

ACOMPaña DOCUMENTOS

SUPERINTENDENCIA DEL MEDIO AMBIENTE

Miguel Ángel Lara Pereira, en representación de **Hidroeléctrica Roblería SpA**, en el procedimiento sancionatorio **Rol D-109-2018**, a usted respetuosamente digo:

Mediante su Resolución Exenta N°7, de 29 de noviembre de 2021 (“**RE N°7**”), y en relación a las medidas provisionales, venimos en acompañar de conformidad al cronograma de trabajo que se acompañó en presentación que realizaremos con fecha 17 de diciembre de 2021, informe denominado “Informe de estabilidad Taludes Afectados”, de marzo de 2022 de la empresa Geodrilling.

De conformidad al referido cronograma, corresponde ahora la cotización de los trabajos de Soil Nailing, según las recomendaciones del informe mencionado.

POR TANTO, en virtud de lo dispuesto en las normas citadas,

A la Superintendencia del Medio Ambiente, respetuosamente pido: Tener por acompañado el documento indicado, ordenada por la Resolución Exenta N° 2026 de 2020.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'M. Lara', is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

HIDROELÉCTRICA ROBLERÍA SpA

PROYECTO ADUCCIÓN NACIMIENTO

INFORME DE ESTABILIDAD TALUDES AFECTADOS

Preparado para: *Sr. René Ilabaca. Jefe de Ingeniería. ANPAC.*

Rev. 1

Marzo de 2022.

SANDRO AGUILERA A.

INGENIERO CIVIL U. DE CHILE

MIGUEL CLARO 2194C -

FONO: +56992362729 -

ÑUÑO A

E-mail: saguilerast@gmail.com



ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	5
1.1	GENERAL.....	5
1.2	UBICACIÓN.....	5
1.3	ALCANCES DEL TRABAJO.....	6
1.4	REFERENCIAS	6
2	CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL AREA DE ESTUDIO	7
2.1	VISITA A TERRENO	7
2.2	CONDICIÓN GEOLÓGICA	8
2.2.1	Talud 1 Pk 0+400 a 0+450	8
2.2.2	Talud 2 Pk 1+190 a 1+230	9
3	ANTECEDENTES GEOTECNICOS	13
3.1	EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO	13
3.2	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	13
3.3	ENSAYOS GEOFÍSICOS EN TERRENO	15
3.4	MODELO ESTRATIGRÁFICO	17
4	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	20
4.1	METODOLOGÍA	20
4.2	PARÁMETROS MATERIALES INVOLUCRADOS EN EL DISEÑO	20
4.2.1	Unidades geológico-geotécnicas	20
4.2.2	Pernos de refuerzo	21
4.3	CONSIDERACIONES.....	21
4.3.1	Nivel freático.....	21
4.3.2	Coeficientes sísmicos.....	21
4.3.3	Sobrecargas	21
4.4	CRITERIOS DE ACEPTABILIDAD	22
4.5	GEOMETRÍA DE REFUERZO UTILIZADO.....	22
4.5.1	Talud Sector 1 (Pk 0+400 a 0+450)	22
4.5.2	Talud Sector 2 (Pk 1+190 a 1+230)	23
4.6	RESULTADOS.....	25

4.6.1	Talud Sector 1 (Pk 0+400 a 0+450)	25
4.6.2	Talud Sector 2 (Pk 1+190 a 1+230)	25
5	CONCLUSIONES.....	27
6	RECOMENDACIONES DE MONITOREO DE TALUDES.....	29
7	RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS GENERALES.....	30
7.1	EXCAVACIONES.....	30
7.2	SISTEMA SOIL NAILING.....	30
7.2.1	Características mínimas del sistema	30
7.2.2	Shotcrete	31
7.3	SISTEMA DE GEOMANTA	32
7.4	AGUAS LLUVIAS.....	33
8	ASPECTOS DE ESTABILIDAD TÚNEL ADUCCIÓN	34

Anexo A: Figuras análisis de estabilidad Sector 1

Anexo B: Figuras análisis de estabilidad Sector 2

Anexo C: Investigaciones de terreno y ensayos de laboratorio

Anexo D: Plano de Unidades Geológicas

INDICE FIGURAS

Figura 1-1.	Ubicación del proyecto en planta.....	5
Figura 2-1.	Vista general del talud 1 Pk 0+400 a 0+450. Vista hacia el Norte.....	9
Figura 2-2.	Vista del deslizamiento del Talud 2 Pk 1+190 a 1+230. Vista desde el camino vecinal.....	11
Figura 2-3.	Vista del deslizamiento del Talud 2 Pk 1+190 a 1+230. Vista desde el camino del proyecto.	11
Figura 2-4.	Vista 1 de Microterrazas ejecutadas en Talud 2 Pk 1+190 a 1+230. Vista desde el camino del proyecto.	12
Figura 2-5.	Vista 2 de Microterrazas ejecutadas en Talud 2 Pk 1+190 a 1+230. Vista desde el camino del proyecto.	12
Figura 3-1.	Gráfico de distribución granulométrica de muestras de calicatas ejecutadas.....	14

Figura 3-2. Carta de Plasticidad con la muestra de calicata C-1 ejecutada el Sector 1.....	15
Figura 3-3. Mediciones ensayos geofísicos fuentes activas y pasivas realizadas en el Talud 1 (a) y Talud 2 (b). 2.	16
Figura 3-4. Perfiles de velocidades de ondas de corte obtenidos a partir de ensayos geofísicos para el Talud y Talud 2.	17
Figura 3-5. Modelo estratigráfico del Talud 1 (Pk 0+400 a 0+450).....	18
Figura 3-6. Modelo estratigráfico del Talud 2 (Pk 1+190 a 1+230).....	19
Figura 4-1. Geometría del refuerzo recomendado en Sector 1 (Pk 0+400 a 0+450).	23
Figura 4-2. Geometría del refuerzo recomendado en Sector 2 (Pk 1+190 a 1+230).	24

INDICE TABLAS

Tabla 3-1. Características generales de calicatas ejecutadas	13
Tabla 3-2. Distribución granulométrica de muestras de calicatas ejecutadas.	13
Tabla 4-1. Propiedades geotécnicas unidades detectadas.	20
Tabla 4-2. Factores de seguridad diseño pernos de refuerzo.	21
Tabla 4-3. Criterios de Aceptabilidad.....	22
Tabla 4-4. Geometría refuerzo utilizado en los análisis de estabilidad para el Sector 1.....	23
Tabla 4-5. Geometría refuerzo utilizado en los análisis de estabilidad para el Sector 2.....	24
Tabla 4-6. Factores de seguridad de análisis de estabilidad Sector 1	25
Tabla 4-7. Factores de seguridad de análisis de estabilidad Sector 2	26

1 INTRODUCCIÓN

1.1 General

Hidroeléctrica Roblería SpA ha solicitado a Geodrilling Ltda. (El Consultor) la ejecución de un informe que incluye la estabilidad física de 2 sectores (taludes) que han presentado fallas y deslizamientos locales durante la etapa de construcción de la Tubería de Aducción Nacimiento. La estabilidad se ha ejecutado por métodos de equilibrio límite y considera la nueva información geofísica recabada en la última campaña ejecutada (Ref. 4)

Estos tramos corresponden a Talud 1 (Pk 0+400 a 0+450) y Talud 2 (PK1+190 a 1+1+230).

De esta forma, en la presente emisión de este documento se entrega una actualización del diseño de refuerzo de los taludes 1 y 2, el cual considera la información analizada en las revisiones anteriores (visita a terreno, calicatas y ensayos de laboratorio) junto con las prospecciones geofísicas desarrolladas en abril del 2019 para cada sector en estudio (Ref. 4).

1.2 Ubicación

La ubicación del proyecto Tubería de Aducción Nacimiento se muestra en la Figura 1-1. siendo estas obras complementarias de la central hidroeléctrica Roblería.

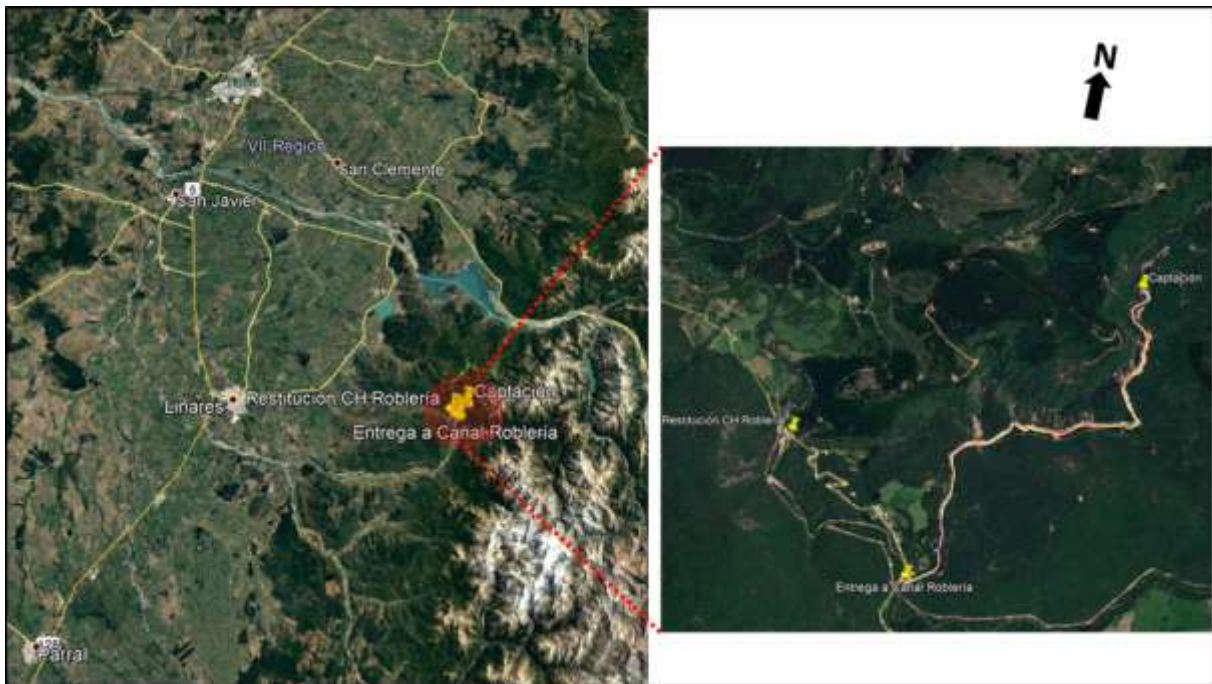


Figura 1-1. Ubicación del proyecto en planta.

1.3 Alcances del trabajo

El alcance del trabajo incluye los siguientes aspectos:

- Visita a obra, ejecutada por ingeniero geotécnico senior y geólogo senior, para observar y evaluar la condición actual de los taludes en el Talud 1 (Pk 0+400 a 0+450) y Talud 2 (Pk 1+190 a 1+230).
- Revisión de los resultados de los ensayos geofísicos en terreno para estimar las modelaciones estratigráficas inferidas a partir de la nueva geofísica (Ref. 4).
- Estimación de los parámetros resistentes de las unidades geológico-geotécnicas de los distintos sectores analizados con base en los resultados de ensayos de laboratorio y las velocidades de ondas entregadas por los ensayos geofísicos realizados.
- Análisis de estabilidad estático y pseudoestático, realizado mediante equilibrio límite, de las secciones más desfavorables para cada uno de los sectores estudiados.
- Recomendaciones y optimización de solución de refuerzo en sectores con deslizamientos ya ocurridos.
- Recomendaciones de monitoreo geotécnico de taludes.
- Recomendaciones y conclusiones finales.
- Ejecución de plano de unidades geológicas en sector de tubería de aducción
- Comentarios geotécnicos-geomecánicos respecto túnel de aducción en ejecución.
- Finalmente, en Anexo D se detalla el plano de unidades geológicas ejecutado.

1.4 Referencias

Entre los principales antecedentes técnicos utilizados para la elaboración del presente documento, se destacan los siguientes:

- Ref. 1 Bowles, J. (1997). "Foundation Analysis and Design" Fifth Edition.
- Ref. 2 Terzaghi, K., Peck R. & Mesri G. (1996). "Soil Mechanics in Engineering Practice" Third Edition.
- Ref. 3 Robert, W. Day (2002), Geotechnical Earthquake Engineering Handbook.

- Ref. 4 Geodrilling (2019). “Informe Geofísico Estimación Profundidad de Basamento Rocoso Taludes Sector 1 y Sector 2 Aducción Central Hidroeléctrica Roblería”. Rev. 0
- Ref. 5 Ampuero, A. & Van Sint Jan, M. (2004) “Velocidades de Onda medidas en Santiago con el Ensayo de Refracción Sísmica”.
- Ref. 6 Brac Ingeniería S.A. Informe de Mecánica de Suelos. Proyecto Central Hidroeléctrica Roblería. VII Región del Maule Rev. A. Julio 2015.
- Ref. 7 Xoren Earth Group. Informe de Caracterización Geológica de Ladera - Proyecto Aducción Nacimiento. Diciembre 2018.
- Ref. 8 Plano Proyecto aducción Nacimiento. Trazado General Aducción – Planta y Perfiles. Plano N°: NAC-HID-TUB-001@003-B. diciembre 2017.
- Ref. 9 Plano Levantamiento Topográfico Nacimiento. Basado en tecnología Lidar. Diciembre 2018.
- Ref. 10 Plano Levantamiento Geodésico Altimétrico, que incluye un levantamiento del camino del proyecto y el camino vecinal, Escala 1:1.000. 05 febrero de 2019.
- Ref. 11 NUC Servicios Geotécnicos y Laboratorio. Informe de Ensayos de Laboratorio – Proyecto Taludes Nacimiento. Febrero 2019.

