86	3.86	2.43	2.43	1.43
17.10	2.84	0.00	1.00	3.84	3.84	2.42	2.42	1.42
17.17	2.84	0.00	1.00	3.84	3.84	2.42	2.42	1.42
17.31	2.84	0.00	1.00	3.84	3.84	2.42	2.42	1.42
17.44	2.84	0.00	1.00	3.84	3.84	2.42	2.42	1.42
17.51	2.84	0.00	1.00	3.84	3.84	2.42	2.42	1.42
17.51	2.84	0.00	1.00	3.84	3.84	2.42	2.42	1.42
17.58	2.84	0.00	1.00	3.84	3.84	2.42	2.42	1.42
17.72	2.84	0.00	1.00	3.84	3.84	2.42	2.42	1.42
17.82	2.84	0.00	1.00	3.84	3.84	2.42	2.42	1.42
17.92	2.84	0.00	1.00	3.84	3.84	2.42	2.42	1.42
18.00	2.84	0.00	1.00	3.84	3.84	2.42	2.42	1.42
18.13	2.84	0.00	1.00	3.84	3.84	2.42	2.42	1.42
18.20	2.85	0.00	1.00	3.85	3.85	2.42	2.42	1.42
18.27	2.85	0.00	1.00	3.85	3.85	2.42	2.42	1.42
18.27	2.87	0.00	1.00	3.87	3.87	2.43	2.43	1.43
18.46	2.87	0.00	1.00	3.87	3.87	2.43	2.43	1.43
18.48	2.87	0.00	1.00	3.87	3.87	2.44	2.44	1.44
18.65	2.89	0.00	1.00	3.89	3.89	2.44	2.44	1.44
18.65	2.90	0.00	1.00	3.90	3.90	2.45	2.45	1.45
18.65	2.90	0.00	1.00	3.90	3.90	2.45	2.45	1.45
18.69	2.88	0.00	1.00	3.88	3.88	2.44	2.44	1.44
18.75	2.88	0.00	1.00	3.88	3.88	2.44	2.44	1.44
18.82	2.88	0.00	1.00	3.88	3.88	2.44	2.44	1.44
18.82	2.89	0.00	1.00	3.89	3.89	2.44	2.44	1.44
18.92	2.90	0.00	1.00	3.90	3.90	2.45	2.45	1.45
18.96	2.85	0.00	1.00	3.85	3.85	2.42	2.42	1.42
18.96	2.92	0.00	1.00	3.92	3.92	2.45	2.45	1.45
18.96	2.90	0.00	1.00	3.90	3.90	2.45	2.45	1.45
18.96	2.88	0.00	1.00	3.88	3.88	2.44	2.44	1.44
18.96	2.90	0.00	1.00	3.90	3.90	2.45	2.45	1.45
18.96	2.85	0.00	1.00	3.85	3.85	2.43	2.43	1.43
18.96	2.83	0.00	1.00	3.83	3.83	2.42	2.42	1.42
18.96	2.80	0.00	1.00	3.80	3.80	2.40	2.40	1.40

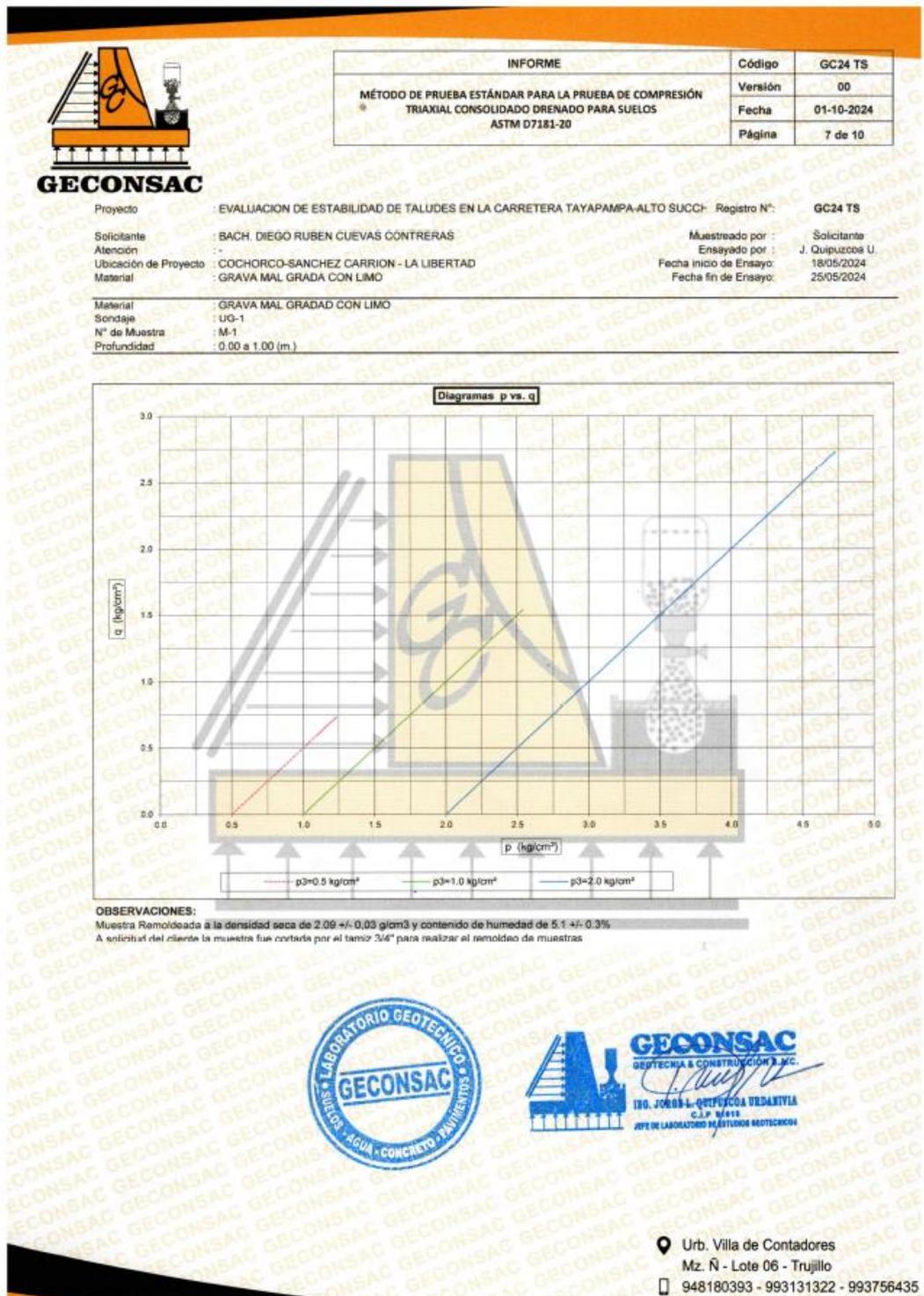


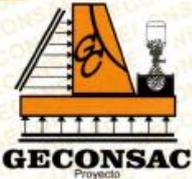

Urb. Villa de Contadores
Mz. Ñ - Lote 06 - Trujillo
948180393 - 993131322 - 993756435











INFORME	Código	GC24 TS
MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA PRUEBA DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CONSOLIDADO DRENADO PARA SUELOS ASTM D7181-20	Versión	00
	Fecha	01-10-2024
	Página	8 de 10

Proyecto: EVALUACION DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA CARRETERA TAYAPAMPA-ALTO SUCCH. Registro N°: **GC24 TS**

Solicitante: BACH. DIEGO RUBEN CUEVAS CONTRERAS **Muestreado por:** J. Quijano L.

Admisión: - **Ensayado por:** 18/05/2024

Ubicación de Proyecto: COCHORCO-SANCHEZ CARRION - LA LIBERTAD **Fecha inicio de Ensayo:** 25/05/2024

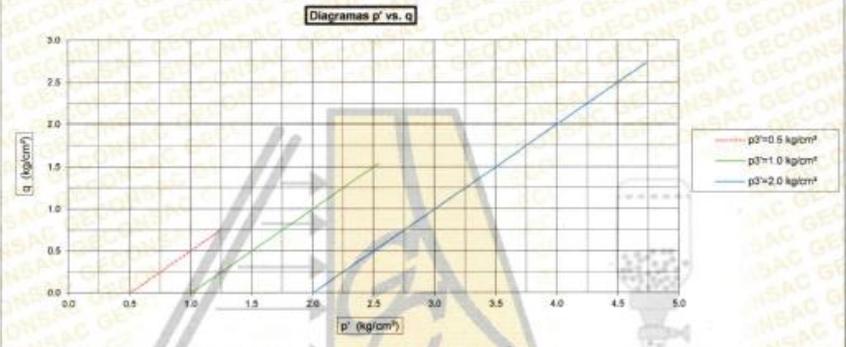
Material: GRAVA MAL GRADA CON LIMO

Material: GRAVA MAL GRADADA CON LIMO

Sondaje: UC-1

N° de Muestra: M-1

Profundidad: 0.00 a 1.00 (m.)