2 CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL AREA DE ESTUDIO

2.1 Visita a terreno

El día 16 de enero de 2021 dos profesionales de esta consultoría realizaron una visita técnica al sector en estudio (geólogo senior e ingeniero geotécnico senior). Esto con el propósito de identificar los materiales presentes en el sector donde se produjeron las fallas en el talud. Por otra parte, la visita permitió visualizar las unidades geológico-geotécnicas con objeto de ejecutar el plano de unidades del sector.

Los tramos analizados para efectos de estabilidad física corresponden a los siguientes:

- Talud 1 Pk 0+400 a 0+450 (Sector 1)
- Talud 2 Pk 1+190 a 1+230 (Sector 2)

2.2 Condición geológica

2.2.1 Talud 1 Pk 0+400 a 0+450

De acuerdo con lo observado en las inspecciones en terreno y los antecedentes provenientes de estudios recientes, el Talud 1 definido entre el Pk 0+400 a 0+450, corresponde a un deslizamiento superficial de origen reciente.

El material comprometido corresponde al suelo un suelo limo arcilloso y a la cubierta vegetal que conforma la parte superficial del terreno.

En el borde superior del talud se observa el desarrollo de una superficie de rotura, que ha dado origen a un escarpe de erosión activo en el coronamiento del talud.

Se estima que el origen de este deslizamiento de tipo rotacional estaría asociado a una combinación de factores, entre los cuales desatacan:

- i. Intervención de la ladera con corte de talud muy inclinado,
- ii. Concentración de materiales arcillosos y reactivos con la presencia de agua,
- iii. Ocurrencia de un periodo de lluvia intensa que actuaría como un factor erosivo y de saturación, lo que habría generado un aumento en la presión intersticial del suelo y disminución de su resistencia al corte.

La zona comprometida es de unos 50 m de longitud y hasta 22 m de altura máxima, y el material deslizado afecta sólo a una porción del camino en construcción.

Dada la presencia de algunos afloramientos de roca basal cercano a este tramo, se estima visualmente que el horizonte de roca debiera estar a unos 7 a 10 m de profundidad. No se observa presencia de agua subterránea.

En la fotografía de la Figura 2-1 se presenta una vista general del sector inspeccionado durante la visita técnica, correspondiente al área de emplazamiento de la obra de seguridad. Dicho sector se encuentra en la ladera poniente de la quebrada Tinajón.



Figura 2-1. Vista general del talud 1 Pk 0+400 a 0+450. Vista hacia el Norte.

2.2.2 Talud 2 Pk 1+190 a 1+230

Deslizamiento rotacional reciente y activo que afectó a la cubierta vegetal de la superficie y al suelo compuesto por una mezcla heterogénea de gravas arena y limos. En la zona deslizada se observa además un acopio longitudinal de gravas y ripios sueltos provenientes de la parte alta del talud.

En la cabecera del deslizamiento se observa una superficie de rotura, que ha dado origen a un escarpe de erosión de forma semicircular de unos 40 m de longitud, que afecta a la calzada del camino vecinal existente. En la superficie del camino se observa además el desarrollo de grietas de tensión de 1 a 5 m de longitud paralelas a la superficie de rotura (Figura 2-2).

La cubierta vegetal se encuentra totalmente removida de su posición, con árboles y arbustos inclinados, algunos caídos y raíces expuestas. No se observa presencia o afloramiento de agua subterránea.

De acuerdo a lo observado en terreno, el origen de este deslizamiento estaría asociado a un conjunto de variables que participan como factores gatillantes y que habrían favorecido, en distinta proporción, la ocurrencia de este fenómeno gravitacional, estos factores serían:

- i. La presencia de un depósito coluvial antiguo en este tramo
- ii. La ocurrencia de una lluvia intensa, junto a la intervención de la ladera.

Presencia de un depósito coluvial antiguo

De acuerdo a lo observado en la zona de despegue (escarpe de erosión) y en la base del deslizamiento, este segmento de la ladera se caracteriza por la presencia de un depósito coluvial antiguo, que se encuentra parcialmente cubierto por los suelos limo arcillosos y la cubierta vegetal.

Este depósito se extiende longitudinalmente desde la parte alta de la ladera a través de un plano inclinado y se compone de gravas y bloques de roca angulosos y subangulosos de 10 a 20 cm de diámetro, insertos en una escasa matriz limo arenosa.

La ausencia de finos hace suponer que estos depósitos presenten elevadas permeabilidades y una muy baja compacidad, lo que en conjunto determinan un material muy inestable.

La ocurrencia de lluvias intensas

Un periodo de lluvia intensa sería uno de los principales factores asociados a la ocurrencia de este deslizamiento. Los escurrimientos superficiales proveniente de las aguas lluvia tienden a encauzarse a través de los depósitos de gravas, anteriormente descritas, que con sus elevadas permeabilidades son capaces de conducir estas aguas y saturar los suelos superficiales, aumentando la presión intersticial y favoreciendo el desarrollo de superficies de rotura.

Morfológicamente, las imágenes aéreas de este sector confirman una incipiente quebrada por la cual se estarían encauzando y descendiendo las aguas de lluvia desde la parte alta de la ladera.

La intervención de la ladera

La ejecución de cortes de talud para el trazado de la tubería constituye una alteración directa al estado natural de la ladera. Todo corte de talud en una ladera, modifica el estado tensional, provocando una descompresión del material que la constituye y generando desplazamientos que, en el corto o largo plazo, tienden a reestablecer el estado de equilibrio original.

La intervención del talud también implica una disminución de la cobertura vegetal, aumentando significativamente la superficie expuesta a la erosión y favoreciendo el desarrollo de este proceso de remoción en masa activo.



Figura 2-2. Vista del deslizamiento del Talud 2 Pk 1+190 a 1+230. Vista desde el camino vecinal.



Figura 2-3. Vista del deslizamiento del Talud 2 Pk 1+190 a 1+230. Vista desde el camino del proyecto.



Figura 2-4. Vista 1 de Microterrazas ejecutadas en Talud 2 Pk 1+190 a 1+230. Vista desde el camino del proyecto.



Figura 2-5. Vista 2 de Microterrazas ejecutadas en Talud 2 Pk 1+190 a 1+230. Vista desde el camino del proyecto.

3 ANTECEDENTES GEOTECNICOS

3.1 Exploración del subsuelo

La exploración del subsuelo consistió en la ejecución de 2 calicatas de 3 m de profundidad, emplazadas en cada uno de los tramos con taludes inestables.

De acuerdo con la conformación del subsuelo se obtuvieron muestras para definir el programa de ensayos de laboratorio.

En la Tabla 3-1 se detalla la denominación, profundidad y coordenadas de cada una de las calicatas realizadas.

Tabla 3-1. Características generales de calicatas ejecutadas

Denominación Calicata	Coordenada UTM (WGS84)		Profundidad	Ubicación
	Norte	Este		
C-1	6030981	295788	3 m	Talud 1: Pk 0+400 a 0+450
C-2	6030501	295427	3 m	Talud 2: Pk 1+190 a 1+230

3.2 Ensayos de laboratorio

De cada una de las calicatas excavadas se tomaron muestras representativas para la ejecución de ensayos de laboratorio, con el propósito de caracterizar geotécnicamente los materiales representativos de los sitios donde se produjeron las fallas del talud.

Los ensayos han sido realizados por el laboratorio NUC, a partir de los requerimientos definidos por el Consultor.

Los resultados de los ensayos de laboratorio se presentan en el Anexo C.

El programa de ensayos de laboratorio incluye los siguientes ensayos:

- Granulometría
- Densidad de partículas sólidas
- Humedad natural
- Límites de consistencia

Los resultados de la distribución granulométrica son presentados en las Tabla 3-2 y Figura 3-1, correspondiente a muestras tomadas del horizonte superficial encontrado hasta los 3,00 m de profundidad del subsuelo.

Tabla 3-2. Distribución granulométrica de muestras de calicatas ejecutadas.

Distribución Granulométrica de Calicatas Excavadas		
Calicata:	C-1	C-2
Contenido en Gravas	15	73
Contenido en Arenas	15	10
Contenido en Finos	70	17
Límite Líquido (%)	90,0	38,0
Índice de plasticidad (%)	7,8	NP
Horizonte	1	1
Desde (m):	0,00	0,00
Hasta (m):	3,00	2,50
Espesor de estrato:	3,00	2,50
Clasificación (USCS)	ML	GM

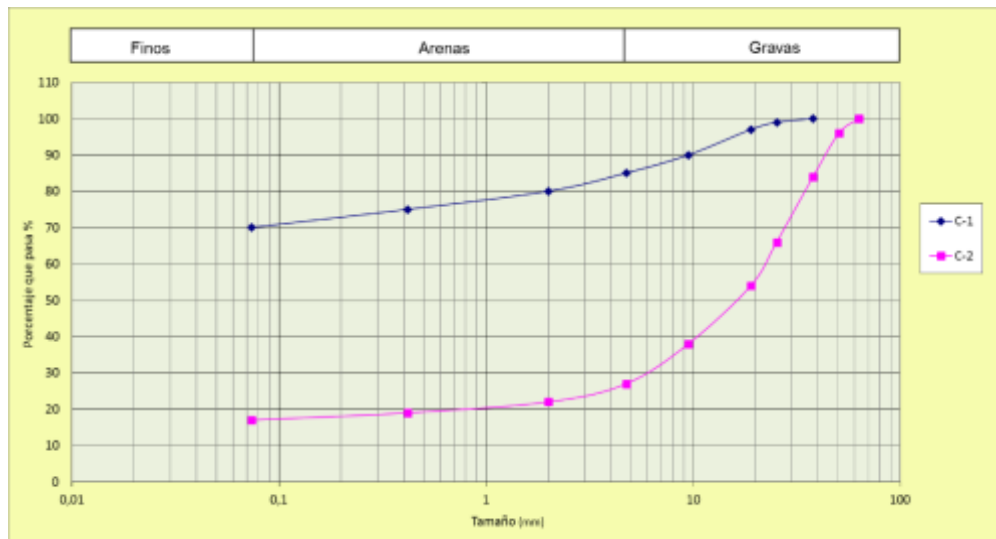


Figura 3-1. Gráfico de distribución granulométrica de muestras de calicatas ejecutadas.

En la Figura 3-2 se presenta la Carta de Plasticidad de los suelos finos extraídos. De acuerdo con estos datos, los materiales finos de la Calicata 1 clasifican como limos de baja plasticidad ML, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de suelos (USCS). Por su parte los materiales de la Calicata 2 no presentan plasticidad

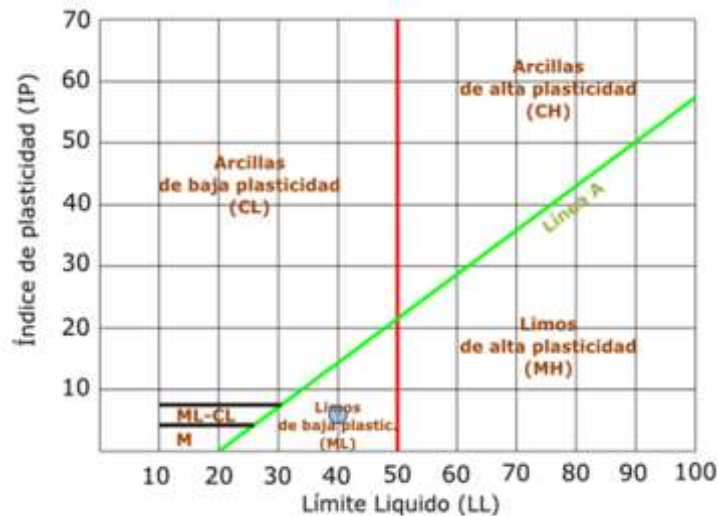


Figura 3-2. Carta de Plasticidad con la muestra de calicata C-1 ejecutada el Sector 1.

Los ensayos de húmedas y densidad de partículas realizados a los suelos indican que la humedad natural de los materiales obtenidos de la calicata C-1 es de 3,7%, mientras que para la Calicata C-2 es de 5,6%. Por su parte, el ensayo de densidad de partículas sólidas indica valores de 2,7 g/cm³ y 2,72 g/cm³ para las muestras obtenidas de las calicatas C-1 y C-2 respectivamente.

3.3 Ensayos geofísicos en terreno

En el sector donde se ubican el Talud 1 y Talud 2 se realizaron ensayos geofísicos mediante mediciones de ruido ambiental y fuentes activas, con el objetivo de estimar la profundidad del basamento rocoso. En la Figura 3-3 se presenta la ubicación de los ensayos realizados para cada talud.



Figura 3-3. Mediciones ensayos geofísicos fuentes activas y pasivas realizadas en el Talud 1 (a) y Talud 2 (b). 2.

El análisis de los resultados de estos ensayos permitió inferir los perfiles de velocidades de ondas de corte que se presentan en la Figura 3-4. De esta forma, las unidades geo-sísmicas propuestas para cada uno de los sectores son las que se describen a continuación:

Talud 1

(0 – 4 m) **Suelo**: Estrato superficial caracterizado por una velocidad de ondas de corte (V_s) del orden de 200 m/s.

(4 – 18 m) **Roca fracturada**: Unidad con una velocidad de ondas de corte representativa cercana a 600 m/s, la cual puede ser interpretada como roca fracturada.

(> 18 m) **Roca sana**: Para profundidades mayores a 18 m se observan velocidades de ondas de corte de aproximadamente 1800 m/s lo cual puede ser considerado como una roca sana.

Talud 2

(0 – 5 m) **Suelo**: Estrato superficial caracterizado por una velocidad de ondas de corte (V_s) del orden de 150 m/s.

(> 5 m) **Roca sana**: Para profundidades mayores a 5 m se observan velocidades de ondas de corte de aproximadamente 1000 m/s lo cual puede ser considerado como una roca sana.

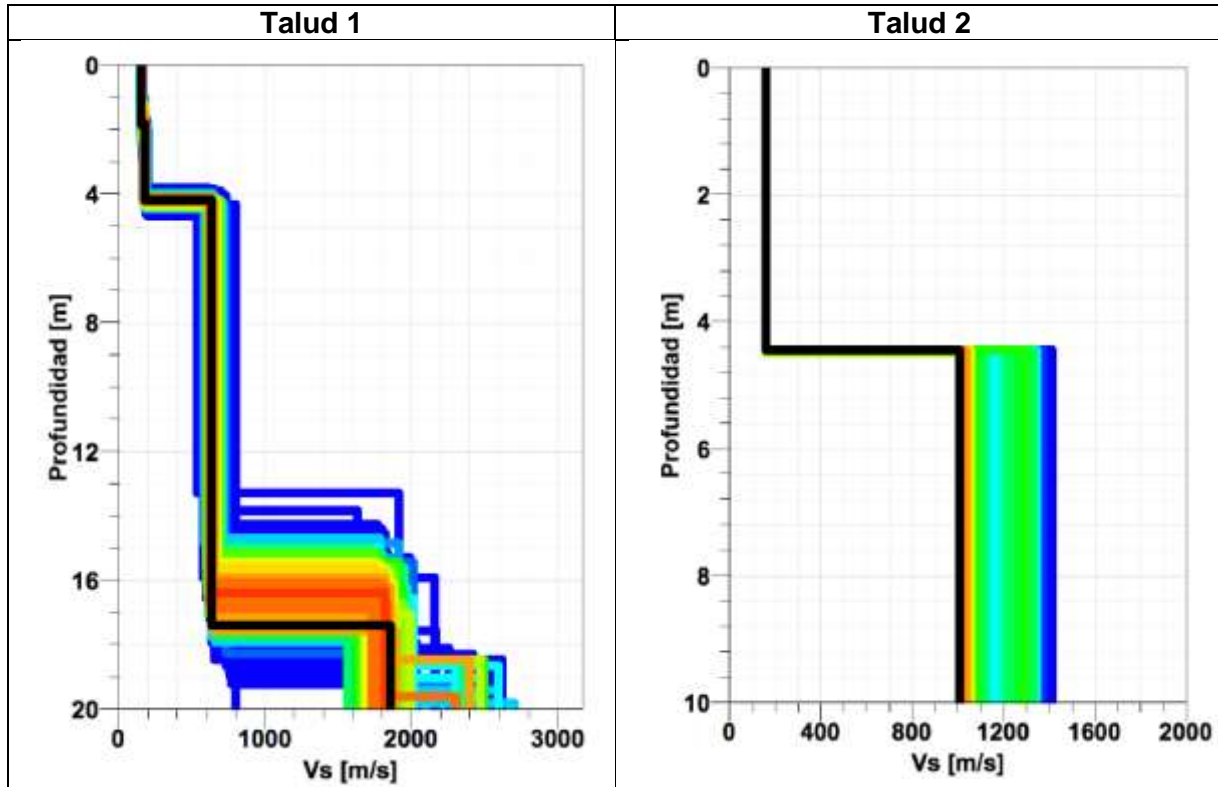


Figura 3-4. Perfiles de velocidades de ondas de corte obtenidos a partir de ensayos geofísicos para el Talud y Talud 2.

3.4 Modelo Estratigráfico

Considerando la información topográfica del proyecto, la ubicación de las calicatas, los resultados de los ensayos geofísicos y las condiciones geológicas del entorno, se ha establecido el modelo estratigráfico para cada talud analizado.

La información topográfica utilizada se obtuvo de los levantamientos realizados después de ocurridos los deslizamientos, mediante método Lidar (Ref. 9) y estación total (Ref. 10).

Para el perfil estratigráfico del Talud 1 se definió el contacto entre suelo y roca fracturada a los 4 m de profundidad, mientras que el contacto con roca sana a los 18 m, de acuerdo con las observaciones puntuales realizadas en el camino del proyecto, en los sectores de los taludes se asumieron conservadoramente los mismos espesores. No obstante, se estima que a medida que el perfil se aproxima al río, la roca basal se encuentra más cercana a la superficie, tal como se muestra en la Figura 3-5.

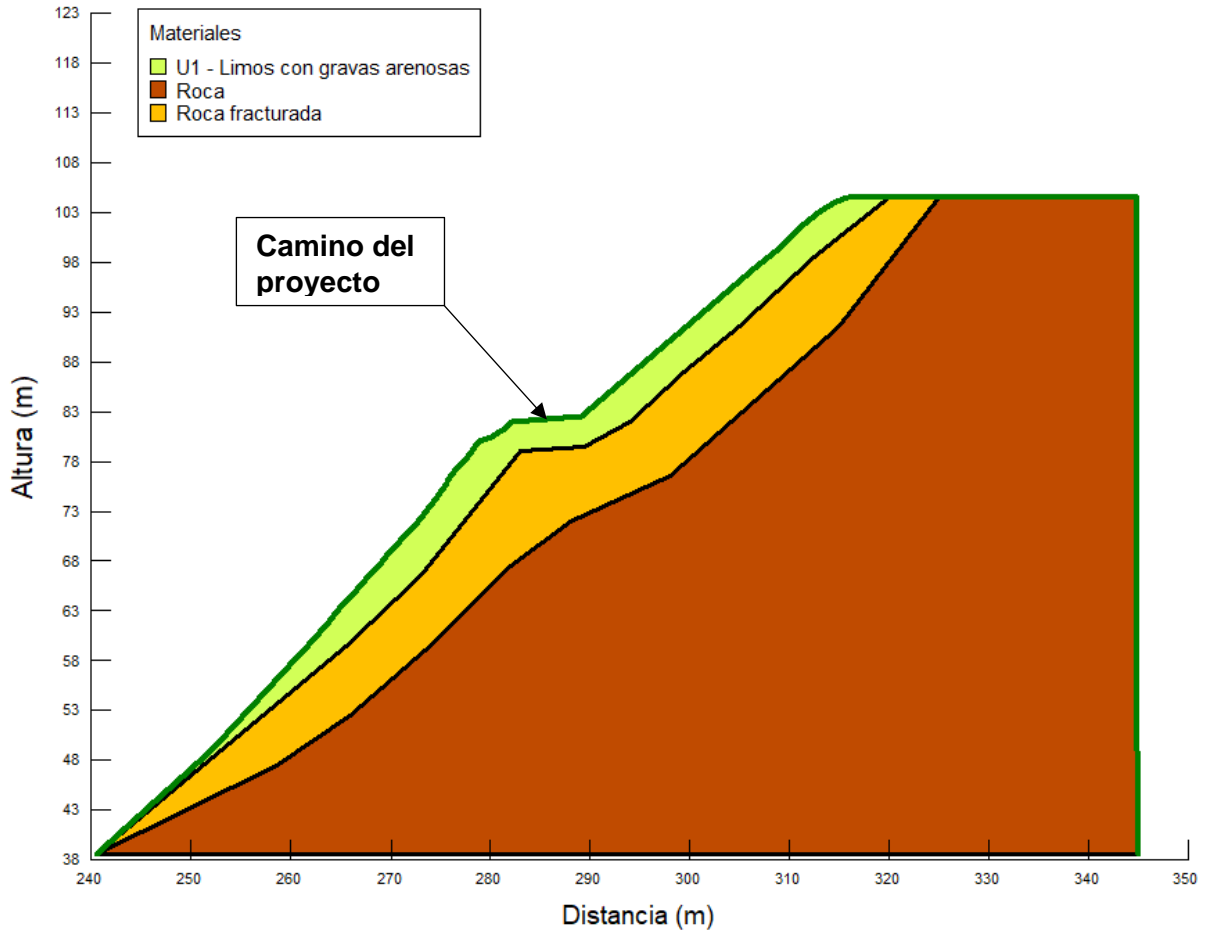


Figura 3-5. Modelo estratigráfico del Talud 1 (Pk 0+400 a 0+450).

Para el perfil estratigráfico del Talud 2 se definió que el contacto entre suelo y roca se encuentra a una profundidad de 5 m. Al igual que en el Talud 1 se asumió que hacia los taludes estos espesores se mantienen, tal como se aprecia en la Figura 3-6.

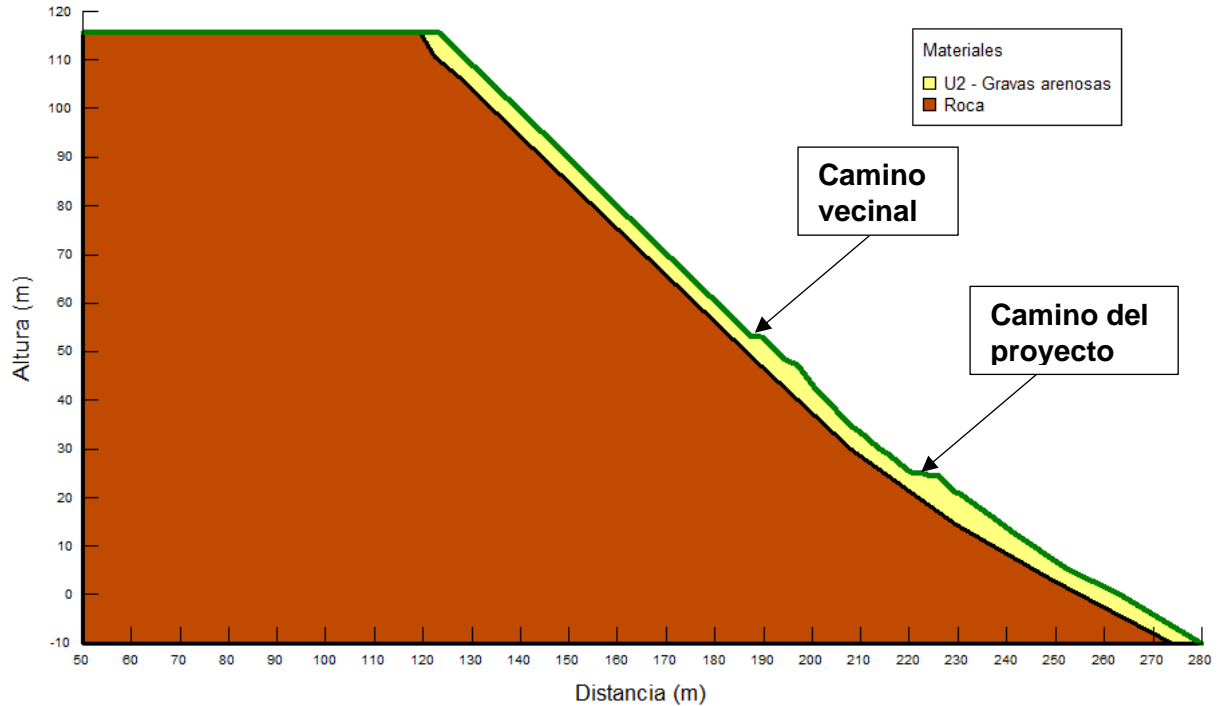


Figura 3-6. Modelo estratigráfico del Talud 2 (Pk 1+190 a 1+230).

Los análisis entregados en este documento consideran que no se realizarán trabajos de reposición en el antiguo camino vecinal, debido a que actualmente se utiliza solo el del proyecto (en acuerdo con los propietarios) por lo que las obras de sostenimiento estarán enfocadas en el camino de proyecto y en asegurar la estabilidad del talud existente que se encuentra sobre él.

4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

4.1 Metodología

Los análisis de estabilidad se efectuaron mediante métodos de equilibrio límite. Estos métodos permiten asociar un factor de seguridad a una potencial superficie de deslizamiento con una geometría definida. El factor de seguridad depende de la geometría de la potencial superficie de deslizamiento, de las propiedades de resistencia al corte y de las condiciones particulares que presenta la situación analizada (presiones de poros, sobrecargas, fuerzas sísmicas).

Los cálculos se desarrollaron mediante el programa SLOPE/W 2012, el cual permite determinar los factores de seguridad asociados a un gran número de potenciales superficies de deslizamiento.

Para evaluar la estabilidad durante la ocurrencia de un evento sísmico se utilizó un análisis pseudoestático. Este análisis consiste en imponer fuerzas horizontales al potencial volumen de deslizamiento, que representan las fuerzas sísmicas inerciales. Estas fuerzas, que son proporcionales a peso del volumen de deslizamiento, se definen a través de coeficientes sísmicos.

Los factores de seguridad reportados en este estudio son calculados mediante el método de Morgenstern-Price, el cual se basa en un análisis que considera el equilibrio de fuerzas y de momentos.