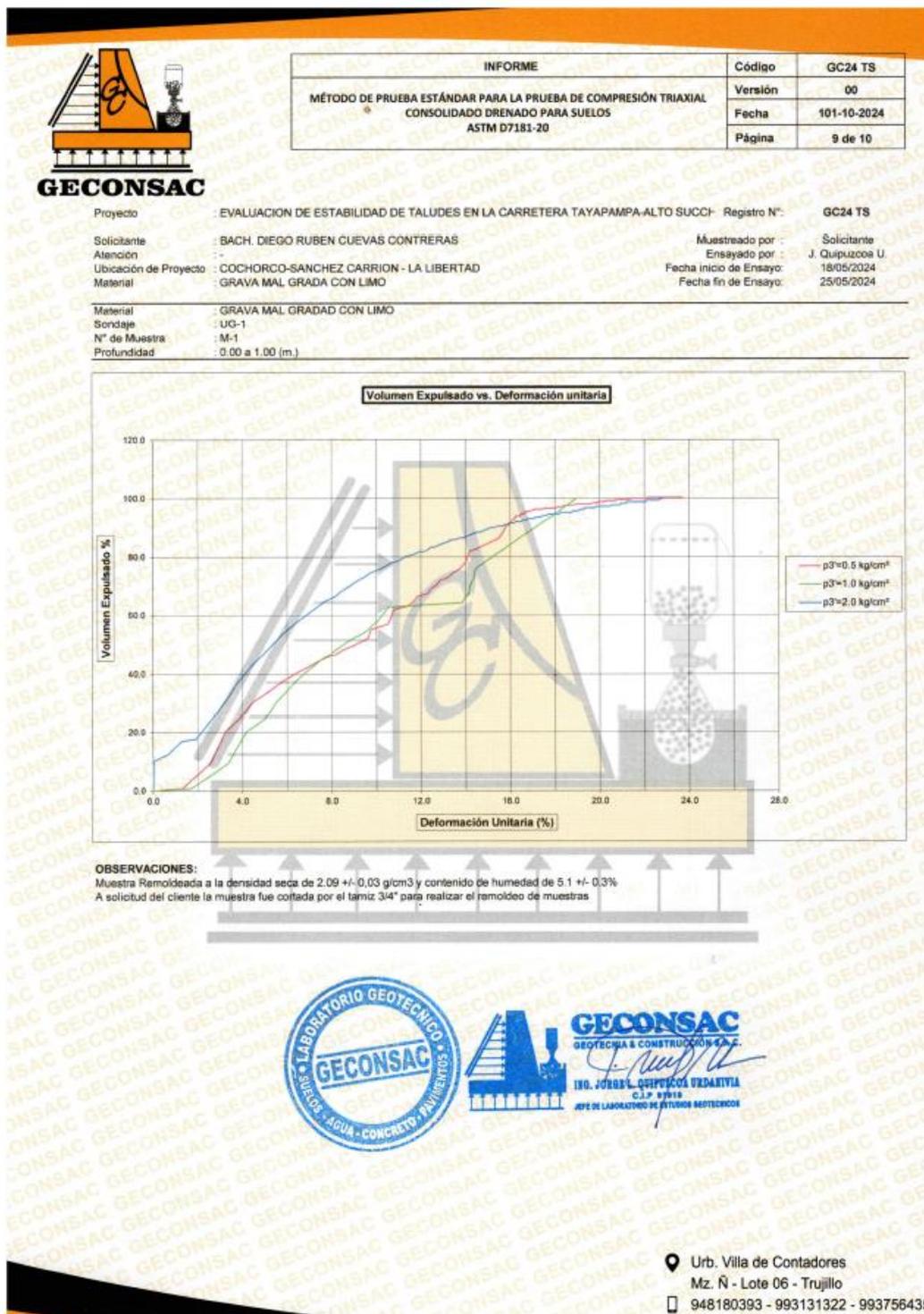


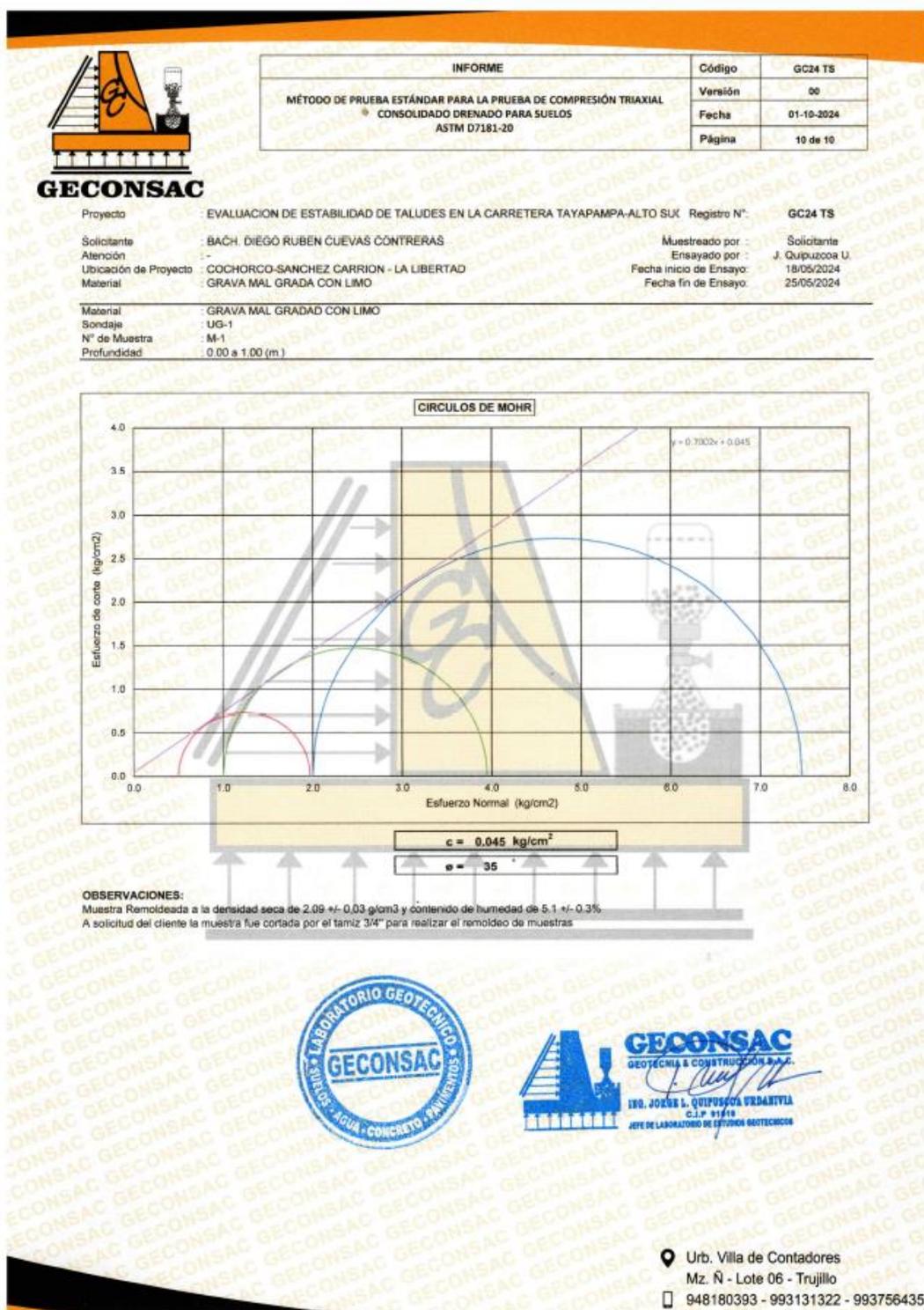
OBSERVACIONES:
Muestra Remoldeada a la densidad seca de 2.09 +/- 0.03 gr/cm³.
La consistencia del ensayo la muestra fue ensayada por el método 2/4 para realizar el ramoldeo de muestras




📍 Urb. Villa de Contadores
Mz. N - Lote 06 - Trujillo

☎ 948180393 - 993131322 - 993756435





Anexo 2: Ensayo de corte directo ASTM D3080



INFORME	Código	GC24-LAB TS
ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN SUELOS ASTM D3080	Versión	0.0
	Fecha	01-10-2021
	Página	1 de 2

Proyecto : EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA CARRETERA TAYAPAMPA-ALTO SUCCHA (KM. 7+200 - 7+320) APLICANDO EL SOFTWARE PLAXIS 2D	Registro N° : GC24 - TS
Paquete : 4 ETAPA	Muestreado por : El Solicitante
Solicitante : BACH, DIEGO RUBEN CUEVAS CONTRERAS	Fecha de Muestreo : 18/05/2024
Ubicación de Proyecto : COCHORCO-SANCHEZ CARRION - LA LIBERTAD	Ensayado por : J. Quipezcoa.U
	Fecha de Ensayo : 20/05/2024
	Turno : Diurno
Código de Muestra : --	Profundidad : 3 m
Sondaje / Calicata : UG-2	Norte : --
N° de Muestra : M-1	Este : --
Progresiva : --	Cota : --

ESPECIMEN 1

Altura Inicial: 24.2 mm
Lado de caja: 61.8 mm
Área Inicial: 29.9 cm²
Densidad Seca: 1.652 gr/cm³
Humedad Inic.: 13.2 %
Est. Normal: 0.49 kg/cm²
Est. Corte: 0.60 kg/cm²

ESPECIMEN 2

Altura Inicial: 24.2 mm
Lado de caja: 61.8 mm
Área Inicial: 29.9 cm²
Densidad Seca: 1.652 gr/cm³
Humedad Inic.: 13.2 %
Est. Normal: 0.95 kg/cm²
Est. Corte: 0.94 kg/cm²

ESPECIMEN 3

Altura Inicial: 24.2 mm
Lado de caja: 61.8 mm
Área Inicial: 29.9 cm²
Densidad Seca: 1.652 gr/cm³
Humedad Inic.: 13.2 %
Est. Normal: 1.96 kg/cm²
Est. Corte: 1.65 kg/cm²

ESPECIMEN 1			ESPECIMEN 2			ESPECIMEN 3		
Deformación horizontal (%)	Esfuerzo de Corte (kg/cm ²)	Esfuerzo Normalizado (ton)	Deformación horizontal (%)	Esfuerzo de Corte (kg/cm ²)	Esfuerzo Normalizado (ton)	Deformación horizontal (%)	Esfuerzo de Corte (kg/cm ²)	Esfuerzo Normalizado (ton)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.40	0.02	0.06	0.40	0.12	0.15	0.40	0.47	0.30
0.81	0.07	0.99	0.81	0.23	0.29	0.81	0.60	0.39
1.21	0.10	0.27	1.21	0.29	0.36	1.21	0.73	0.47
1.62	0.13	0.33	1.62	0.37	0.47	1.62	0.83	0.53
2.43	0.19	0.48	2.43	0.50	0.64	2.43	1.00	0.64
3.24	0.27	0.67	3.24	0.62	0.78	3.24	1.14	0.72
4.05	0.32	0.79	4.05	0.70	0.88	4.05	1.20	0.75
4.86	0.37	0.91	4.86	0.77	0.95	4.86	1.27	0.79
5.67	0.43	1.07	5.67	0.82	1.01	5.67	1.30	0.80
6.48	0.47	1.14	6.48	0.87	1.06	6.48	1.34	0.81
7.29	0.50	1.21	7.29	0.90	1.09	7.29	1.40	0.85
8.10	0.55	1.32	8.10	0.93	1.12	8.10	1.47	0.88
8.91	0.57	1.35	8.91	0.94	1.11	8.91	1.54	0.91
9.72	0.60	1.42	9.72	0.94	1.10	9.72	1.57	0.92
10.53	0.60	1.39	10.53	0.93	1.09	10.53	1.60	0.93
11.34	0.59	1.37	11.34	0.93	1.08	11.34	1.64	0.94
12.15	0.59	1.36	12.15	0.93	1.07	12.15	1.65	0.95
12.96	0.59	1.35	12.96	0.93	1.06	12.96	1.65	0.93
13.77	0.59	1.34	13.77	0.93	1.05	13.77	1.64	0.92
14.57	0.59	1.32	14.57	0.93	1.04	14.57	1.64	0.91
15.38	0.59	1.31	15.38	0.93	1.03	15.38	1.63	0.90
16.19	0.59	1.30	16.19	0.93	1.02	16.19	1.63	0.89

OBSERVACIONES:
 Muestra provisoria e identificada por el solicitante.
 Las muestras fueron remoldeadas a la densidad seca de 2.154 g/cm³ y a una humedad de 6.3%
 Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de la Gerencia Técnica de GECONSAC




GECONSAC
 GEOTECNIA Y CONSTRUCCIONES S.A.S.
 ING. JOSE L. QUIPEZCOA U.
 C.P. 9100
 JEFE DE LABORATORIO DE ESTUDIOS GEOTECNICOS

📍 Urb. Villa de Contadores
 Mz. N - Lote 06 - Trujillo
 ☎ 948180393 - 993131322 - 993756435

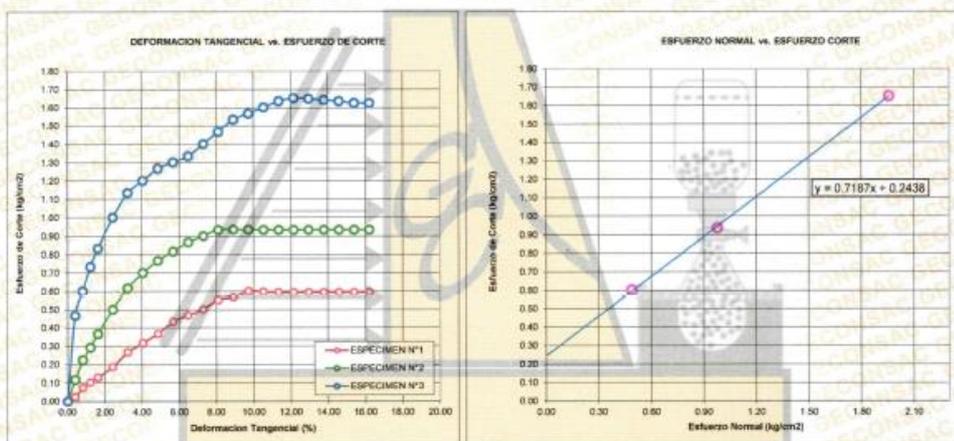


INFORME	Código	GC24 TB
ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN SUELOS ASTM D3080	Versión	0.0
	Fecha	01-10-2021
	Página	1 de 2

Proyecto	: EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA CARRETERA TAYAPAMPA-ALTO SUCCHA (KM. 7+200 - 7+320) APLICANDO EL SOFTWARE PLAXIS 2D	Registro N°	GC24 - TB
Paquete	: 0	Muestreado por	: El Solicitante
Solicitante	: BACH. DIEGO RUBEN CUEVAS CONTRERAS	Fecha de Muestreo	: 18/05/2024
Ubicación de Proyecto	: COCHORCO-SANCHEZ CARRION - LA LIBERTAD	Ensayado por	: J. Quiroz U
Material	: GRAVA MAL GRADA CON ARCILLA	Fecha de Ensayo	: 20/05/2024
Código de Muestra	: -	Turbo	: Duro
Sondeo / Calicata	: UG-2	Profundidad	: 3 m
N° de Muestra	: M-1	Norte	: -
Progresiva	: -	Este	: -
		Cola	: -

ENSAYO DE CORTE DIRECTO BAJO CONDICIONES CONSOLIDADAS DRENADAS
ASTM D3080

VELOCIDAD DE CORTE 0.5 mm/min



Resultados:
Cohesión c : 0.24 kg/cm²
Angulo de fricción ϕ : 35.8°

OBSERVACIONES:

Muestra provista e identificada por el solicitante
Las muestras fueron remoldeadas a la densidad seca de 2.154 g/cm³ y a una humedad de 6.3%
Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de la Gerencia Técnica de GECONSAC



📍 Urb. Villa de Contadores
Mz. N° - Lote 06 - Trujillo
☎ 948180393 - 993131322 - 993756435

Anexo 3: Ensayos de Análisis granulométrico



SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DE LABORATORIO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(ASTM D6913 / ASTM D5519)

Código: SGCL-FDR-109

Versión: 1

Fecha: 02/10/2023

Página: 1 de 1

PAQUETE: APLICACIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA CARRETERA TAYAPAMPA ALTO SUCCHA (KM. 7+200 - 7+320)
APLICANDO EL SOFTWARE PLAXIS 2D

CLIENTE: BACH. DIEGO RUBÉN CUEVAS CONTRERAS

UBICACIÓN: COCHORCO-RANCHED CARRIÓN - LA LIBERTAD

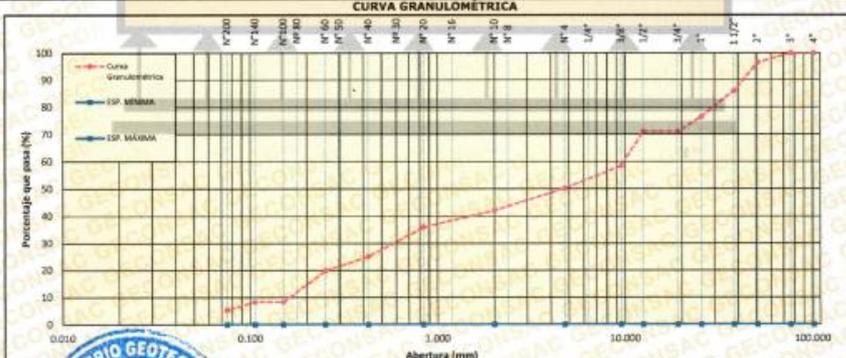
N° REGISTRO: GCR-LAB-15-
MUESTR. POR: SOLICITANTE
ENSAYADO POR: N.HORNA
FECHA MUESTRO: 17/05/2024
FECHA ENSAYO: 18/05/2024
FECHA REPORTE: 19/05/2024
TUÑO: Día