4.2 Parámetros materiales involucrados en el diseño

4.2.1 Unidades geológico-geotécnicas

Los parámetros de las unidades de suelo superficiales U1 y U2, presentes respectivamente en el Sector 1 y 2, fueron estimadas de acuerdo con los ensayos de laboratorio realizados y los resultados de los ensayos geofísicos para esas profundidades.

Subyaciendo estas unidades se encuentra una unidad de roca fracturada y otra de roca sana, para las cuales se estimaron parámetros conservadores.

En la Tabla 4-1 se resume los parámetros geotécnicos asumidos para los análisis de estabilidad.

Tabla 4-1. Propiedades geotécnicas unidades detectadas.

Parámetro	Unidad U ₁ – Limos con gravas	Unidad U ₂ – Gravas arenosas	Roca fracturada	Roca
Densidad total γ_t (kN/m ³)	18	18	22	23
Cohesión, c' (kPa)	18	5	20	50
Fricción interna ϕ' (°)	33	38	40	40

4.2.2 Pernos de refuerzo

Los pernos considerados para el refuerzo deberán cumplir con una fuerza de arrancamiento no menor a 400 kN y una carga de rotura superior a 4000 kN. Los factores de seguridad utilizados para el diseño de estos refuerzos se entregan en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2. Factores de seguridad diseño pernos de refuerzo.

Tipo de falla	Condición análisis	Factor de seguridad
Arrancamiento del perno	Estática	2,00
	Seudoestática	1,50
Carga ultima perno	Estática	1,80
	Seudoestática	1,35

4.3 Consideraciones

4.3.1 Nivel freático

Los análisis realizados en este documento no consideran la presencia de nivel freático u otros niveles de agua subterránea.

4.3.2 Coeficientes sísmicos

De acuerdo con la zonificación sísmica de la NCh 433, los taludes analizados se encuentran en zona sísmica 2 a la cual le corresponde una aceleración efectiva $A'_{o} = 0,3g$.

Conforme a lo que indica el manual de carreteras se adoptó un coeficiente sísmico horizontal igual al 50% de A'_{o} ($k_h = 0,15$). El coeficiente sísmico vertical fue asumido igual a 2/3 del horizontal ($k_v = 0,10$).

4.3.3 Sobrecargas

Se consideró una sobrecarga sobre el camino de proyecto equivalente a un camión estándar HS20-44 de tres ejes, representada por dos cargas puntuales de 160 kN cada una.

4.4 Criterios de Aceptabilidad

En la Tabla 4-3 se entregan los factores de seguridad mínimos definidos como criterios de aceptabilidad.

Tabla 4-3. Criterios de Aceptabilidad

Condición de Análisis	Factor de seguridad
Estático	$FS \geq 1,35$
Sísmico (Seudoestático)	$FS \geq 1,10$

El valor del factor de seguridad asumido para la condición seudoestática se basa en los rangos recomendados en la bibliografía referente a análisis de estabilidad (Ref. 3), de acuerdo con el coeficiente sísmico horizontal seleccionado para realizar los análisis. Considerando el valor elegido (F.S.=1,1), en caso de potenciales superficies de falla que se acerquen a este límite es esperable que se produzcan deformaciones en el talud, por lo que se complementarán los estudios realizados con un programa de monitoreo geotécnico de los taludes que permitan detectar potenciales deslizamientos u otros fenómenos gatillantes de la falla del talud y de esta forma generar las alarmas correspondientes.

4.5 Geometría de Refuerzo Utilizado

4.5.1 Talud Sector 1 (Pk 0+400 a 0+450)

En el Sector 1 se propone la implementación de un refuerzo mediante pernos (soil nailing). La geometría de esta solución se presenta en la Figura 4-1.

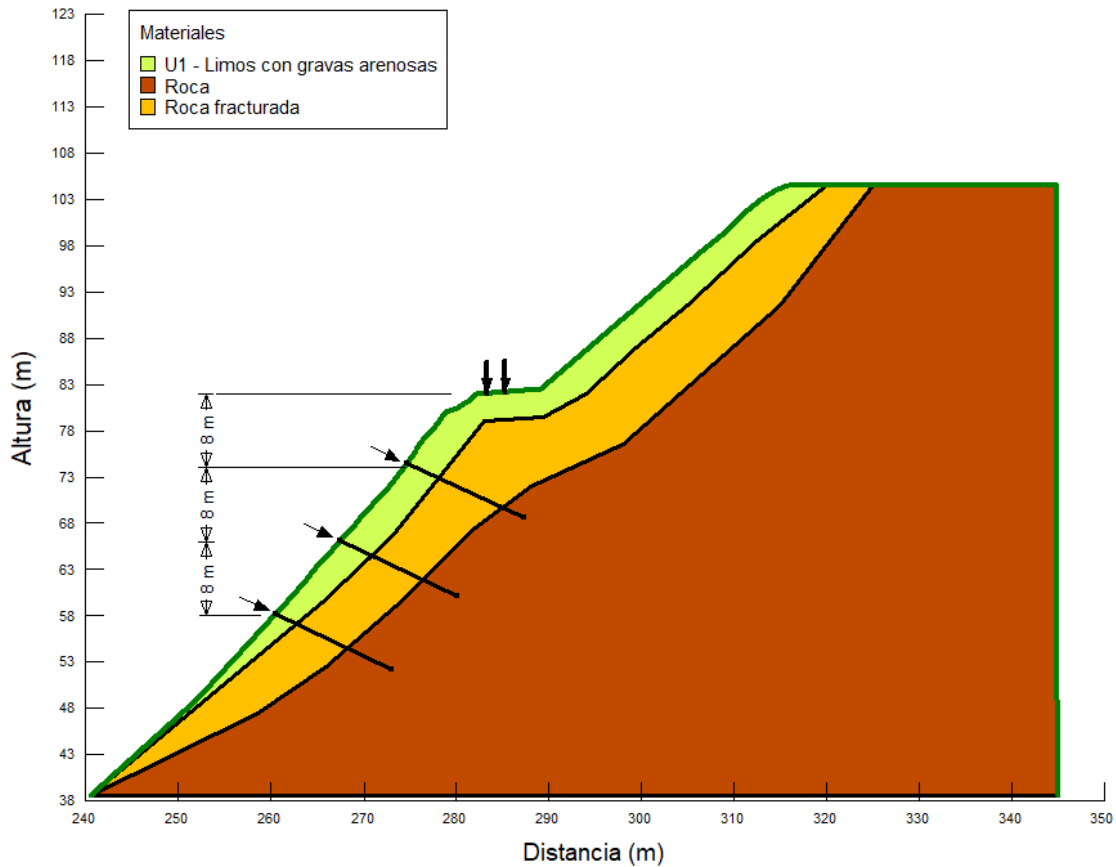


Figura 4-1. Geometría del refuerzo recomendado en Sector 1 (Pk 0+400 a 0+450).

En la Tabla 4-4 se entregan las especificaciones de los refuerzos asumidas para la realización de los análisis de estabilidad.

Tabla 4-4. Geometría refuerzo utilizado en los análisis de estabilidad para el Sector 1.

Sector de análisis	Área	Largo perno (m)	Espaciamiento (m)	Inclinación (°)
Sector 1	Talud inferior	14	5	25

4.5.2 Talud Sector 2 (Pk 1+190 a 1+230)

En este tramo se observa un deslizamiento que socavó parte del camino vecinal. Dado que no se considera la restitución del camino vecinal, los refuerzos mediante pernos propuestos tienen el objetivo de asegurar la estabilidad del camino de proyecto y del talud que se encuentra sobre él. La geometría de la solución propuesta se presenta en la Figura 4-2.

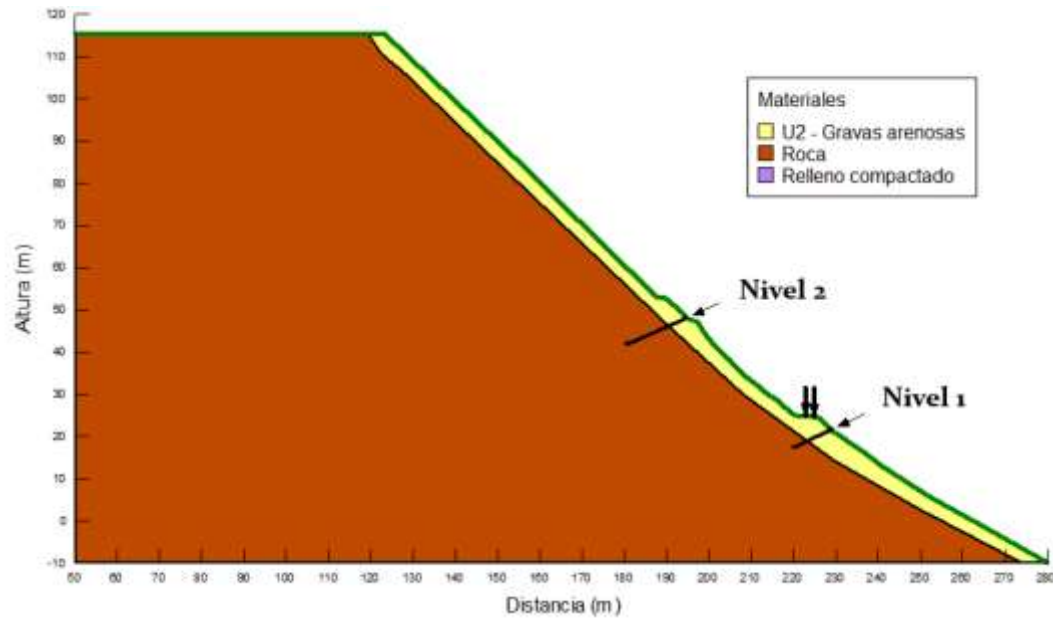


Figura 4-2. Geometría del refuerzo recomendado en Sector 2 (Pk 1+190 a 1+230).

En la Tabla 4-5 se entregan las especificaciones de los refuerzos asumidas para la realización de los análisis de estabilidad.

Tabla 4-5. Geometría refuerzo utilizado en los análisis de estabilidad para el Sector 2.

Sector de análisis	Área	Nivel	Largo perno (m)	Espaciamiento (m)	Inclinación (°)
Sector 2	Talud inferior	Nivel 1	10	5	25
	Talud superior	Nivel 2	15	5	25

4.6 RESULTADOS

4.6.1 Talud Sector 1 (Pk 0+400 a 0+450)

Los análisis de estabilidad se realizaron considerando potenciales superficies de deslizamiento de tipo rotacional, con carácter global y/o local. En la Tabla 4-6 se resumen los factores de seguridad para las condiciones críticas, obtenidos de los análisis de estabilidad para el Sector 1 considerando una sobrecarga equivalente a un camión HS20-44 sobre el camino.

Tabla 4-6. Factores de seguridad de análisis de estabilidad Sector 1

Sector de análisis	Tipo análisis	Condición	Ubicación falla	Tipo de falla	Factor de Seguridad
Sector 1	Estático	Sin refuerzo	Talud superior	Global	1,53
	Seudoestático				1,25
	Estático		Talud inferior	Global	1,11
	Seudoestático				0,94
	Estático	Con refuerzo	Talud superior	Global	*
	Seudoestático				*
	Estático		Talud inferior	Global	1,38
	Seudoestático				1,11

* Este sector no requiere refuerzo.

Estos factores de seguridad son válidos para la geometría y condiciones de carga descritas en este informe.

Las figuras correspondientes a los análisis de estabilidad realizados para el Sector 1 se presentan en el Anexo A.

4.6.2 Talud Sector 2 (Pk 1+190 a 1+230)

Los análisis de estabilidad se realizaron considerando potenciales superficies de deslizamiento de tipo rotacional, con carácter global y/o local. En la Tabla 4-7 se resumen los factores de seguridad para las condiciones críticas, obtenidos de los análisis de estabilidad para el Sector 2 considerando una sobrecarga equivalente a un camión HS20-44 sobre el camino de proyecto.

Tabla 4-7. Factores de seguridad de análisis de estabilidad Sector 2

Sector de análisis	Tipo análisis	Condición	Ubicación falla	Tipo de falla	Factor de Seguridad
Sector 2	Estático	Sin refuerzo	Talud superior	Global	1,08
	Seudoestático				0,81
	Estático		Talud inferior	Global	1,44
	Seudoestático				1,08
	Estático	Con refuerzo	Talud superior	Global	1,48
	Seudoestático				1,13
	Estático		Talud inferior	Global	1,53
	Seudoestático				1,16

Estos factores de seguridad son válidos para la geometría y condiciones de carga descritas en este informe.

Las figuras correspondientes a los análisis de estabilidad realizados para el Sector 2 se presentan en el Anexo B.

5 CONCLUSIONES

Se ha realizado un análisis de estabilidad de taludes en los tramos donde se han registrado inestabilidad y deslizamientos declarados. Estos tramos corresponden al Talud Sector 1 (Pk 0+400 a 0+450) y Talud Sector 2 (Pk 1+190 a 1+230).

En una primera etapa se revisó y analizó la información topográfica proporcionada por el Cliente, basada en metodología Lidar y estación total, con levantamientos realizados antes y después de los deslizamientos. Para cada tramo se seleccionó un perfil transversal representativo, buscando representar lo más fielmente posible la condición real del terreno.

En la segunda etapa de esta ingeniería se estimaron las estratigrafías y los parámetros resistentes de las unidades geotécnicas detectadas en el área de estudio. Esto se realizó a partir del análisis de la información recopilada en terreno, los ensayos de laboratorio desarrollados y de la información entregada por los ensayos geofísicos realizados.

De acuerdo con este análisis la estratigrafía y parámetros resistentes utilizados para los análisis en cada sector son los siguientes:

- En el Talud Sector 1, se detectó superficialmente un suelo limo arcilloso de baja plasticidad (ML), cuyos parámetros resistentes estimados fueron $c=18$ kPa y $\phi=33^\circ$, esta unidad tiene una potencia de aproximadamente 4 m, bajo ella subyace una roca fracturada la cual posee un espesor del orden de 14 m, posteriormente es posible detectar roca sana. Los parámetros resistentes estimados de estas dos últimas unidades fueron $c=20$ kPa y $\phi=40^\circ$ para la roca fracturada y $c=50$ kPa y $\phi=40^\circ$, para la roca sana.

- En el Talud Sector 2, se observó superficialmente un suelo gravoso con arenas limosas (GM), cuyos parámetros estimados fueron $c=5$ kPa y $\phi=38^\circ$, bajo esta unidad, a una profundidad estimada de 5 m, se alcanza la roca sana, que fue caracterizada con $c=50$ kPa y $\phi=40^\circ$.

La tercera etapa consistió en analizar diversas alternativas de estabilización del terreno donde se produjeron los derrumbes.

De todas las soluciones analizadas se estableció que la de mayor efectividad es la construcción de muros de soil nailing.

- En el Talud Sector 1 es necesario el refuerzo mediante pernos (soil nailing) en el talud inferior, los cuales deberán instalarse en tres niveles con largos de 10 m, cumpliendo con la geometría presentada en el capítulo 4.5.1. Estos patrones son válidos para toda la extensión del tramo.

- En el Talud Sector 2, donde se observa un deslizamiento que socavó parte del camino vecinal, se propone el refuerzo tanto en el sector superior como inferior de modo de asegurar la estabilidad de ambos taludes, para esto se propone la implementación de un refuerzo mediante pernos (soil nailing) según el patrón indicado en el capítulo 4.5.2, el cual es válido para toda la extensión del tramo.

6 RECOMENDACIONES DE MONITOREO DE TALUDES

Se recomienda la implementación de un control de deformaciones en los taludes, el cual permitirá detectar oportunamente potenciales inestabilidades en los taludes, evaluar sus causas y tomar medidas de mitigación, en el caso que corresponda.

La metodología para la realización de este monitoreo debería incluir al menos lo siguiente:

- Medición de deformaciones mediante un control topográfico de puntos superficiales instalados en el coronamiento y talud del camino de proyecto. Se recomienda que los puntos de control topográfico sean materializados mediante monolitos. La frecuencia de medición de estos puntos dependerá del comportamiento de las deformaciones de ellos, se recomienda que esta sea diaria en caso de grandes variaciones pudiendo llegar a una frecuencia mensual si es que no se observan cambios significativos. Se deberá procurar que la ubicación de estos puntos impida que las mediciones sean afectadas por el tránsito vehicular del sector.
- El plan de monitoreo podrá evaluar la utilización de instrumentos más sofisticados, tales como extensómetros e inclinómetros, con el objeto de evitar complicaciones en el proceso de operación y de facilitar la labor de registro de datos, que deberá efectuarse frecuentemente.
- Se deberá realizar periódicamente, un control visual de los con el objetivo de detectar la eventual presencia de grietas o de deformaciones excesivas.
- Luego de eventos climáticos severos y/o eventos sísmicos de gran magnitud se deberá realizar una evaluación, por parte de un ingeniero geotécnico, de la condición de los taludes post evento.

Adicionalmente, se entregan las siguientes medidas de mitigación, las que tienen por objeto entregar una pauta para prevenir potenciales deslizamientos de los taludes:

- De observarse un cambio significativo entre los materiales indicados en este informe y lo detectado en terreno al momento de implementarse las soluciones, se deberán actualizar los diseños de modo de asegurar la estabilidad de los taludes.
- En caso de detectarse una grieta aledaña al coronamiento del camino o en el talud del mismo, se deberá efectuar un seguimiento topográfico diario, para determinar la evolución de las deformaciones observadas. De igual modo, de registrarse velocidades o magnitudes de deformación mayores que las medidas para una condición normal, la condición de estabilidad deberá ser evaluada por un profesional geotécnico con experiencia o por un consultor. En este caso, se recomienda limitar el tránsito por el sector.

7 RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS GENERALES

Las presentes recomendaciones constructivas generales son aplicables para la ejecución de excavaciones abiertas, instalación de “soil nailing”, instalación de geomanta y sistema de control de aguas lluvia.

Si bien estas dos últimas medidas no se encuentran indicadas en los modelos analizados, son igualmente válidas como recomendación, ya que permitirán controlar los principales agentes erosivos que podrían afectar a los taludes.

7.1 Excavaciones

Las excavaciones a realizar corresponderán a las necesarias para extraer y retirar la totalidad del material suelto que se depositó sobre el talud producto del deslizamiento. El objetivo es asegurar la estabilidad del talud, hasta llegar a un terreno de fundación con suelo inalterado y competente.

En caso de que eventualmente, el terreno llegase a presentar zonas con escasa a muy baja cobertura de suelo no apto, el retiro mínimo debe ser de al menos 30 cm.

En caso de que la Inspección lo estime necesario, podrá ordenar al Contratista que ejecute calicatas hasta alcanzar el límite inferior del material a retirar para determinar su espesor real. Estas calicatas serán de cargo del Contratista.

Los materiales producto de la esta excavación podrán ser reutilizados, previa comprobación de su calidad y granulometría, como parte de los rellenos compactados del proyecto.

Los materiales de escombrera provenientes de las excavaciones que se ejecuten y que la Inspección determine que no son aptos para los rellenos, deberán ser depositados en una zona especialmente adaptada como botadero.

Se deberá evitar la excavación de taludes verticales, la Inspección podrá exigir el rebaje o la protección de ellos con algún sistema de sostenimiento temporal en caso de que estos presenten signos de inestabilidad. En cualquier caso, los costos de estos trabajos serán de cargo exclusivo del Contratista.

7.2 Sistema Soil Nailing

7.2.1 Características mínimas del sistema

Dadas las características del terreno a estabilizar, el sistema de refuerzo para los cortes estará constituido por barras autoperforantes o “soil nailing”, una malla del tipo hexagonal central del tipo InChalam o similar (alambres galvanizados diámetro mínimo 4 mm) y un recubrimiento de lo menos 5 cm de shotcrete. Las recomendaciones mínimas de este sistema de sujeción lateral, de carácter permanente, son las siguientes:

- Barras de acero helicoidal (soil nailing) de diámetro mínimo 25 mm
- Perforaciones de diámetro mínimo 75 mm

- Malla Hexagonal galvanizada con alambres diámetro mínimo 4 mm y por lo menos con doble torsión en toda la altura del talud.
- Lechada de cemento a/c = 0.4.
- Presión mínima de inyección 6 bar
- Longitudes mínimas indicadas en la Tabla 5-4 y 5-5.
- Sistema de sujeción de carácter permanente galvanizado o con doble protección contra la corrosión, incluida la cabeza de los anclajes.
- Torque de aprete de la tuerca en la cabeza de los anclajes 30 kg·m.

7.2.2 Shotcrete

- La granulometría para la preparación del hormigón proyectado es la siguiente:

Tamaño del Tamiz (Aberturas cuadradas)	Porcentaje en peso que pasa
3/8"	100
N°4 (4.76 mm)	95-100
N°8 (2.38 mm)	80-90
N°16 (1.19 mm)	50-95
N°30 (µm)	25-60
N°50 (µm)	10-30
N°100 (µm)	2-10

- La resistencia mínima a la compresión del hormigón proyectado 20 MPa a los 28 días.
- Dosificación mínima 450 kg de cemento por m3 de arena.
- La razón agua cemento debe ser inferior a 0.5
- La trabajabilidad o fluidez de la mezcla para un sistema de proyección, debe estar por sobre los 18 cm medidos en el cono de Abhrams.
- El contratista deberá disponer con el equipo requerido para colocar el hormigón proyectado con un rendimiento mínimo 4 m3/hora, por lo que éste se colocará húmedo, alcanzando rebotes inferiores al 10%.
- En general, la aplicación del hormigón proyectado se ajustará a lo especificado en la norma ACI 506.

- La boquilla para proyectar el hormigón deberá mantenerse perpendicular a la superficie de trabajo. La proyección se realizará desde abajo hacia arriba. El material de rebote no se podrá reutilizar y deberá ser desechado de manera adecuada.
- De la boquilla deberá salir un chorro cónico, uniforme y continuo. Cuando no sea así, la boquilla deberá ser reparada o cambiada hasta lograr el aspecto requerido. La boquilla estará a una distancia aproximada de 1.0 m de la superficie. La aplicación se realizará con movimientos circulares. Durante la operación la presión del aire será al menos de 0.6 MPa.
- Durante los tres primeros días después de la aplicación del hormigón, se deberá mantener húmeda la superficie del shotcrete aplicado.
- Las zonas sueltas, desprendidas o con otros defectos, a criterio de la inspección técnica, deberán removerse y reemplazarse con aplicaciones de hormigón proyectado fresco.
- Antes de la instalación de la malla, se instalarán las tiras de drenaje, con desagües alternados hacia las barbacanas cada 1.5 m. Las barbacanas tendrán un diámetro de 1.5", siendo tapadas en su extremo posterior por láminas cuadradas de geotextil de 20x20 cm. Opcionalmente, a las tiras de drenaje, se podrá utilizar una manta de drenaje.
- La malla de acero, será fijada a los soil nailing y a la superficie del talud mediante barras de anclaje de 12 mm de diámetro, 1.0 m de longitud y ganchos de 10 cm, clavadas no más allá de 2.25 m una de otra. Se instalarán espaciadores de modo que la malla quede separada del suelo 2 cm.

7.3 Sistema de Geomanta

Se recomienda proteger los taludes colindantes "laterales al sostenimiento soil nailing" contra la erosión, mediante la colocación de geomanta. En este caso, se recomienda el perfilado del talud con una pendiente máxima de 60°.

Las siguientes recomendaciones son válidas para la geomanta:

- Perfilado y aislado del talud, respetando la pendiente máxima admisible.
- Excavación de la zanja de anclaje de la geomanta.
- Instalación de la geomanta desde arriba hacia abajo, respetando un traslape mínimo de 1.0 m.
- Colocación de las grapas a medida que la geomanta se instala.
- Anclado de la geomanta a los pies del talud.
- Instalación de las semillas para la vegetación de la geomanta. Se seleccionará una especie de crecimiento rápido, considerando los altos riesgos ante la erosión, las condiciones geomorfológicas, el clima y el escaso riego, de modo de no saturar el talud antes de tiempo.

- La geomanta deberá ser del tipo PYRAMAT HPTRM o similar

Alternativamente, se puede proceder con otro sistema de revegetación, elegido de acuerdo con las condiciones propias del terreno. Se seleccionará una especie de crecimiento rápido, considerando los altos riesgos ante la erosión, las condiciones geomorfológicas y el clima.

7.4 Aguas Lluvias

Las aguas lluvias deberán evacuarse controladamente, para lo cual se deberán seguir las siguientes recomendaciones:

- Se realizará la conducción de aguas lluvias mediante una canaleta revestida e impermeable, en el borde superior del talud del corte. Esta canaleta tendrá una sección mínima de 0.40 m de ancho por 0.40 m de profundidad y una pendiente mínima de 5%, hacia los costados del corte. La canaleta se ubicará idealmente a 1.50 cm del borde del talud.

- La canaleta conducirá las aguas hasta ductos de bajada, de modo que impidan el ingreso de aguas al corte. Estos ductos serán instalados de carácter permanente y tendrán un diámetro interior mínimo de 6". El material de los ductos será tal que garantice su estanqueidad, durabilidad y resistencia durante el funcionamiento. En la unión de la canaleta con el ducto de bajada se construirá una cámara para darle carga.

- Los ductos deberán conducir las aguas sin permitir su ingreso tras la pantalla de shotcrete y la geomalla, de modo de no generar presiones adicionales no contempladas en el presente diseño. Las aguas deberán finalmente ser conducidas hacia el sistema de drenaje que corresponda.

Nota: De acuerdo a lo informado por el mandante estos trabajos actualmente se encuentran ejecutados en ambos sectores en análisis.

Cualquier situación no prevista en el presente informe o cualquier modificación que se desee realizar a su contenido, deberá ser consultada y aprobada por quien suscribe.

8 ASPECTOS DE ESTABILIDAD TÚNEL ADUCCIÓN

La estabilidad de un talud está determinada por factores geométricos, como su altura e inclinación; factores geológicos; hidrogeológicos; y geotécnicos. De esta manera, la combinación de los 4 factores anteriores puede determinar la condición de rotura del terreno en algún tipo de superficie, permitiendo el movimiento de la masa contenida en dicha superficie. También puede ser influenciada por la presencia de cavidades dentro del macizo rocoso. Esta influencia está directamente ligada a la cercanía y dimensiones que podrían tener las excavaciones. A mayor cercanía y/o dimensiones, mayor es su influencia.

Para el caso de un túnel, la influencia que puede tener este es de aproximadamente 3 veces el diámetro de la excavación y esta influencia se considera en el factor D (disturbancia).

De acuerdo con los resultados de los análisis de estabilidad, para el caso sin refuerzo en el sector donde se ubica el Talud 1, existen potenciales superficies de deslizamiento que se encontrarían cercanas al túnel de aducción, tal como se observa en la Figura 9-1. Por lo tanto, en caso de producirse estos deslizamientos no es posible descartar potenciales daños estructurales en el túnel de aducción.