DATOS DE LA MUESTRA							
MATERIAL:	GRAVA MAL GRADADA CON LIMO			N° DE MUESTRA:	M1		
UBICACIÓN DE MUESTRA:	MATERIAL EN SITU			MASA TOTAL SECO:	77343.27 g		
CODIGO MUESTRA:	UG-1			TAMAÑO MÁXIMO:	3"		
COORDENADAS:	ESTE: -		NORTE: -		COTA: -		
TAMIZ (In)	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDO	% RETENIDO	% ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIÓN MIN	ESPECIFICACIÓN MAX
4"	101.603	0.0	0.0	0.0	100.0		
3"	76.200	0.0	0.0	0.0	100.0		
2"	50.800	3,766.0	3.6	3.6	96.4		
1 1/2"	38.100	8,049.0	10.4	14.0	86.0		
1"	25.400	7,462.0	9.6	23.6	76.4		
3/4"	19.050	4,213.0	5.4	29.0	71.0		
1/2"	12.500	0.0	0.0	29.0	71.0		
3/8"	9.500	9,758.0	12.6	41.6	58.4		
1/4"	6.350	0.0	0.0	41.6	58.4		
Nº 4	4.750	6,353.0	8.2	49.8	50.2		
Nº 8	2.360	114.1	0.2	50.0	49.8		
Nº 10	2.000	36.1	1.9	51.9	48.1		
Nº 16	1.190	115.4	0.2	52.1	47.9		
Nº 20	0.840	0.0	0.0	52.1	47.9		
Nº 30	0.600	133.8	0.2	52.3	47.7		
Nº 40	0.425	66.9	0.9	53.2	46.8		
Nº 50	0.297	99.3	0.3	53.5	46.5		
Nº 60	0.250	0.0	0.0	53.5	46.5		
Nº 80	0.177	0.0	0.0	53.5	46.5		
Nº 100	0.150	213.0	0.3	53.8	46.2		
Nº 140	0.106	0.0	0.0	53.8	46.2		
Nº 200	0.075	55.5	0.3	54.1	45.9		
< Nº 200	FONDO	96.9	5.3	100.0			

PORCENTAJE DE BOLONERÍA, GRAVA, ARENA Y FINOS		PESOS DE CORRECCIÓN DE SUELO	
MATERIAL > 3"	0.0 %	MASA DE SUELO SECO > 3"	0.0 g.
GRAVA 3" - Nº 4	49.8 %	MASA DE SUELO SECO < 3"	38,732.3 g.
ARENA Nº 4 - Nº 200	44.9 %	MASA DE SUELO SECO > 3/4"	22,490.0 g.
FINOS < Nº 200	5.3 %	MASA DE SUELO SECO < 3/4"	54,853.3 g.
		MASA DE SUELO SECO > Nº 4	38,661.0 g.
		MASA DE SUELO SECO < Nº 4	38,732.3 g.
		MASA DE SUELO SECO TOTAL :	77,343.3 g.
		MUESTRA: Fracción Secca < 3"	0.0 g.
		MUESTRA: Fracción Secca < 3/4"	0.0 g.
		MUESTRA: Fracción Secca < Nº 4	931.0 g.

OBSERVACIONES:

CURVA GRANULOMÉTRICA

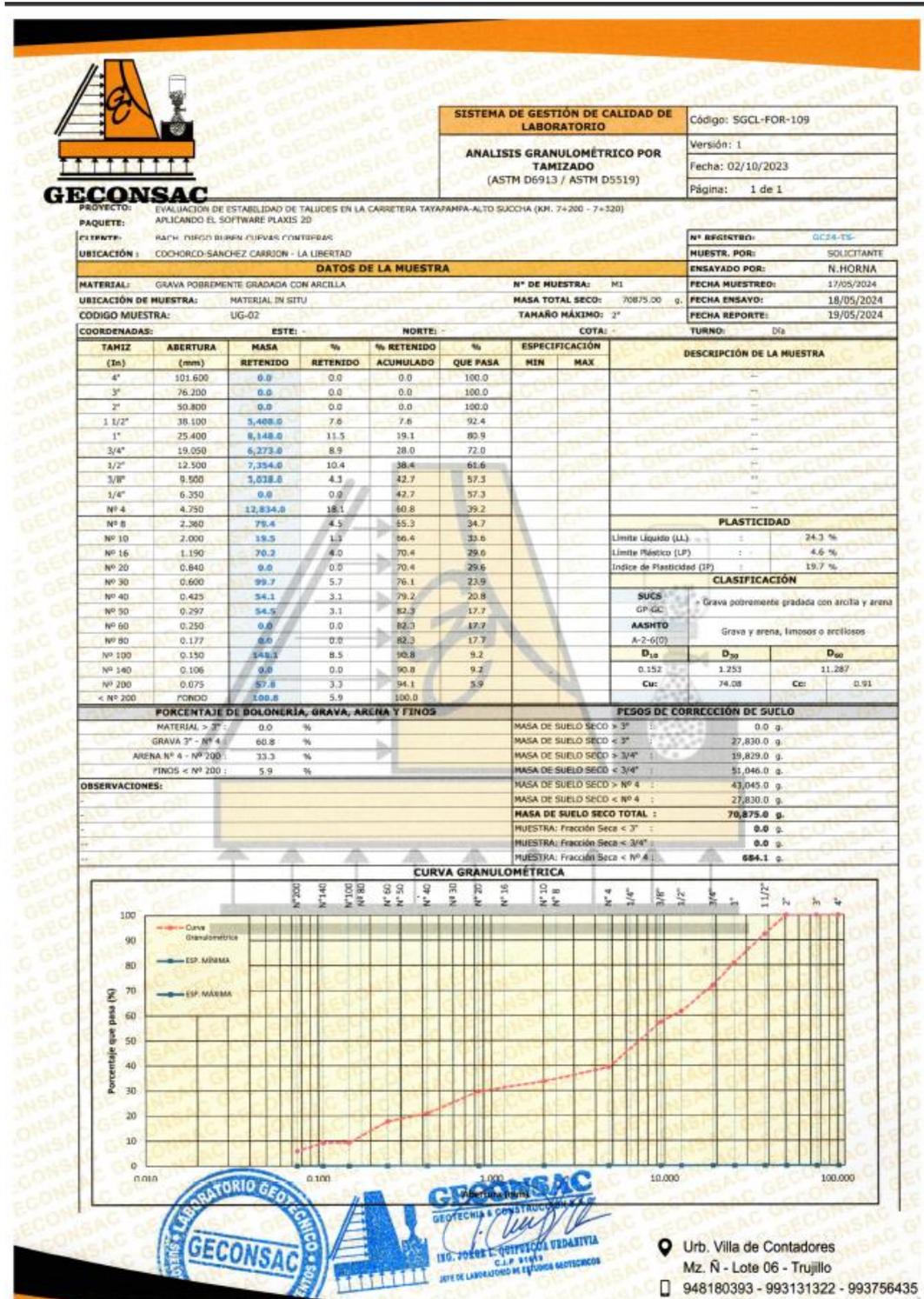






GECONSAC
GEOTECNIA & CONSTRUCCIÓN S.A.S.
ING. JORGE L. GONZALEZ URDARIVIA
C.I.P. 81115
JEFE DE LABORATORIO DE GEOTECNICOS

Urb. Villa de Contadores
Mz. N - Lote 06 - Trujillo
☎ 948180393 - 993131322 - 993756435



Anexo 4: Ensayos de Densidad y Peso unitario in situ



REPORTE DE ENSAYO N° GC24-LENS-TS 021

DENSIDAD Y PESO UNITARIO DE SUELOS IN SITU POR EL MÉTODO DEL CONO - ARENA

ASTM D1556/D1556M-15e1

DATOS DEL SOLICITANTE		DETALLE DE LA ACTIVIDAD	
Obra: EVALUACION DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA CARRETERA TAYAPAMPA-ALTO SUCCHA (KM. 7+200 - 7+320) APLICANDO EL SOFTWARE PLAXIS 2D		Inicio de actividades en campo: 09-30	
Solicitante: BACH. DIEGO RUBEN CUEVAS CONTRERAS		Fin de actividades en campo: 11:00 a. m.	
Ubicación: COCHORCO-SANCHEZ CARRION - LA LIBERTAD			

DATOS DEL MATERIAL EVALUADO	
Descripción Visual: GRAVA MAL GRADADA CON ARCILLA	
Norma de Ensayo y Método: -	
Informe de ensayo No.: GC24/LAB. TS021	Fecha de ensayo: 14/05/2024
P.U. Máximo (kN/m³): -	Máxima Densidad Seca Corregida (kN/m³): -
Gs de Fracción Sobretamaño: -	Óptimo Contenido de Humedad (%): -

IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE ENSAYO	
No. Correlativo de archivo	1
No. de ensayo	D1
Identificación de capa	T-01
Tramo:	
Espesor de capa (m)	1.80

PROCESAMIENTO EN CAMPO	
Masa de suelo extraído + tara (g)	3650
Masa de tara (g)	0
Masa de suelo extraído (g)	3650
Masa inicial de arena + equipo (g)	6920
Masa de arena que queda en equipo (g)	3058
Masa de arena en cono de equipo (g) [DATO]	1661
Masa de arena en hoyo (g)	2201
Densidad de arena de ensayo (g/cm³) [DATO]	1.33
Volumen total de hoyo (cm³)	1655
Tamiz que define fracción sobretamaño	3/4 in.
Masa de grava sobretamaño (g)	700

CÁLCULO DE DENSIDADES	
Densidad húmeda del suelo (g/cm³)	2.206
Humedad del Suelo (%) - indicar norma	
Peso Unitario Seco (kN/m³)	

IDENTIFICACIÓN DE EQUIPAMIENTO EMPLEADO		
ID Equipo cono-arena: CON-001	Tamiz 3/4 in.: T-05	ID Speedy: SPP-005
ID Balanza: BAL-001	Tamiz 3/8 in.: T-06	Tamiz No. 10: T-15
ID Lote de arena: ARE-010	Tamiz No. 4: T-10	Tamiz No. 20: T-16

Observaciones	
Humedad determinada con Speedy	Volumenes mínimos de hoyo según el T.M.
	1 1/2 in. 2.830 cm³
	1 in. 2.125 cm³
	1/2 in. 1.415 cm³





Urb. Villa de Contadores
Mz. N - Lote 06 - Trujillo
948180393 - 993131322 - 993756435



REPORTE DE ENSAYO N° GC24-LENS-TS 021

DENSIDAD Y PESO UNITARIO DE SUELOS IN SITU POR EL MÉTODO DEL CONO - ARENA

ASTM D1556/D1556M-15e1

DATOS DEL SOLICITANTE		DETALLE DE LA ACTIVIDAD	
Obra: EVALUACION DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA CARRETERA TAYAPAMPA-ALTO SUCCHA (KM. 7+200 - 7+320) APLICANDO EL SOFTWARE PLAXIS 2D		Inicio de actividades en campo: 09:30	
Solicitante: BACH, DIEGO RUBEN CUEVAS CONTRERAS		Fin de actividades en campo: 11:00 a. m.	
Ubicación: COCHORCO-SANCHEZ CARRION - LA LIBERTAD			
DATOS DEL MATERIAL EVALUADO			
Descripción Visual: GRAVA MAL GRADADA CON LIMO			
Norma de Ensayo y Método: -			
Informe de ensayo No.: GC24/LAB. TS021		Fecha de ensayo: 14/05/2024	
P.U Máximo (kN/m³): -		Máxima Densidad Seca Corregida (kN/m³): -	
Gs de Fracción Sobretamaño: -		Óptimo Contenido de Humedad (%): -	
IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE ENSAYO			
No. Correlativo de archivo	1	2	
No. de ensayo	D1		
Identificación de capa	UG-1		
Tramo:			
Espesor de capa (m)	1.00		
PROCESAMIENTO EN CAMPO			
Masa de suelo extraído + tara (g)	3950		
Masa de tara (g)	0		
Masa de suelo extraído (g)	3950		
Masa inicial de arena + equipo (g)	7020		
Masa de arena que queda en equipo (g)	3064		
Masa de arena en cono de equipo (g) [DATO]	1661		
Masa de arena en hoyo (g)	2275		
Densidad de arena de ensayo (g/cm³) [DATO]	1.33		
Volumen total de hoyo (cm³)	1711		
Tamiz que define fracción sobretamaño	3/4 in.		
Masa de grava sobretamaño (g)	850		
CÁLCULO DE DENSIDADES			
Densidad húmeda del suelo (g/cm³)	2.309		
Humedad del Suelo (%) - indicar norma			
Peso Unitario Seco (kN/m³)			
IDENTIFICACIÓN DE EQUIPAMIENTO EMPLEADO			
ID Equipo cono-arena: CON-001	Tamiz 3/4 in.: T-05	ID Speedy: SPP-005	
ID Balanza: BAL-001	Tamiz 3/8 in.: T-06	Tamiz No. 10: T-15	
ID Lote de arena: ARE-010	Tamiz No. 4: T-10	Tamiz No. 20: T-16	
Observaciones			
Humedad determinada con Spedy			Volumenes mínimos de hoyo según el T.M.
			1 1/2 in. 2 830 cm³
			1 in. 2 125 cm³
			1/2 in. 1 415 cm³





GECONSAC
GEOTECNIA & CONSTRUCCIONES S.A.C.
C.I.P. 95015
JEFE DE LABORATORIO DE SUELOS GEOTECNICOS

Urb. Villa de Contadores
Mz. Ñ - Lote 06 - Trujillo
948180393 - 993131322 - 993756435



REPORTE DE ENSAYO N° GC24-LENS-T5 021
DENSIDAD Y PESO UNITARIO DE SUELOS IN SITU POR EL
MÉTODO DEL CONO - ARENA
ASTM D1556/D1556M-15e1

DATOS DEL SOLICITANTE		DETALLE DE LA ACTIVIDAD	
Obra:	EVALUACION DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA CARRETERA TAYAPAMPA-ALTO SUCCHA (KM. 7+200 - 7+320) APLICANDO EL SOFTWARE PLAXIS 2D	Inicio de actividades en campo:	09-30
Solicitante:	BACH, DIEGO RUBEN CUEVAS CONTRERAS	Fin de actividades en campo:	11:00 a. m.
Ubicación:	CDCHORCO- SANCHEZ CARRION - LA LIBERTAD		

DATOS DEL MATERIAL EVALUADO	
Descripción Visual:	GRAVA MAL GRADADA CON ARCILLA
Norma de Ensayo y Método:	-
Informe de ensayo No.:	GC24/LAB. TS021
Fecha de ensayo:	14/05/2024
P.U Máximo(kN/m ²):	-
Máxima Densidad Seca Corregida (kN/m ³):	-
Es de Fracción Sobretamaño:	-
Óptimo Contenido de Humedad (%):	-

IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE ENSAYO	
No. Correlativo de archivo	1
No. de ensayo	D1
Identificación de capa	UG-2
Tramo:	
Espesor de capa (m)	2.00

PROCESAMIENTO EN CAMPO	
Masa de suelo extraído + tara (g)	3560
Masa de tara (g)	0
Masa de suelo extraído (g)	3560
Masa inicial de arena + equipo (g)	7000
Masa de arena que queda en equipo (g)	3190
Masa de arena en cono de equipo (g) [DATO]	1661
Masa de arena en hoyo (g)	2149
Densidad de arena de ensayo (g/cm ³) [DATO]	1.33
Volumen total de hoyo (cm ³)	1616
Tamiz que define fracción sobretamaño	3/4 in.
Masa de grava sobretamaño (g)	688

CÁLCULO DE DENSIDADES	
Densidad húmeda del suelo (g/cm ³)	2.203
Humedad del Suelo (%) - indicar norma	
Peso Unitario Seco (kN/m ³)	

IDENTIFICACIÓN DE EQUIPAMIENTO EMPLEADO		
ID Equipo cono-arena:	CON-001	Tamiz 3/4 in.: T-05
ID Balanza:	BAL-001	Tamiz 3/8 in.: T-06
ID Lote de arena:	ARE-010	Tamiz No. 4: T-10
		ID Speedy: SPP-005
		Tamiz No. 10: T-15
		Tamiz No. 20: T-16

Observaciones	Volumenes mínimos de hoyo según el T.M.	
Humedad determinada con Speedy	1 1/2 in.	2 830 cm ³
	1 in.	2 125 cm ³
	1/2 in.	1 415 cm ³



Urb. Villa de Contadores
Mz. N - Lote 06 - Trujillo
948180393 - 993131322 - 993756435

Anexo 5: Peso específico



SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DE LABORATORIO

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C127)

Código: SGCL-FOR-113

Versión: 1

Fecha: 02/10/2023

Página: 1 de 1

PROYECTO: EVALUACION DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA CARRETERA TAYAPAMPA-ALTO SUCCHA (KM. 7+200 - 7+320) APLICANDO EL SOFTWARE PLAXIS 2D		N° REGISTRO: GC24 LAB T5	
CLIENTE: BACH, DIEGO RUBEN CUEVAS CONTRERAS		MUESTR. POR: 00/01/1900	
UBICACIÓN: COCHORCO-SANCHEZ CARRION - LA LIBERTAD		ENSAYADO POR:	
DATOS DE LA MUESTRA			
MATERIAL: GRAVA MAL GRADADA CON LIMO	T-01	M1	FECHA MUESTREO:
UBICACIÓN DE MUESTRA: MATERIAL IN SITU		FECHA ENSAYO:	
CODIGO MUESTRA: T-01		FECHA REPORTE:	
COORDENADAS: ESTE: - NORTE: - COTA: -			

ENSAYO N°	UND	1	2	PROMEDIO
Peso del Agregado Saturado Superficial Seco	(g)	5490.0	5298.0	--
Peso del Agregado Sumergido	(g)	3240.0	3098.0	--
Temperatura del Agua	(°C)	23.2	23.2	--
Volumen de Masa + Volumen de Vacíos	(g)	2250.0	2200.0	--
Peso del Agregado Seco	(g)	5420.0	5230.0	--
Volumen de Masa	(g)	2180.0	2132.0	--
Gravedad Especifica BULK	(g/cc)	2.409	2.377	2.4
Gravedad Especifica BULK (S.S.S.)	(g/cc)	2.440	2.408	2.4
Peso Especifico Aparente	(g/cc)	2.486	2.453	2.5
Absorción	(%)	1.29	1.30	1.3

OBSERVACIONES:




Urb. Villa de Contadores
Mz. N - Lote 06 - Trujillo
948180393 - 993131322 - 993756435



SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DE LABORATORIO

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO
(ASTM C127)

Código: SGCL-FOR-113

Versión: 1

Fecha: 02/10/2023

Página: 1 de 1

PROYECTO: EVALUACION DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA CARRETERA TAYAPAMPA-ALTO SUCCHA (KM. 7+200 - 7+320) APLICANDO EL SOFTWARE		N° REGISTRO: GC24-LAB-TS-
CLIENTE: BACH. DIEGO RUBEN CUEVAS CONTRERAS		MUESTR. POR: 00/01/1900
UBICACIÓN: COCHORCO-SANCHEZ CARRION - LA LIBERTAD		ENSAYADO POR:
DATOS DE LA MUESTRA		
MATERIAL: GRAVA MAL GRADADA CON LIMO	UG-1 M1	FECHA MUESTREO:
UBICACIÓN DE MUESTRA: MATERIAL IN SITU		FECHA ENSAYO:
CODIGO MUESTRA: UG-1		FECHA REPORTE:
COORDENADAS:	ESTE: - NORTE: - COTA: -	

ENSAYO N°	UND	1	2	PROMEDIO
Peso del Agregado Saturado Superficial Seco	(g)	5510.0	5298.0	--
Peso del Agregado Sumergido	(g)	3100.0	3158.0	--
Temperatura del Agua	(°C)	23.2	23.2	--
Volumen de Masa + Volumen de Vacíos	(g)	2410.0	2140.0	--
Peso del Agregado Seco	(g)	5442.0	5224.0	--
Volumen de Masa	(g)	2342.0	2066.0	--
Gravedad Especifica BULK	(g/cc)	2.258	2.441	2.3
Gravedad Especifica BULK (S.S.S.)	(g/cc)	2.286	2.476	2.4
Peso Especifico Aparente	(g/cc)	2.324	2.529	2.4
Absorción	(%)	1.25	1.42	1.3

OBSERVACIONES:

--

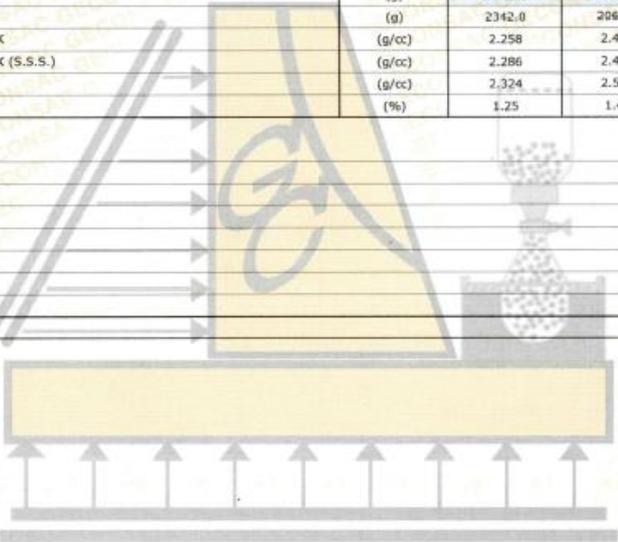
--

--

--

--

--






📍 Urb. Villa de Contadores
Mz. N - Lote 06 - Trujillo

☎ 948180393 - 993131322 - 993756435



SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DE LABORATORIO

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C127)

Código: SGCL-FOR-113

Versión: 1

Fecha: 02/10/2023

Página: 1 de 1

PROYECTO: EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA CARRETERA TAYAPAMPA ALTO SUCCHA (KM. 7+200 - 7+320) APLICANDO EL SOFTWARE PLAXIS 2D		N° REGISTRO: GC24-LAB-TS-
CLIENTE: BACH. DIEGO RUBEN CUEVAS CONTRERAS		MUESTR. POR: 00/01/1900
UBICACIÓN: COCHORCO-SANCHEZ CARRION - LA LIBERTAD		ENSAYADO POR:
DATOS DE LA MUESTRA		
MATERIAL: GRAVA MAL GRADADA CON LIMO	UG-1	M1
UBICACIÓN DE MUESTRA: MATERIAL IN SITU		FECHA MUESTREO:
CODIGO MUESTRA: UG-1		FECHA ENSAYO:
COORDENADAS: ESTE: - NORTE: - COTA: -		FECHA REPORTE:

ENSAYO N°	UND	1	2	PROMEDIO
Peso del Agregado Saturado Superficial Seco	(g)	5510.0	5298.0	--
Peso del Agregado Sumergido	(g)	3100.0	3146.0	--
Temperatura del Agua	(°C)	23.2	23.2	--
Volumen de Masa + Volumen de Vacíos	(g)	2410.0	2150.0	--
Peso del Agregado Seco	(g)	5442.0	5204.0	--
Volumen de Masa	(g)	2342.0	2056.0	--
Gravedad Específica BULK	(g/cc)	2.258	2.420	2.3
Gravedad Específica BULK (S.S.S.)	(g/cc)	2.286	2.464	2.4
Peso Específico Aparente	(g/cc)	2.324	2.531	2.4
Absorción	(%)	1.25	1.81	1.5

OBSERVACIONES:

..

..

..

..

..

..

..






GECONSAC
GEOTECNIA E CONSTRUCCIÓN S.A.C.
ING. JORGE L. QUIPOCCA URDANIVIA
C.I.P. 91816
JEFE DE LABORATORIO DE ESTUDIOS GEOTECNICOS

📍 Urb. Villa de Contadores
Mz. Ñ - Lote 06 - Trujillo

☎ 948180393 - 993131322 - 993756435



SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DE LABORATORIO
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO
 (ASTM C127)

Código: SGCL-FOR-113
 Versión: 1
 Fecha: 02/10/2023
 Página: 1 de 1

PROYECTO: EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA CARRETERA TAYAPAMPA-ALTO SUCCHA (KM. 7+200 - 7+320) APLICANDO EL SOFTWARE
CLIENTE: BACH. DIEGO RUBEN CUEVAS CONTRERAS
UBICACIÓN: COCHORCO-SANCHEZ CARRION - LA LIBERTAD

N° REGISTRO: GC24-TS-
MUESTR. POR: 00/01/1900

DATOS DE LA MUESTRA

MATERIAL: GRAVA POBREMENTE GRADADA CON ARCILLA UG-02 M1
UBICACIÓN DE MUESTRA: MATERIAL IN SITU
CODIGO MUESTRA: UG-02
COORDENADAS: ESTE: - NORTE: - COTA: -

ENSAYO N°	UND	1	2	PROMEDIO
Peso del Agregado Saturado Superficial Seco	(g)	5324.0	5631.0	--
Peso del Agregado Sumergido	(g)	3058.0	3187.0	--
Temperatura del Agua	(°C)	23.2	23.2	--
Volumen de Masa + Volumen de Vacíos	(g)	2266.0	2444.0	--
Peso del Agregado Seco	(g)	5264.0	5566.0	--
Volumen de Masa	(g)	2206.0	2379.0	--
Gravedad Específica BULK	(g/cc)	2.323	2.277	2.300
Gravedad Específica BULK (S.S.S.)	(g/cc)	2.350	2.304	2.327
Peso Específico Aparente	(g/cc)	2.386	2.340	2.363
Absorción	(%)	1.14	1.17	1.15

OBSERVACIONES:

--

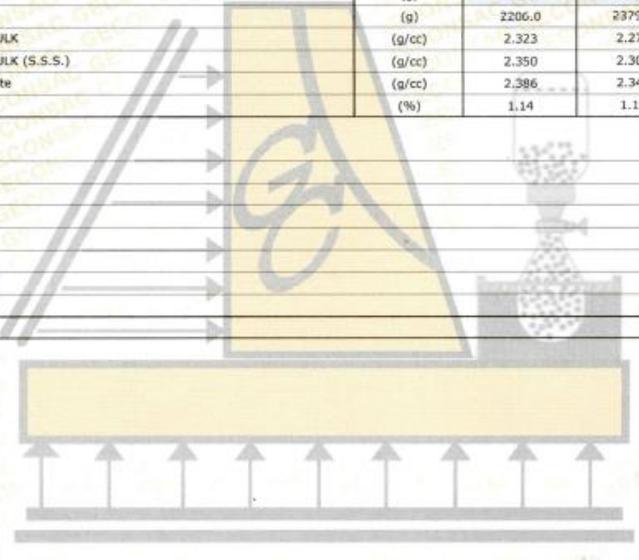
--

--

--

--

--






📍 Urb. Villa de Contadores
 Mz. N - Lote 06 - Trujillo
 ☎ 948180393 - 993131322 - 993756435

Anexo 6: Límites de consistencia



SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DE LABORATORIO Código: SGCL-FOR-110

Versión: 1

Fecha: 02/10/2023

Página: 1 de 1

LÍMITES DE CONSISTENCIA
(ASTM D4318)

CLIENTE: BACH. DIEGO RUBEN CUEVAS CONTRERAS

UBICACIÓN: COCHORCO-SANCHEZ CARRION - LA LIBERTAD

MATERIAL: GRAVA MAL GRADADA CON LIMO

UBICACIÓN DE MUESTRA: MATERIAL IN SITU

CODIGO MUESTRA: UG-1

COORDENADAS: ESTE: - NORTE: - COTA: -

DATOS DE LA MUESTRA

Nº DE MUESTRA: M1

Nº REGISTRO: GC24-LAB-TS-

MUESTRA POR: SOLICITANTE

ENSAYADO POR: N.HORNA

FECHA MUESTREO: 16/11/2023

FECHA ENSAYO: 16/11/2023

FECHA REPORTE: 20/11/2023

LÍMITE LÍQUIDO				MÉTODO DE ENSAYO
ENSAYO Nº	UND	1	2	
Recipiente Nº	--			<input type="checkbox"/> MÉTODO A <input type="checkbox"/> VÍA HÚMEDA <input type="checkbox"/> MÉTODO B <input type="checkbox"/> VÍA SECA
Masa del Recipiente + Suelo Húmedo	(g)			
Masa del Recipiente + Suelo Seco	(g)			
Masa de agua	(g)			
Masa del Recipiente	(g)			
Masa del Suelo Seco	(g)			
Porcentaje de Humedad	(%)			
Nº de Golpes	--			
NP				

LÍMITE PLÁSTICO				EQUIPO DE PRUEBA EMPLEADO:
ENSAYO Nº	UND	1	2	
Recipiente Nº	--			LÍMITE LÍQUIDO: <input checked="" type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Mecánico LÍMITE PLÁSTICO: <input checked="" type="checkbox"/> Envolado a Mano <input type="checkbox"/> Envolado Mecánico RANURADOR: <input type="checkbox"/> Metal <input checked="" type="checkbox"/> Plástico
Masa del Recipiente + Suelo Húmedo	(g)			
Masa del Recipiente + Suelo Seco	(g)			
Masa de agua	(g)			
Masa del Recipiente	(g)			
Masa del Suelo Seco	(g)			
Porcentaje de Humedad	(%)			
Promedio Porcentaje de Humedad	(%)			
NP				





CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA

LÍMITE LÍQUIDO	NP
LÍMITE PLÁSTICO	NP
INDICE DE PLASTICIDAD	NP

IP = 0 → No plástico / 1 ≤ IP ≤ 5 → Ligeramente plástico
 6 ≤ IP ≤ 10 → Plasticidad baja / 11 ≤ IP ≤ 20 → Plasticidad media
 21 ≤ IP ≤ 40 → Plasticidad alta / IP > 40 → Muy plástico (según Burmister)

Descripción de la Muestra: Grava pobremente gradada con limo y arena

% Retenido Acum. Tamiz Nº 40: 74.9 %

OBSERVACIONES:





ING. JORGE L. QUIROGA VERDARIVIA
C.I.P. 91812
JEFE DE LABORATORIO DE ESTUDIOS GEOTECNICOS

Urb. Villa de Contadores
Mz. N - Lote 06 - Trujillo
948180393 - 993131322 - 993756435



SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DE LABORATORIO Código: SGCL-FOR-110

LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318) Versión: 1

Fecha: 02/10/2023

Página: 1 de 1

CLIENTE: BACH: DIEGO RUBEN CUEVAS CONTRERAS

UBICACIÓN: COCHORCO-SANCHEZ CARRION - LA LIBERTAD

UBICACIÓN DE MUESTRA: MATERIAL IN SITU

CODIGO MUESTRA: UG-02

COORDENADAS: ESTE: - NORTE: - COTA: -

MATERIAL: GRAVA POBREMENTE GRADADA CON ARCILLA

Nº DE MUESTRA: M1

FECHA MUESTREO: 17/05/2024

FECHA ENSAYO: 18/05/2024

FECHA REPORTE: 19/05/2024

Nº REGISTRO: GC24-TS

MUESTRA POR: SOLICITANTE

ENSAYADO POR: N. MORAN

LÍMITE LÍQUIDO				
ENSAYO Nº	UND	1	2	3
Recipiente Nº	--	1L	2L	3L
Masa del Recipiente + Suelo Húmedo	(g)	29.10	30.10	30.30
Masa del Recipiente + Suelo Seco	(g)	28.10	29.00	29.30
Masa de agua	(g)	1.00	1.10	1.00
Masa del Recipiente	(g)	24.42	24.41	24.34
Masa del Suelo Seco	(g)	3.68	4.59	4.96
Porcentaje de Humedad	(%)	27.17	23.97	20.16
Nº de Golpes	--	25	24	14

LÍMITE PLÁSTICO				
ENSAYO Nº	UND	1	2	3
Recipiente Nº	--	4P	5P	--
Masa del Recipiente + Suelo Húmedo	(g)	26.20	24.70	--
Masa del Recipiente + Suelo Seco	(g)	25.60	24.20	--
Masa de agua	(g)	0.60	0.50	--
Masa del Recipiente	(g)	13.04	12.99	--
Masa del Suelo Seco	(g)	12.56	11.21	--
Porcentaje de Humedad	(%)	4.78	4.46	--
Promedio Porcentaje de Humedad	(%)	4.62		--

MÉTODO DE ENSAYO

MÉTODO A VÍA HÚMEDA

MÉTODO B VÍA SECA

EQUIPO DE PRUEBA EMPLEADO:

LÍMITE LÍQUIDO

Manual

Mecánico

LÍMITE PLÁSTICO

Enrollado a Mano

Enrollado Mecánico

RANURADOR

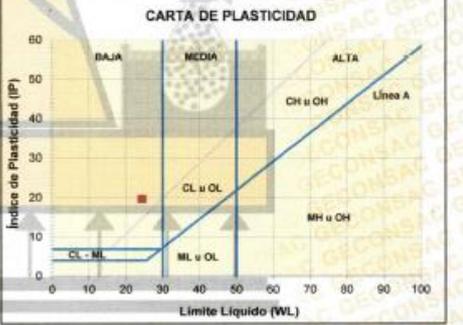
Metal

Plástico

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO $y = 7.6125 \ln(x) - 0.0157$



CARTA DE PLASTICIDAD



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA	
LÍMITE LÍQUIDO	24.3
LÍMITE PLÁSTICO	4.6
INDICE DE PLASTICIDAD	19.7
Plasticidad media	
Descripción de la Muestra: - Grava pobremente gradada con arcilla y arena	
% Retenido Acum. Tamiz Nº 40:	79.2 %
OBSERVACIONES:	





ING. JORGE I. QUIROGA URBANOVIA
C.I.P. 9318
JEFE DE LABORATORIO DE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

📍 Urb. Villa de Contadores
Mz. N - Lote 06 - Trujillo

☎ 948180393 - 993131322 - 993756435

Anexo 8: Informe Técnico del ensayo de Prospección Geofísica por el método de Refracción Sísmica y MASW.



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

INFORME TÉCNICO

ENSAYO DE PROSPECCION GEOFISICA POR METODO DE REFRACCION SISMICA Y MASW-1D

PROYECTO:

EVALUACION DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN
LA CARRETERA TAYAPAMPA – ALTO SUCCHA
(KM 7+200 – 7+320) APLICANDO EL SOFTWARE
PLAXIS 2D

SOLICITANTE:

BACH. CUEVAS CONTRERAS, DIEGO RUBEN

PROFESIONAL:

JOSE CRISTHIAN HUERTAS MARTELL – CIP 148105

UBICACIÓN:

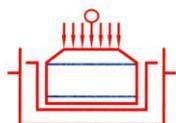
LUGAR : TRAMO TAYAPAMPA – ALTO SUCCHA
DISTRITO : COCHORCO
PROVINCIA : SANCHEZ CARRION
DEPARTAMENTO : LA LIBERTAD

MAYO del 2023

HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL

Ing. Jose Cristhian Huertas Martell
CIP N° 148105

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

INFORME TECNICO

1.0 Generalidades

Los trabajos geofísicos de Sísmica de MASW; consistieron en realizar dos puntos a lo largo del tramo de interés indicado por el Solicitante. En general, la adquisición de datos en la sísmica fue de 2.00 metros entre sensores, obteniendo resultados favorables en el proceso de interpretación en donde el objeto del servicio es conocer la “potencia y estratigrafía del material de la zona”, la misma que se encuentra detallada en la sección de interpretación.

Dentro de las recomendaciones, se debe tener en cuenta que, para determinar la capacidad de compactación de los materiales en profundidad en el área de investigación, y cuantificar con mayor precisión se debería realizar ensayos directos como perforación y/o calicatas.

2.0 Antecedentes

El Solicitante mediante la empresa HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL, realizó la investigación del subsuelo, conforme a la propuesta solicitada del presente proyecto se comprometió a realizar los ensayos geofísicos de MASW-1D. Esta investigación consistió en la exploración del subsuelo por el método indirecto, a través de los estudios geofísicos (MASW-1D), básicamente para conocer las características de los materiales que conforman los cimientos en estudio como se muestra en el plano de exploración geofísica.

Luego de la aprobación de la propuesta técnico-económica y la planificación de los trabajos de exploración geofísica, se dio inicio a los trabajos de campo como ejecución del presente estudio, cuyo contenido se describe a continuación.

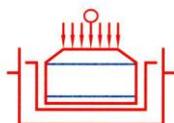
3.0 Objetivo del Estudio

El objetivo del estudio es determinar el perfil sísmico unidimensional de ondas de corte y compresión (V_s y V_p), en base al cual se inferirá la compacidad y potencia de

HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL

Ing. Jose Christian Huertas Mirasol
CIP N° 148105

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

los diferentes materiales que componen el subsuelo de cimentación de la zona del proyecto.

4.0 **Introducción**

El Proyecto está localizado en el distrito de Cochorco, provincia de Sánchez Carrión, departamento de La Libertad. Donde se proyecta el Estudio de Estabilidad de Taludes del tramo Tayapamba – Alto Succha.

4.1. **Objetivos del estudio**

Los objetivos de la campaña geofísica son:

- Delimitar y obtener la estratigrafía y espesor del terreno, a través de la generación de ondas de compresión (V_p).
- Determinar las velocidades de onda de corte (V_s) de los diferentes estratos encontrados en la zona de trabajo.

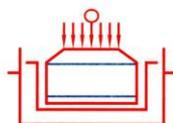
4.2. **Ubicación de la zona de estudio**

El área de estudio está ubicada en el Tramo Tayapamba – Alto Succha, distrito de Cochorco, provincia de Sánchez Carrión, departamento de La Libertad.



Figura 4.1 Vista satelital del terreno en estudio (fuente: GOOGLE)

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

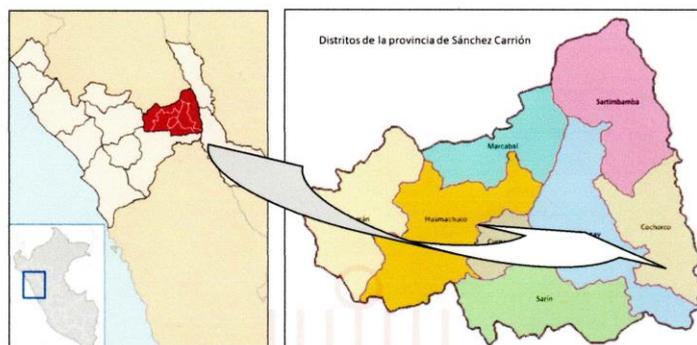


Figura 4.2 Mapa político del terreno en estudio (fuente: GOOGLE)

4.3. Programa de investigaciones Geofísicas

El levantamiento geofísico realizado, se encuentra dentro de la pertenencia del proyecto en estudio. Se utilizó el método de sismica de refracción el cual se realizaron con sensores de 4.5 Hz y con intervalos a cada 2.00 metros.