Es importante mencionar que la evaluación de los taludes presentada en este informe no considera la interacción entre ellos y la construcción del túnel de aducción para lo cual es necesario efectuar modelos de diferencias o elementos finitos.

Por otra parte, las soluciones de refuerzo presentadas para el sector del Talud 1, lugar donde existe interacción entre los análisis realizados y el túnel, consideran la existencia de esta obra y, por lo tanto, los niveles de soil nailing han sido definidos evitando la interferencia entre ellos.

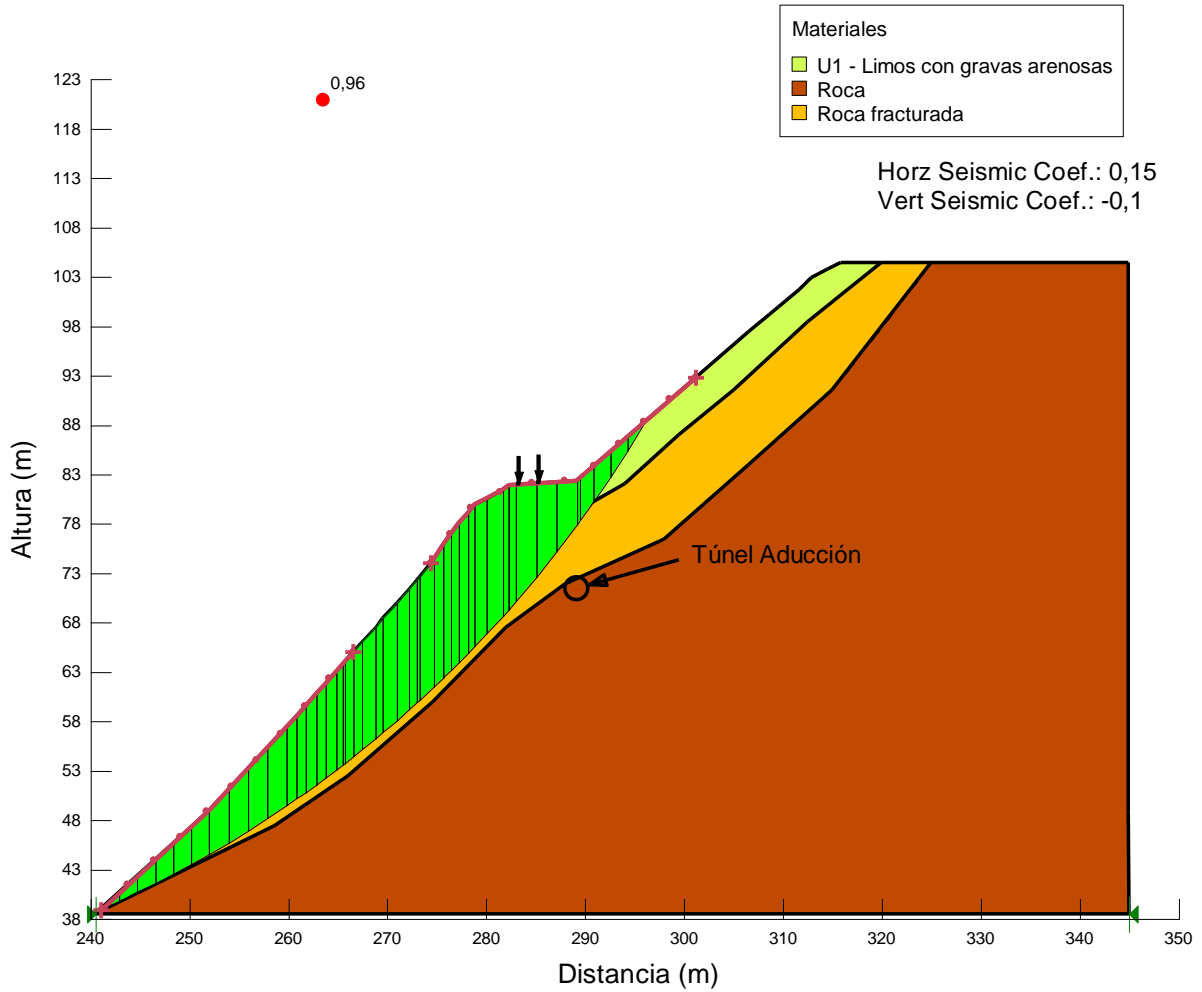


Figura 9-1. Potencial superficie de deslizamiento cercana al túnel de aducción. Condición del Talud 1 (Pk 0+400 a 0+450) sin refuerzo.

ANEXO A – Figuras análisis de estabilidad Sector

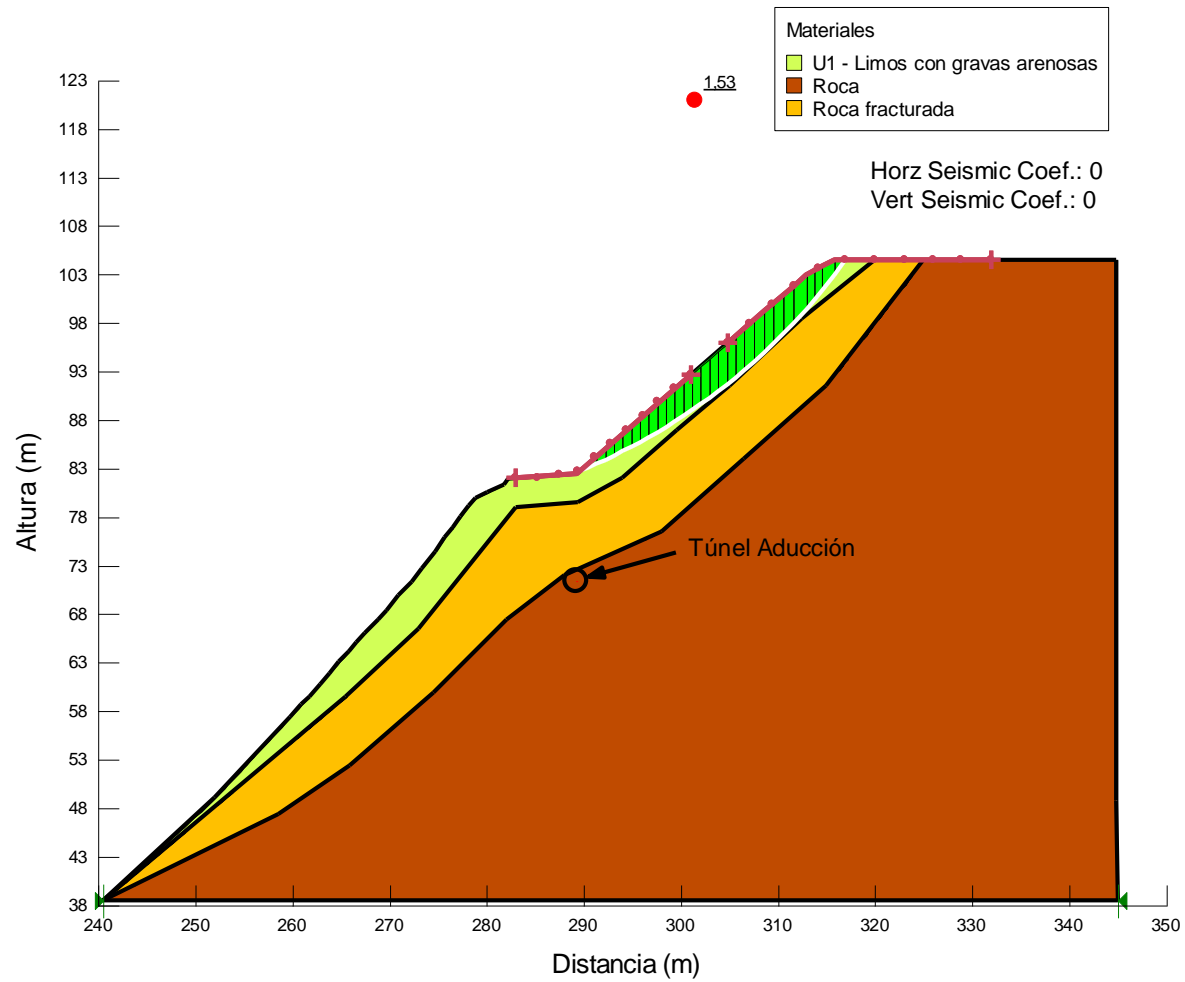


Figura B. 1. Talud 1. Análisis estático. Talud superior. Condición sin refuerzo. Sector 1 (Pk 0+400 a 0+450).

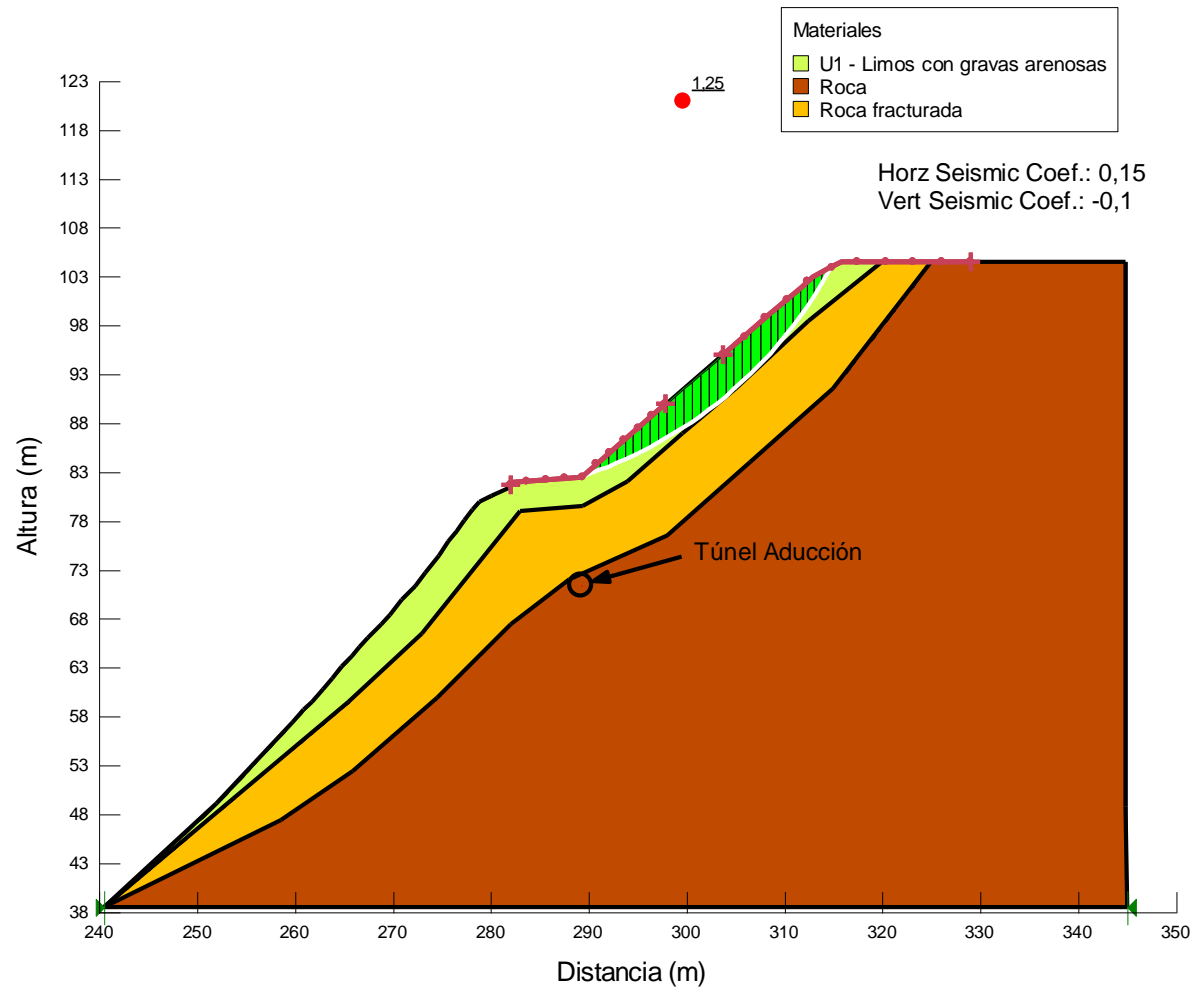


Figura B. 2. Talud 1. Análisis pseudoestático. Talud superior. Condición sin refuerzo. Sector 1 (Pk 0+400 a 0+450).