Tabla 4.1 Ubicación de Líneas Sísmicas realizadas en la zona de trabajo

Descripción	Estructura	Ubicación	Coordenadas
LS-01	Talud en estudio	Zona de trocha	E: 204670.00, N: 9133007.00
LS-02	Talud en estudio	Parte Baja del Talud	E: 204663.00, N: 9133008.00

5.0 Método de Exploración Geofísica

5.1. Principio del Método de Refracción Sísmica

El principio de Refracción Sísmica se basa en la propagación de ondas sísmicas, ondas P, originadas mediante súbitas deformaciones del terreno en la superficie (disparos de escopeta, voladura y/o iterativos golpes de una comba sobre una placa metálica). Dicho fenómeno de deformación de corteza genera frentes de onda que viajan

HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL

Ing. José Christian Huertas Ansell
C.P. N° 146105

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

por el subsuelo. Estos frentes de onda o simplemente ondas sísmicas, al encontrar interfaces entre dos medios con propiedades elásticas diferentes, provocan que parte de su energía continúe penetrando a mayor profundidad y otra parte viaje por la interfaz y regresa a la superficie donde es registrada por los geófonos.

La onda o fase sísmica P llega a los geófonos pasado un tiempo t_i denominado Tiempo de Arribo, el cual va a depender principalmente de la distancia d_i , comprendida entre el punto de disparo y su recorrido por el subsuelo hasta llegar al geófono. Sin embargo, este tiempo se ve afectado por las propiedades de elasticidad y densidad del medio por el cual viaja. Cabe señalar que el método de refracción sísmica está limitado a determinar capas de velocidades crecientes con las profundidades de investigación.

Una vez establecidos los objetivos de la exploración sísmica y determinado el lugar del levantamiento, en cada línea sísmica se fijan los intervalos de espaciamento Fuente – Geófonos (según arreglo de campo) y Geófono - Geófono (2 m), con la finalidad de obtener la mayor precisión en el tiempo de arribo en cada geófono a partir de la señal sísmica y lograr la profundidad requerida en los objetivos.

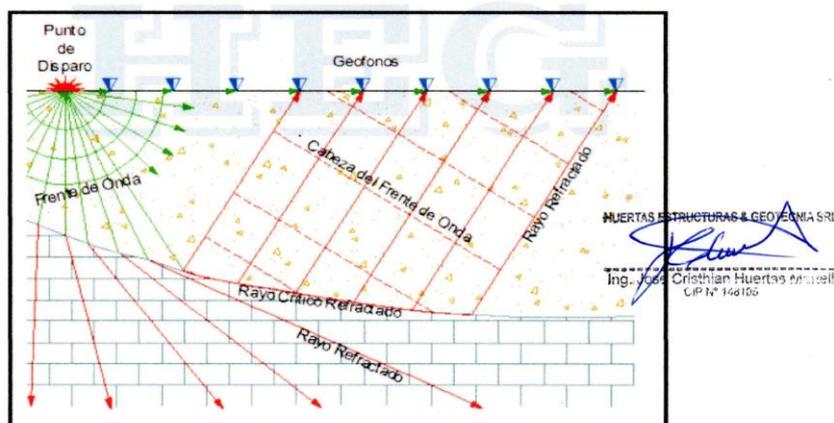
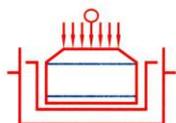


Figura 5.1 Tendido Sísmico de Refracción Típica

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

5.2. Principio del Método de Sísmica Activa (MASW)

El ensayo MASW o Análisis Multicanal de las Ondas Superficiales, se define según la dispersión o el cambio en velocidad de fase respecto a la frecuencia, la cual es la propiedad fundamental utilizada en métodos de onda de superficie. La velocidad de onda de corte puede ser derivada invirtiendo la velocidad de fase dispersiva de las ondas superficiales.

La dispersión de ondas de superficie puede ser significativa en presencia de capas de velocidad, lo cual es común en ambientes cercanos a la superficie. Existen otros tipos de ondas de superficie (ondas que se propagan a lo largo de la superficie de la tierra), pero para esta aplicación, se enfoca en las ondas Rayleigh, también conocidas como "ground roll". Por ello, el término onda superficial, cuando se usa en SASW (Spectral Analysis of Surface Wave), MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave) o MAM (Micro-Tremor Array Measurement) refiere básicamente a las ondas Rayleigh.

Existen dos maneras en que las ondas superficiales son generadas: Fuentes activas, cuando la energía es ocasionada intencionalmente en una ubicación específica, registrando los datos en el momento en que se genera la energía. Asimismo, también existen las fuentes pasivas, o estudios de micro tremores donde el registro y el movimiento son continuos, la energía ambiental es generada por ruido cultural, tráfico, fábricas, viento, movimiento ondulatorio, entre otros.

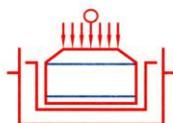
Las aplicaciones más comunes de la refracción sísmica en la ingeniería son para la determinación de la profundidad del basamento rocoso, para la determinación de las condiciones (meteorización, facturación) y competencia de la roca, grado de compacidad de los diferentes horizontes elásticos presentes en el sub suelo. También es muy útil para detección de fallas geológicas. Sarria (1996) enuncia otras potenciales aplicaciones del método:

- a) utilización del ruido sísmico para determinar el módulo dinámico G en masas de arcilla;

HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL

Ing. José Christian Huertas Masabell

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

- b) evaluación del amortiguamiento;
- c) evaluación de los límites de Atterberg;
- d) determinación de módulos E (Modulo de Young) y G (Modulo de Corte).

Con las velocidades obtenidas de la refracción sísmica para las ondas de compresión (P) y ondas de corte (S), nos permite estimar la rigidez inicial del suelo, así como sus constantes elásticas dinámicas en la determinación de la respuesta dinámica del suelo.

Estas constantes están definidas así:

$$\mu = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2[(V_p/V_s)^2 - 1]}$$

$$E = 2(1 + \mu)G$$

$$G = \rho V_s^2$$

Donde:

μ = Relación de Poisson

E = Modulo de Young

G = Modulo de corte

HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL

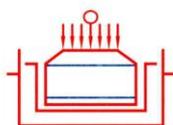
Ing. Jose Christian Huertas Maxwell
CIP N° 146106

6.0 Procedimiento de los trabajos de Campo

En los ensayos de campo que se realizaron se ubica en el punto central donde se desea obtener el perfil sísmico, luego se procede a instalar los geófonos y los cables de conexión al equipo de adquisición de datos.

Se ejecuto 02 sondajes de Refracción Sísmica y MASW-1D, con una separación de 2.0 m entre geófonos. La fuente de energía utilizada para generar las ondas sísmicas, fue una comba de 16 lbs. el cual se golpea sobre un plato metálico generándose las ondas de corte en el terreno.

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA S.R.L.
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

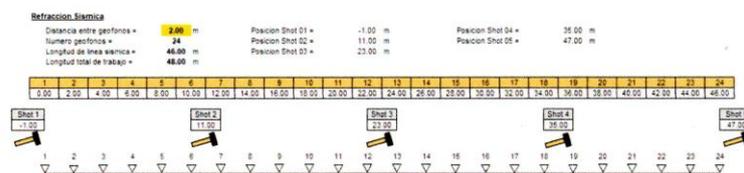


Figura 6.1 Diagrama de Toma de Datos en el Ensayo de refracción Sísmica



Figura 6.2 Diagrama de Toma de Datos en el Ensayo de MASW-1D

7.0 Valores típicos de ondas de propagación

Se ha recopilado tablas de diversos autores, que contienen velocidades de propagación de ondas de propagación, los que sirven de referencia en etapas de interpretación de los resultados

HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA S.R.L.

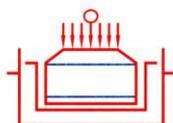
Tabla 7.1 Valores típicos de ondas Vp según Arce Hellberg, 1990

Descripción	Vp (m/s)
Suelo de cobertura	< 1000
Roca muy alterada o aluvión compacta	1000 – 2000
Roca alterada o aluvión muy compacta	2000 – 4000
Roca poco alterada	4000 – 5000
Roca firme	> 5000

Tabla 7.2 Valores típicos de ondas Vs según CISMID, 1991

Descripción	Vs (m/s)
Limo	210
Arcilla	350
Arena	450
Arena Fina	460

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

Arena Media	600
Arena Gruesa	300
Arena Marina	360
Grava	510
Grava Gruesa	650

Tabla 7.3 Valores de ondas Vs según suelos de la norma E.030 del RNE, 2016

Tabla N° 2 CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO			
Perfil	\bar{V}_s	\bar{N}_{60}	\bar{s}_u
S ₀	> 1500 m/s	-	-
S ₁	500 m/s a 1500 m/s	> 50	> 100 kPa
S ₂	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S ₃	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S ₄	Clasificación basada en el EMS		

8.0 Instrumentos para el levantamiento geofísico de exploración

8.1. Equipo Utilizado para la Sísmica de Refracción

Para este levantamiento, se empleó el siguiente equipo:

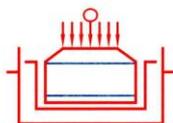
- 01 sismografo Digital de 24 canales, GEA24 marca PASI
- Computador Portatil HP para recepcion y procesamiento de datos de campo
- 02 cables sísmicos de 12 canales cada uno
- 24 geofonos de 4.5 Hz.
- Comba de 16 libras
- Caja de Herramientas
- Cinta metrica

En general, la unidad de registro (sismógrafo) es controlada a través de una computadora portátil incorporada usando el software PASI Gea24, el cual incluye rutinas de lecturas interactivas de los primeros arribos de las ondas refractadas, que sirven para optimizar la toma de datos.

HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL

Ing. Jose Christian Huertas
C.P. N° 142105

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

Esta opción de lectura permite sumar datos de múltiples impactos, permitiendo mejorar la señal sísmica/ruido. Con ello se podrá definir mejor los cambios de velocidad en profundidad y así poder determinar el número de capas para cada estudio en campo. Posterior a este proceso, se inicia en la oficina matriz (Trujillo-Peru) el proceso de interpretación.

9.0 Procedimiento de Trabajo de Campo de exploración Geofísica

9.1. Levantamiento de Refracción Sísmica

• **Reconocimiento de la Zona de Estudio.** Consiste en realizar un análisis de las características de la zona de estudio, evaluando los riesgos/peligros que puedan suscitarse. El resultado de este proceso es mejorar y hasta replantear la ubicación y dirección de las líneas geofísicas.

• **Instalación de Equipos y Cables.** Este proceso permite ubicar el equipo, según el número de tendidos previamente planificado. Asimismo, se procede a instalar los cables y los equipos de medición. Cabe señalar que los puntos de adquisición podrán modificarse conforme se adquiere los datos con la intención de mejorar la adquisición.

• **Toma de Datos.** El operador del equipo (Sismógrafo), define y califica los datos conforme se van adquiriendo, indicando repeticiones o cambio de fuentes de energía o posición del equipo, según sea conveniente o necesario para el levantamiento geofísico.

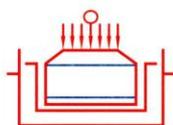
• **Profesionales Responsables.** Los ensayos se realizaron ayuda de los siguientes profesionales:

- Ing. Jose Cristhian Huertas Martell: Operario del equipo
- Kevin Estrada Niño: Técnico de campo para instalación y Stacking

HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL

Ing. Jose Cristhian Huertas Martell
C.P. N° 146102

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

9.2. Criterio de Procesamiento de la Sísmica

- **Análisis de Registro y Calificación de Datos**

El análisis de cada registro se aplica en todos los métodos sísmicos (Refracción y MASW-1D), inicialmente en campo y posterior en gabinete; y generalmente es antes de iniciar el procesamiento.

En este proceso se verifica y analiza cada una de las señales obtenidas en campo, calificando cada uno de los registros y sus repeticiones a fin de obtener el registro de mejor calidad para la identificación de fases (P y S).

Esta calificación de datos consiste en verificar digitalmente la información obtenida en campo, con el fin de discriminar aquellas que muestren baja calidad.

- **Procesamiento de Datos**

Para la refracción sísmica, se determina el tiempo de arribo de cada geófono y de cada traza. Para ello se hace uso del software llamado SEISIMAGER.

Una vez definido el tiempo de arribo para la refracción, se procesa a través de ciertas iteraciones del programa y se obtiene las gráficas de Perfil de Velocidad Directa y de Corte (V_p y V_s) para intervalo de profundidad.

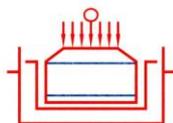
- **Parámetros de Adquisición**

El levantamiento se realizó empleando los siguientes parámetros, tal como se muestra en las siguientes tablas.

HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL

Ing. José Cristian Huertas Masueli
CIP N° 148105

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

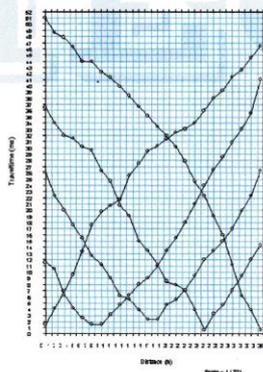
Tabla 9.1 Parámetros de la Refracción Sísmica

Parámetro	Descripción
Configuración de dispositivo	Lineal
Intervalo de geófono	2.00 m
Numero de geófonos	24 unidades
Tipos de geófono	Geófono vertical de 4.5 Hz
Fuente Sísmica	Comba de 16 lb
Activación	Interruptor de tiro conectado al puerto
Intervalo de muestreo	0.25 ms
Longitud de registro	0.5 s
Stacking	5

10.0 Resultados

A continuación, se presenta los resultados de las capas representativas identificadas, sus respectivos rangos de velocidad, el estado de compacidad inferido de acuerdo a sus velocidades de ondas de propagación, obtenidas de tablas referenciales de velocidad por tipo de material, así como la interpretación de cada horizonte elástico.

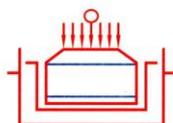
A. LS-01 – Zona de Trocha Carrozable



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
[Signature]
Ing. José Cristhian Huertas Arellano
CIP N° 146105

Figura 10.1 Calculo de Domochronicas staking 01 a 05

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

Refracción Sísmica - Línea Sísmica LS-01

- Capa 01 ($V_p = 940$ m/s)
Material de préstamo compuesto por suelo granular grueso conformado por gravas, arenas, limos y arcillas de compacidad alta (compactado para la conformación de la trocha) parcialmente saturado.
- Capa 02 ($V_p = 1560$ m/s)
Roca muy alterada o aluvión compacta tipo Diorita y/o Granodiorita, parcialmente saturado y compacidad alta.
- Capa 03 ($V_p = 1932$ m/s)
Roca poco alterada tipo Diorita y/o Granodiorita, parcialmente saturado y compacidad muy alta.

Sísmica Activa – Pasiva (MASW)

La variación de la velocidad de corte V_s , en función de la profundidad, se comporta como un suelo rígido según la clasificación sísmica NTP E0.30 y la clasificación sísmica de la IBC -2012, presentando un valor promedio de $V_s=1048.49$ m/s

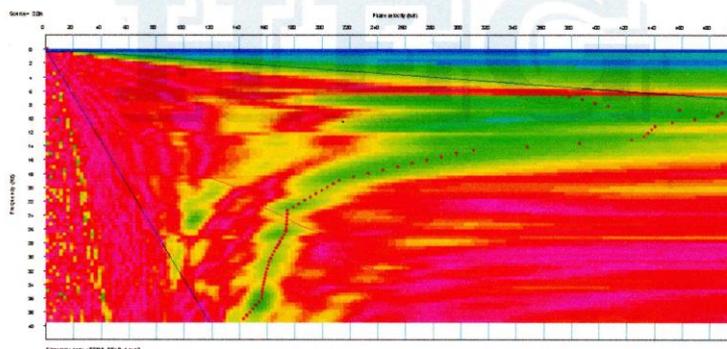
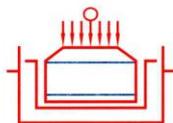


Figura 10.2 Velocidad de fase vs Frecuencia

HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
[Signature]
Ing. José Christian Huertas Masull
CIP N° 146165

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

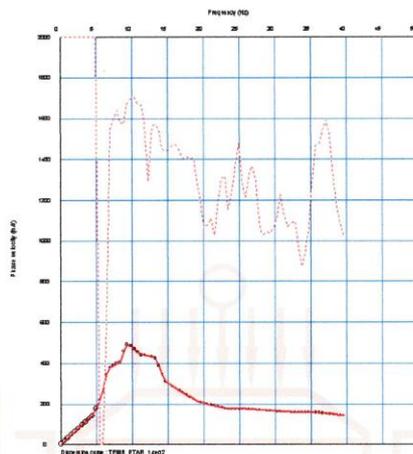


Figura 10.3 Curva de dispersión del MASW-01

En base a lo obtenido anteriormente se pudo construir el siguiente perfil de velocidades para la zona en estudio.

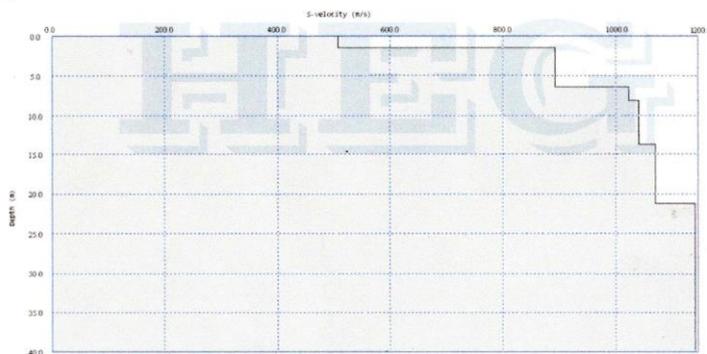
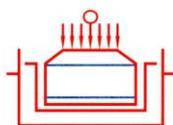


Figura 10.4 Perfil sísmico de Ondas S (Vs) MASW-01

HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL

Ing. José Cristian Huertas Arellano
CIP N° 146105

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

B. LS-02 – Zona Baja del Talud

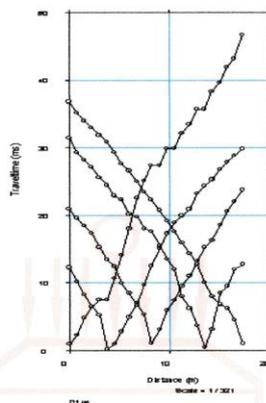


Figura 10.5 Cálculo de Domocronicas staking 01 a 05

Refracción Sísmica - Línea Sísmica LS-02

- Capa 01 ($V_p = 1550$ m/s)
Roca muy alterada o aluvión compacta tipo Diorita y/o Granodiorita, parcialmente saturado y compacidad alta.
- Capa 02 ($V_p = 1929$ m/s)
Roca poco alterada tipo Diorita y/o Granodiorita, parcialmente saturado y compacidad muy alta.

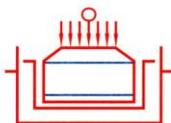
Sísmica Activa – Pasiva (MASW)

La variación de la velocidad de corte V_s , en función de la profundidad, se comporta como un suelo intermedio a suelo rígido según la clasificación sísmica NTP E0.30 y la clasificación sísmica de la IBC -2012, presentando un valor promedio de $V_s=1046.55$ m/s

HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL

Ing. José Cristian Huertas Ampuero
CIP N° 146105

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

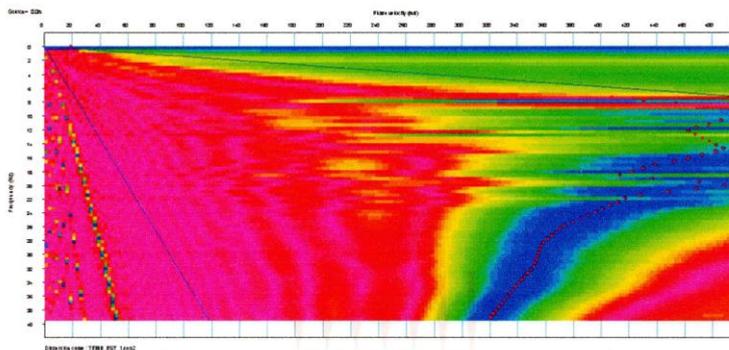


Figura 10.6 Velocidad de fase vs Frecuencia

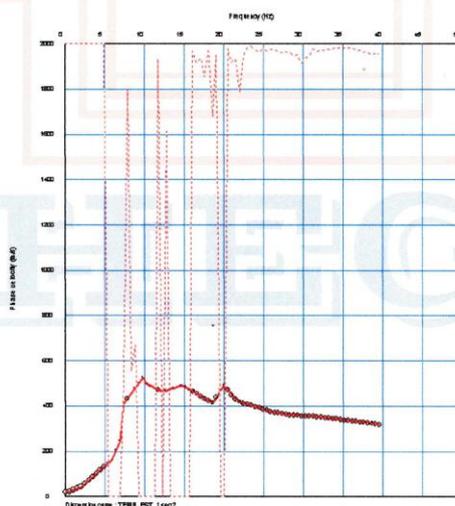
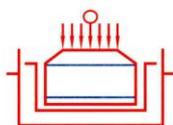


Figura 10.7 Curva de dispersión del MASW-02

HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL

Ing. José Cristian Huertas Arellano
CIP N° 142105

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

En base a lo obtenido anteriormente se pudo construir el siguiente perfil de velocidades para la zona en estudio.

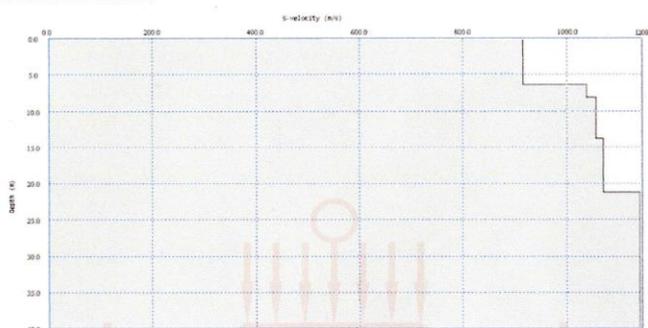


Figura 10.8 Perfil sísmico de Ondas S (Vs) MASW-02

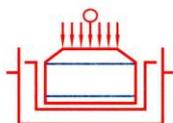
Tomando el promedio de ambos ensayos MASW-1D, se tiene el siguiente factor de amplificación por condiciones locales del suelo según la norma E.030 de diseño sísmo Resistente.

Tabla 10.1 Cálculo de Vs promedio según norma E.030 del RNE

ESTRATO	Prof. (m)	V _{si} (m/s)	d _i (m)	d _i /V _{si}
1	1	504	1.00	0.002
2	2	888	1.00	0.001
3	4	888	2.00	0.002
4	6	1007	2.00	0.002
5	8	1050	2.00	0.002
6	10	1050	2.00	0.002
7	12	1050	2.00	0.002
8	14	1110	2.00	0.002
9	16	1110	2.00	0.002
10	18	1110	2.00	0.002
11	20	1110	2.00	0.002
12	22	1195	2.00	0.002
13	24	1195	2.00	0.002
14	26	1195	2.00	0.002
15	28	1195	2.00	0.002
16	30	1195	2.00	0.002
TOTAL:		16852	30.00	0.029

HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Ing. José Cristian Huertas Masall
CIP N° 146109

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

$V_s \text{ prom} = 1047.55 \text{ m/s}$
Suelo = S1

11.0 Conclusiones

- El levantamiento de Refracción Sísmica (LS) y la Sísmica Activa-Pasiva (MASW), se ha desarrollado de acuerdo a las exigencias internacionales y siguiendo los patrones que rigen las Normas ASTM D5777 - 1995 Standard Guide for Using the Seismic Refraction y ASTM D74318-05 (MASW-MAM Muntichannel Analysis of Surface Wave).
- Las líneas geofísicas han sido ubicadas en una zona libre y que se tenga la mayor longitud posible, de acuerdo a los objetivos del estudio, conocer la estratigrafía del terreno donde serán ubicados los cimientos del proyecto, con el fin de obtener los perfiles unidimensionales de ondas de corte y poder inferir la compacidad del subsuelo hasta una profundidad de 30 m.
- Las profundidades de exploración que se alcanzaron con los sondeos de Refracción Sísmica y MASW fueron en promedio de 30 m, dichas profundidades sirvieron para determinar de manera indirecta la potencia y/o espesores de los diferentes estratos en cada uno de los sondeos realizados.
- De los resultados de la exploración geofísica mediante refracción sísmica, se establece la presencia de tres estratos bien definidos:
 - Capa 01 ($V_p = 950 \text{ m/s}$)
Material de préstamo compuesto por suelo granular grueso conformado por gravas, arenas, limos y arcillas de compacidad alta (compactado para la conformación de la trocha) parcialmente saturado.
 - Capa 02 ($V_p = 1555 \text{ m/s}$)
Roca muy alterada o aluvión compacta tipo Diorita y/o Granodiorita, parcialmente saturado y compacidad alta.

HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL

Ing. José Christian Huertas Avila del
CIP N° 144 165

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

- Capa 03 ($V_p = 1930$ m/s)

Roca poco alterada tipo Diorita y/o Granodiorita, parcialmente saturado y compacidad muy alta.

Tabla 11.1 Interpretación de resultados de V_p y V_s

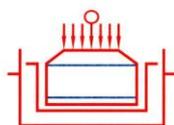
Profundidad (m)	Tipo	V_p (m/s)	V_s (m/s)	Interpretación
0.00 – 1.00	UG-1	950	504	Material de préstamo compuesto por suelo granular grueso conformado por gravas, arenas, limos y arcillas de compacidad alta (compactado para la conformación de la trocha) parcialmente saturado.
1.00 – 6.00	UG-2	1560	888	Roca muy alterada o aluvión compacta tipo Diorita y/o Granodiorita, parcialmente saturado y compacidad alta.
6.00 – 30.0	UG-3	1930	1120	Roca poco alterada tipo Diorita y/o Granodiorita, parcialmente saturado y compacidad muy alta.