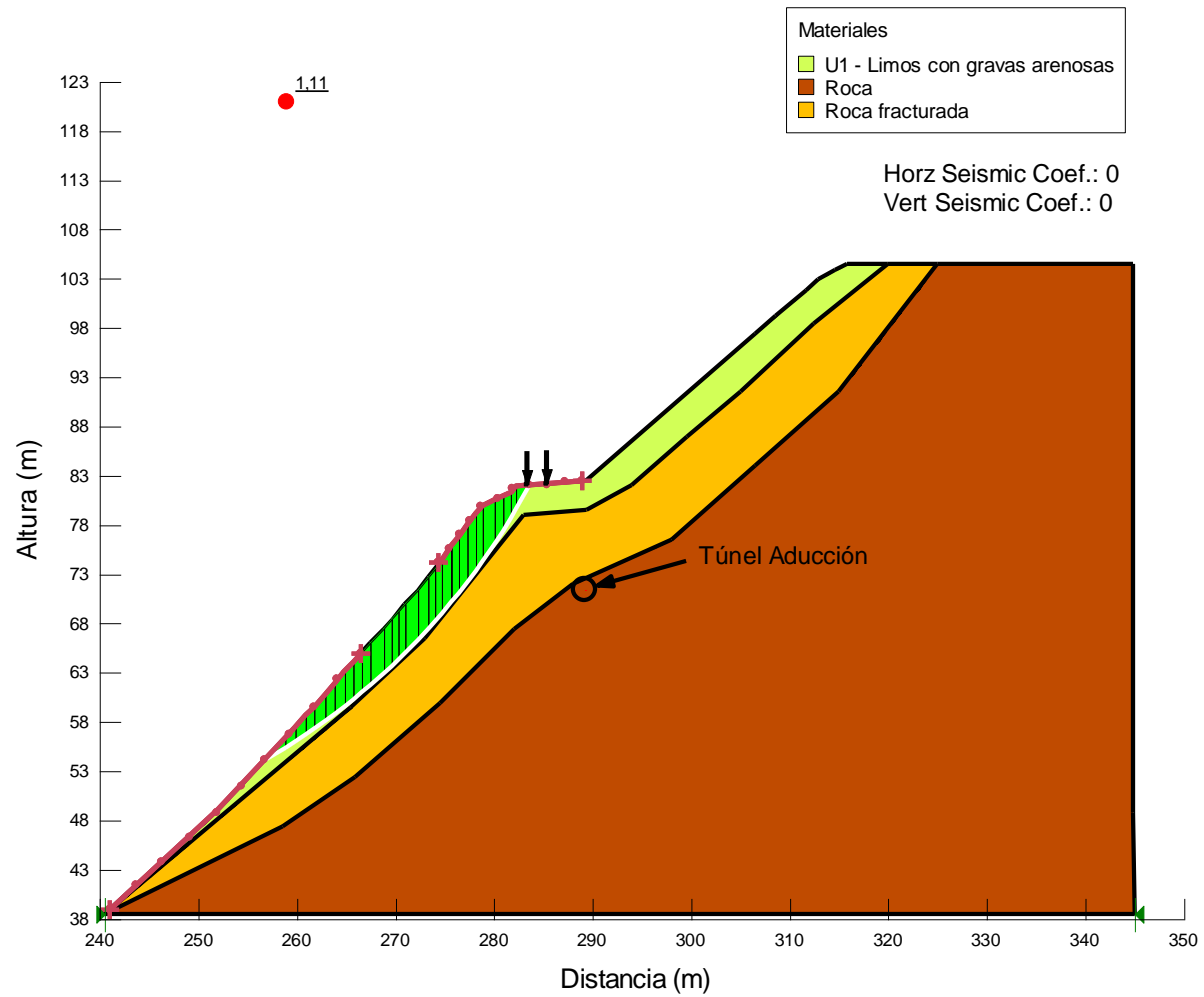


Figura B. 3. Talud 1. Análisis estático. Talud inferior. Condición sin refuerzo. Sector 1 (Pk 0+400 a 0+450).

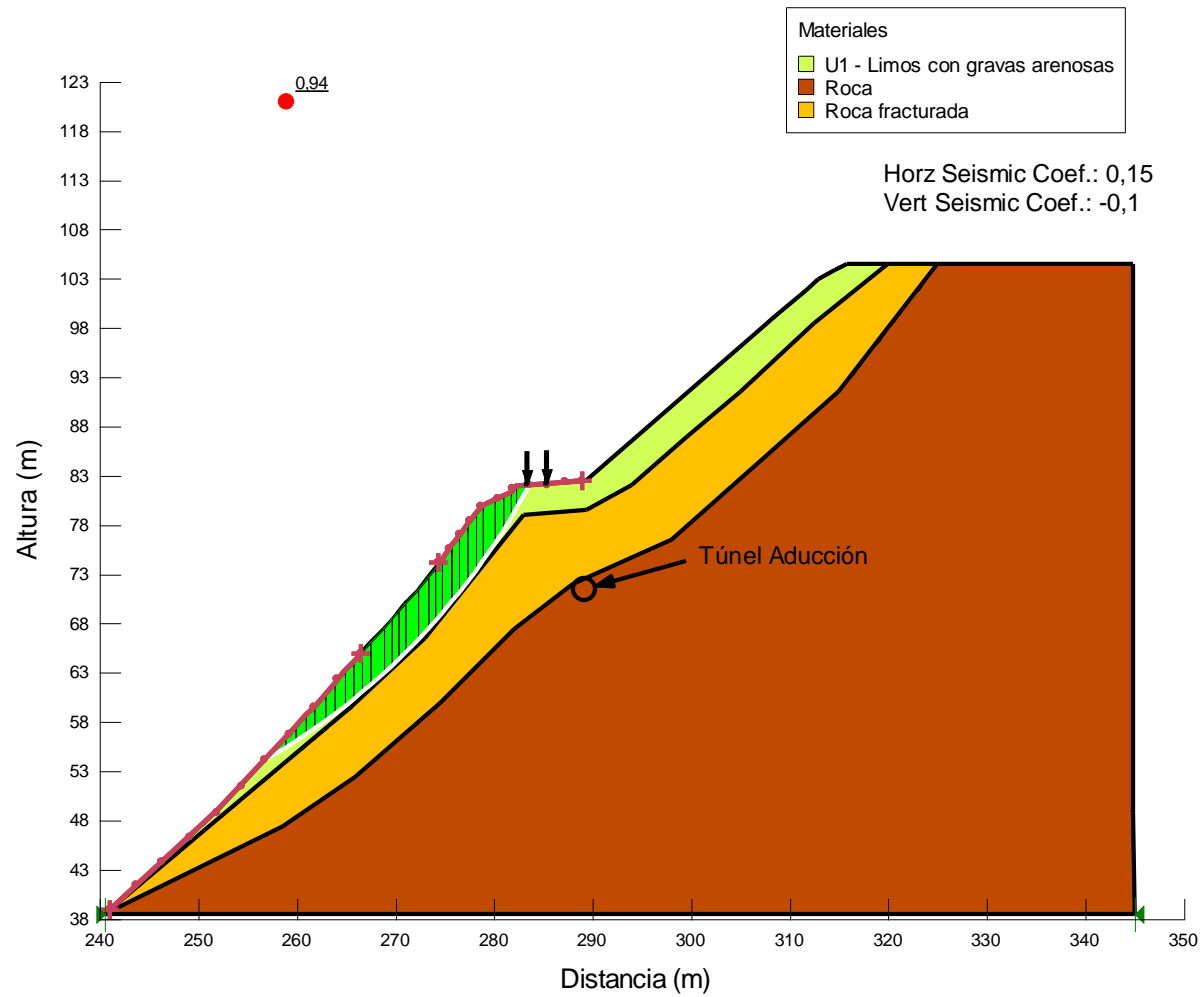


Figura B. 4. Talud 1. Análisis seudoestático. Talud inferior. Condición sin refuerzo. Sector 1 (Pk 0+400 a 0+450).

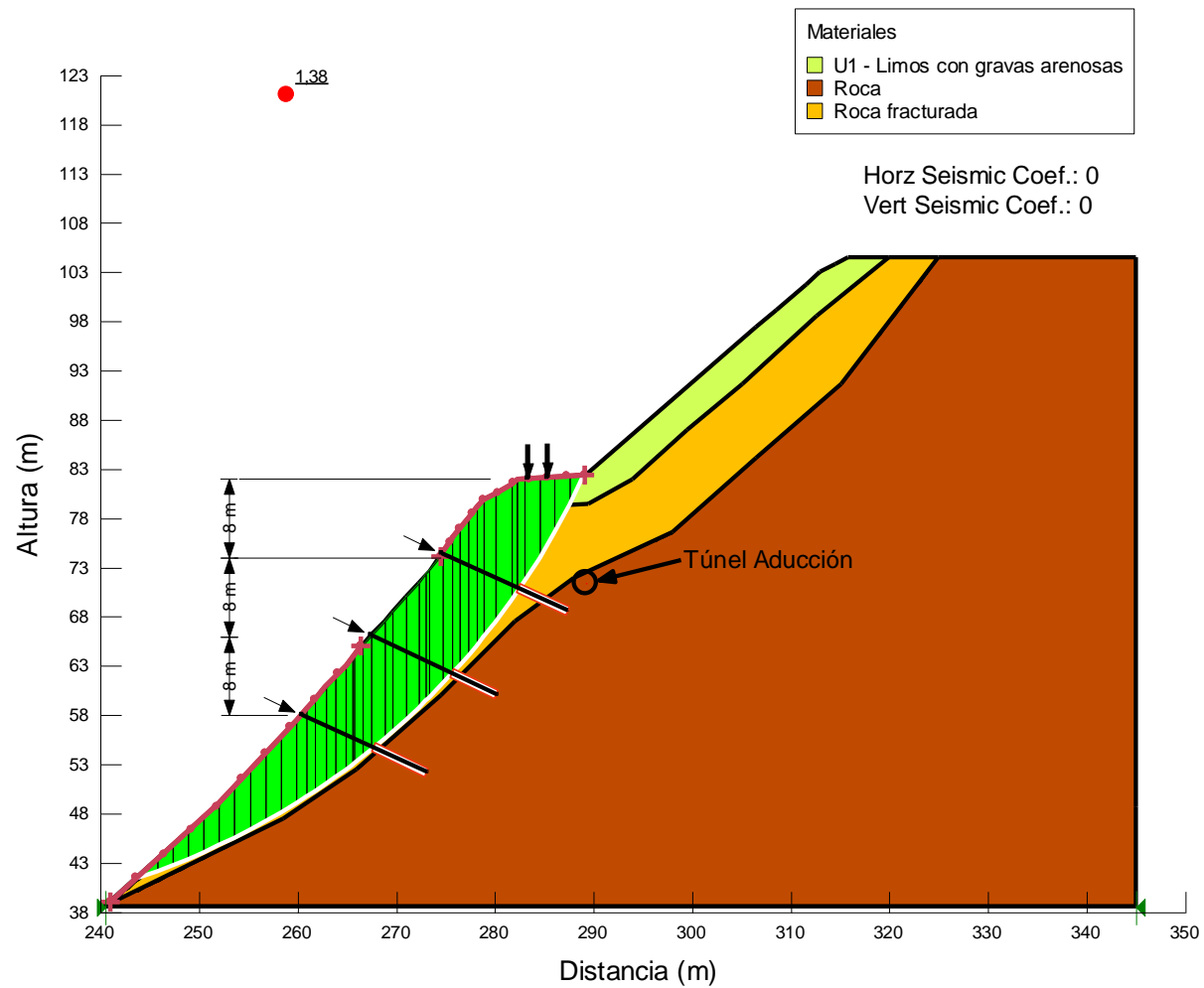


Figura B. 5. Talud 1 Análisis estático. Talud inferior. Condición con refuerzo. Sector 1 (Pk 0+400 a 0+450).

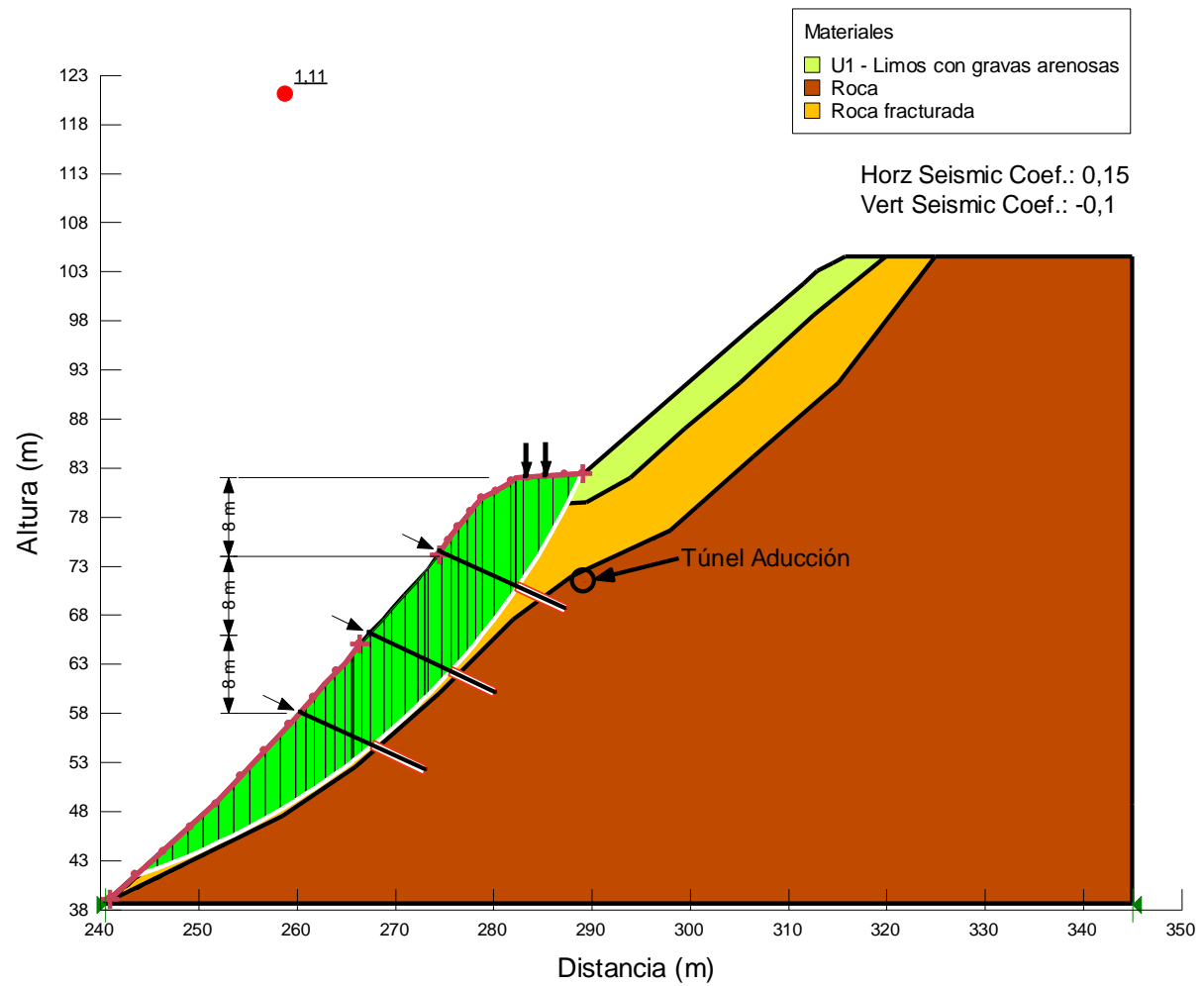


Figura B. 6. Talud 1. Análisis pseudostático. Talud superior. Condición sin refuerzo. Sector 1 (Pk 0+400 a 0+450).