Tabla 11.2 Correlación de propiedades físicas y elásticas con V_p y V_s

Prof. (m)	Densidad (kN/m^3)	Tipo	V_p (m/s)	V_s (m/s)	u	G (tonf/m^2)	E (tonf/m^2)	E (kN/m^2)
1	23.00	UG-1	950	504	0.304	59592.2	1.55E+05	1.52E+06
2	22.00	UG-2	1555	888	0.258	176949.3	4.45E+05	4.37E+06
4	22.00	UG-2	1555	888	0.258	176949.3	4.45E+05	4.37E+06
6	25.50	UG-3	1740	1007	0.248	263754.1	6.58E+05	6.46E+06
8	25.50	UG-3	1820	1050	0.251	286760.3	7.17E+05	7.04E+06
10	25.50	UG-3	1820	1050	0.251	286760.3	7.17E+05	7.04E+06
12	25.50	UG-3	1820	1050	0.251	286760.3	7.17E+05	7.04E+06
14	25.50	UG-3	1900	1110	0.241	320469.2	7.95E+05	7.80E+06
16	25.50	UG-3	1900	1110	0.241	320469.2	7.95E+05	7.80E+06
18	25.50	UG-3	1900	1110	0.241	320469.2	7.95E+05	7.80E+06
20	25.50	UG-3	1900	1110	0.241	320469.2	7.95E+05	7.80E+06
22	25.50	UG-3	2060	1195	0.246	371429.3	9.26E+05	9.08E+06
24	25.50	UG-3	2060	1195	0.246	371429.3	9.26E+05	9.08E+06
26	25.50	UG-3	2060	1195	0.246	371429.3	9.26E+05	9.08E+06
28	25.50	UG-3	2060	1195	0.246	371429.3	9.26E+05	9.08E+06
30	25.50	UG-3	2060	1195	0.246	371429.3	9.26E+05	9.08E+06

HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
 Ing. José Contreras Huertas Mista
 CIP N° 148105

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
 ☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

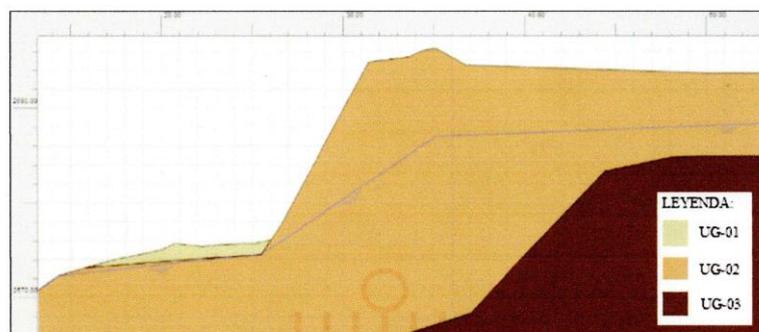


Figura 10.1 Perfil estratigráfico sísmico de Ondas S (Vs) del tramo en estudio

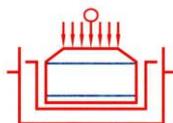
- En base a lo analizado por el solicitante (ensayos directos) y los resultados encontrados en el presente informe, se puede intuir la presencia de agua freática, el cual se encontraría tal como se muestra en la figura 10.1 trazado como una línea azul.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en los perfiles unidimensionales, se puede concluir que los resultados son consecuentes con la obtención de la data, el respectivo procesamiento y las condiciones de terreno reflejándose en las medidas de las velocidades de ondas de corte del ensayo de refracción y MASW.
- Los ensayos de Refracción y MASW son ensayos para un análisis indirecto que tiene un grado de aproximación aceptable, sin embargo, requieren de algunas verificaciones mediante perforaciones para determinar su grado de precisión.
- Según la normativa peruana, los suelos de la zona se clasifican como suelo S1.

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{V_{s,i}} \right)}$$

HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL

Ing. José Christian Huertas Marulid
CIP N° 148195

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

Tabla N° 2
CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO

Perfil	\bar{v}_s	\bar{N}_{60}	\bar{s}_u
S ₀	> 1500 m/s	-	-
S ₁	500 m/s a 1500 m/s	> 50	> 100 kPa
S ₂	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S ₃	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S ₄	Clasificación basada en el EMS		

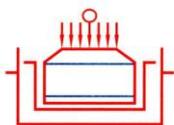
- En función a la zona sísmica en la que se encuentra (Zona 02, $Z = 0.25$) y el tipo de suelo encontrado (Suelo S1, $S = 1.00$), los horizontes estratigráficos amplificarán la onda sísmica que llega desde el hipocentro, de modo que la fuerza sísmica actuante en la estructura será amplificada en 1.0 veces que la intensidad generada durante el evento sísmico.
- El presente estudio solo es válido para la zona donde se realizó el ensayo.

Trujillo, mayo del 2024



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
J. Huertas
Ing. José Cristian Huertas Mantilla
CP N° 148108

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

Anexos

Anexo A. Datos de campo de Stacking en LS_01

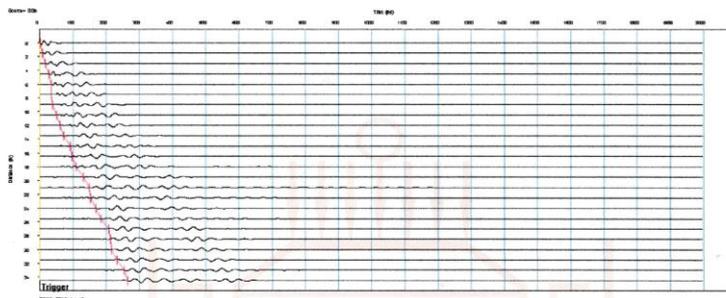


Figura A.1 Datos de entrada de Stacking 01

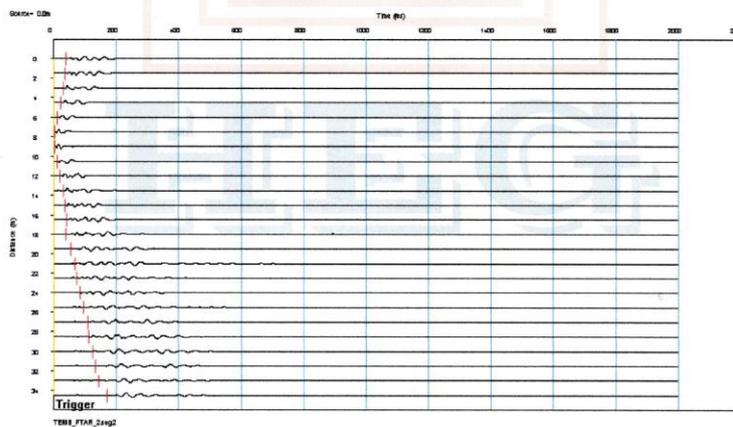
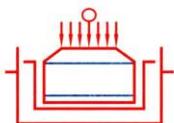


Figura A.2 Datos de entrada de Stacking 02

HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL

Ing. Jose Cristian Huertas Miroslav
CIP N° 146110

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

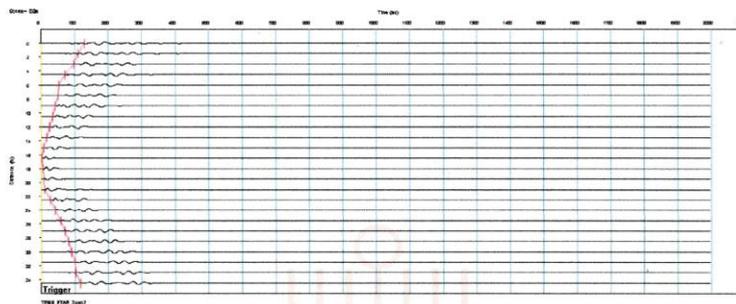


Figura A.3 Datos de entrada de Stacking 03

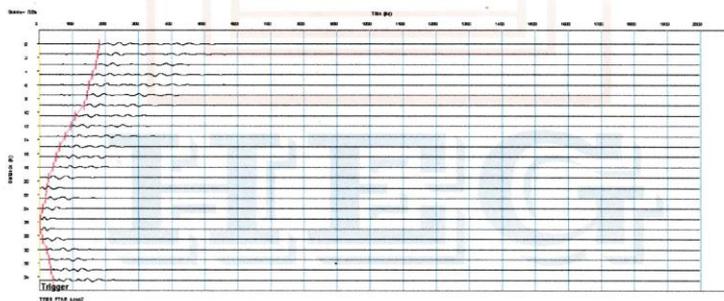
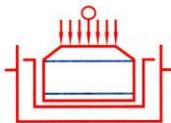


Figura A.4 Datos de entrada de Stacking 04

HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA - SRL

Ing. Alex Cristian Huertas Masrell
CIP N° 146108

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

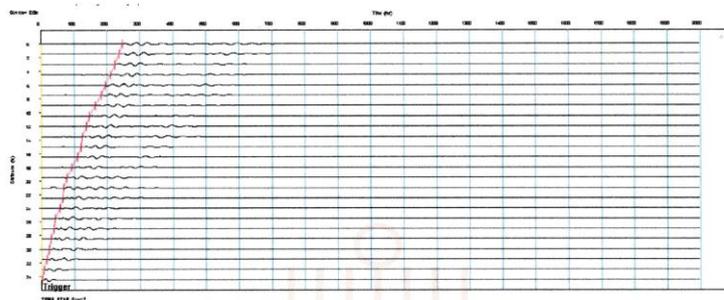
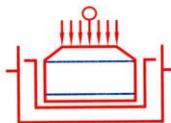


Figura A.5 Datos de entrada de Stacking 05

HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL

Ing. José Cristian Huertas Merrell
CIP N° 146105

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

Anexo A. Datos de campo de Stacking en LS_02

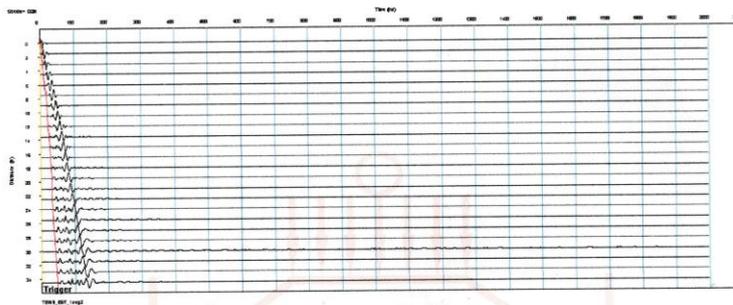


Figura A.6 Datos de entrada de Stacking 01

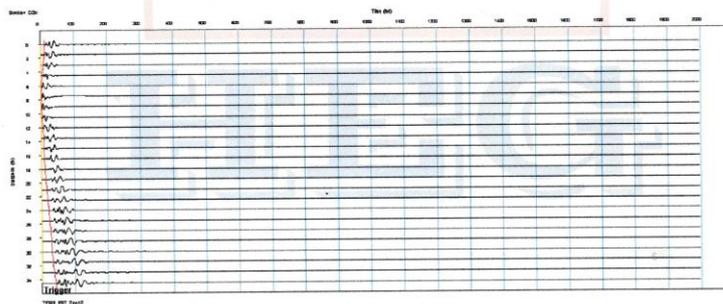
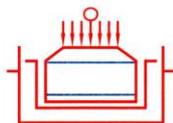


Figura A.7 Datos de entrada de Stacking 02

HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
J. Huertas
Ing. José Christian Huertas Arzuaga
C.I.P. N° 146165

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

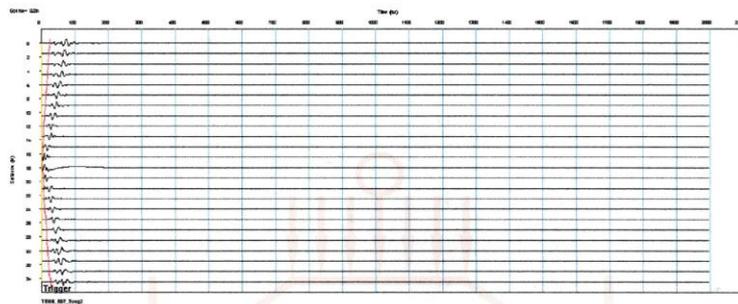


Figura A.8 Datos de entrada de Stacking 03

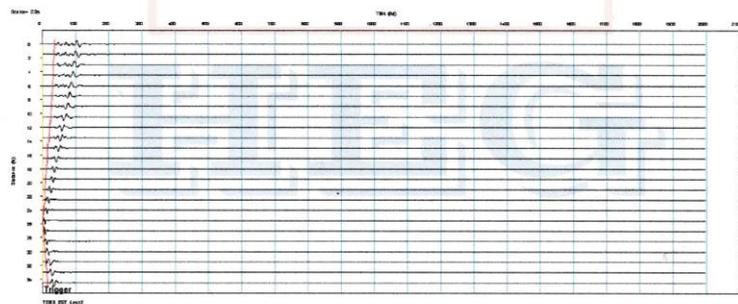


Figura A.9 Datos de entrada de Stacking 04

HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL

Ing. Jose Cristian Huertas
CIP N° 146135

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463



HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL
Laboratorio Geotécnico, Estructural y Ensayos de Materiales de Construcción

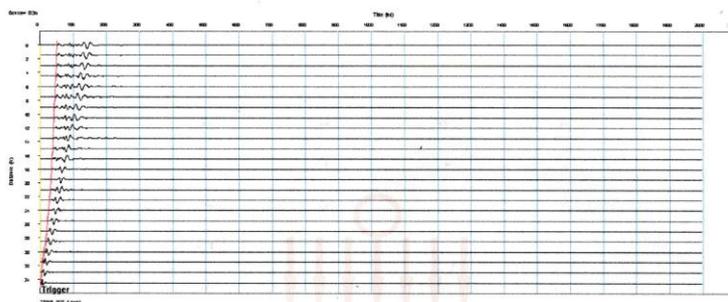


Figura A.10 Datos de entrada de Stacking 05

HUERTAS ESTRUCTURAS & GEOTECNIA SRL

Ing. José Christian Huertas Martell
CIP 147 164 115

Calle Paisajista S/N Mz. I Lote 12 Urb. Upao II - Trujillo - R.U.C. 20607116220
☎ 963944575 - 974960020 - 943721150 - 947510463