ANEXO B – Figuras análisis de estabilidad Sector 2

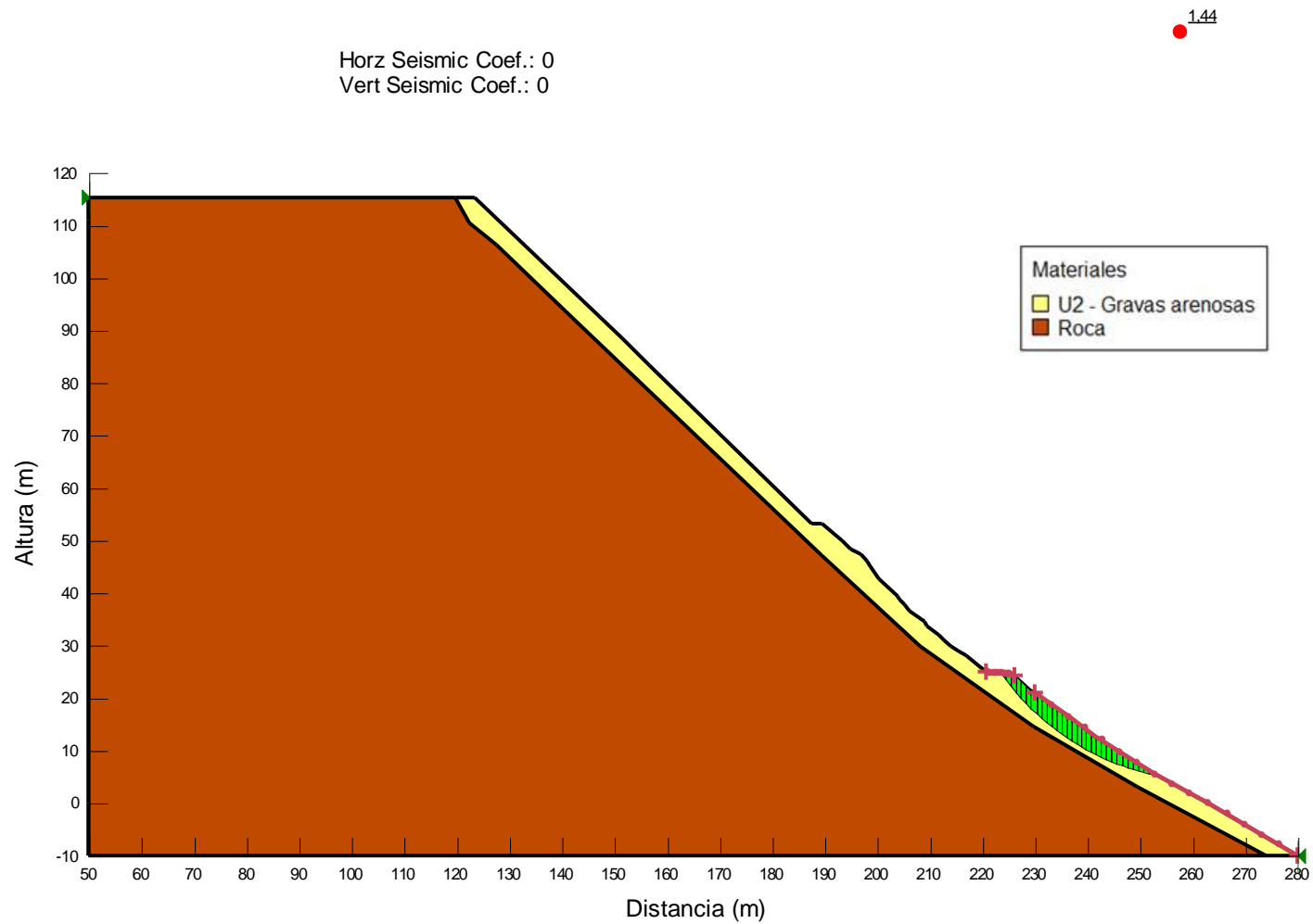


Figura C. 1. Talud 2. Análisis estático. Talud inferior. Condición sin refuerzo. Falla global. Sector 2 (Pk 1+190 a 1+230).

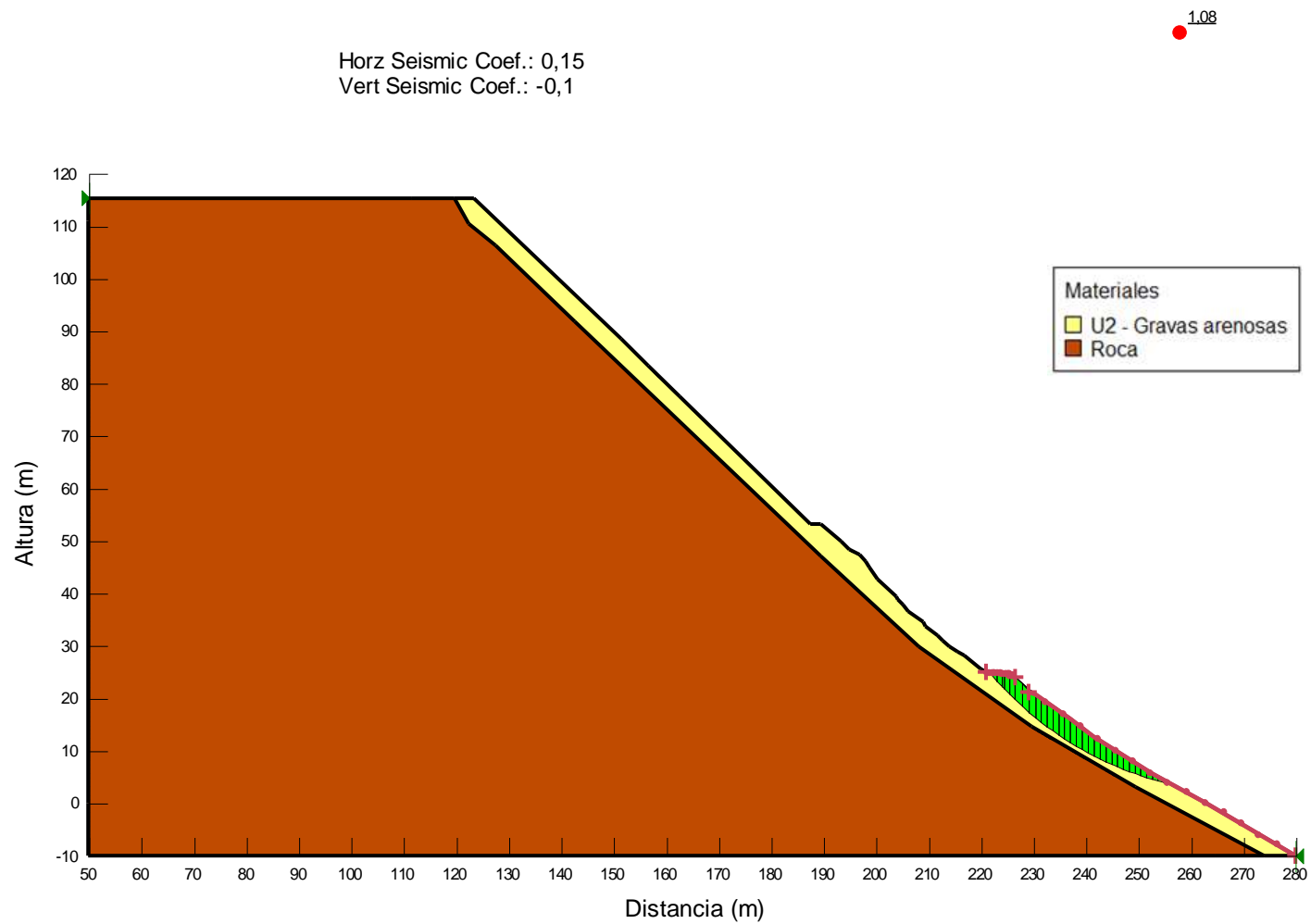


Figura C. 2. Talud 2. Análisis seudoestático. Talud inferior. Condición sin refuerzo. Falla global. Sector 2 (Pk 1+190 a 1+230).

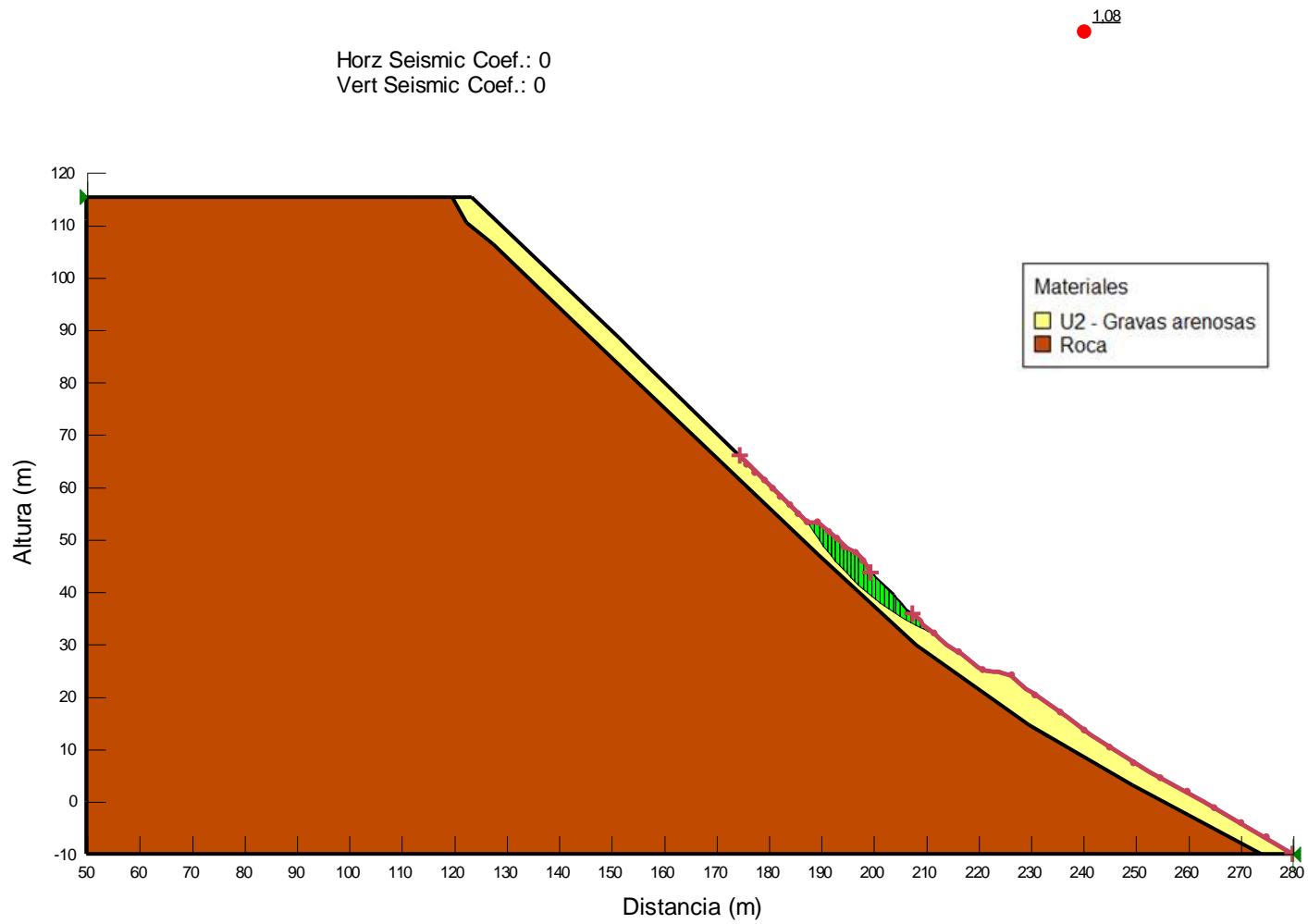


Figura C. 3. Talud 2. Análisis estático. Talud superior. Condición sin refuerzo. Falla global. Sector 2 (Pk 1+190 a 1+230).

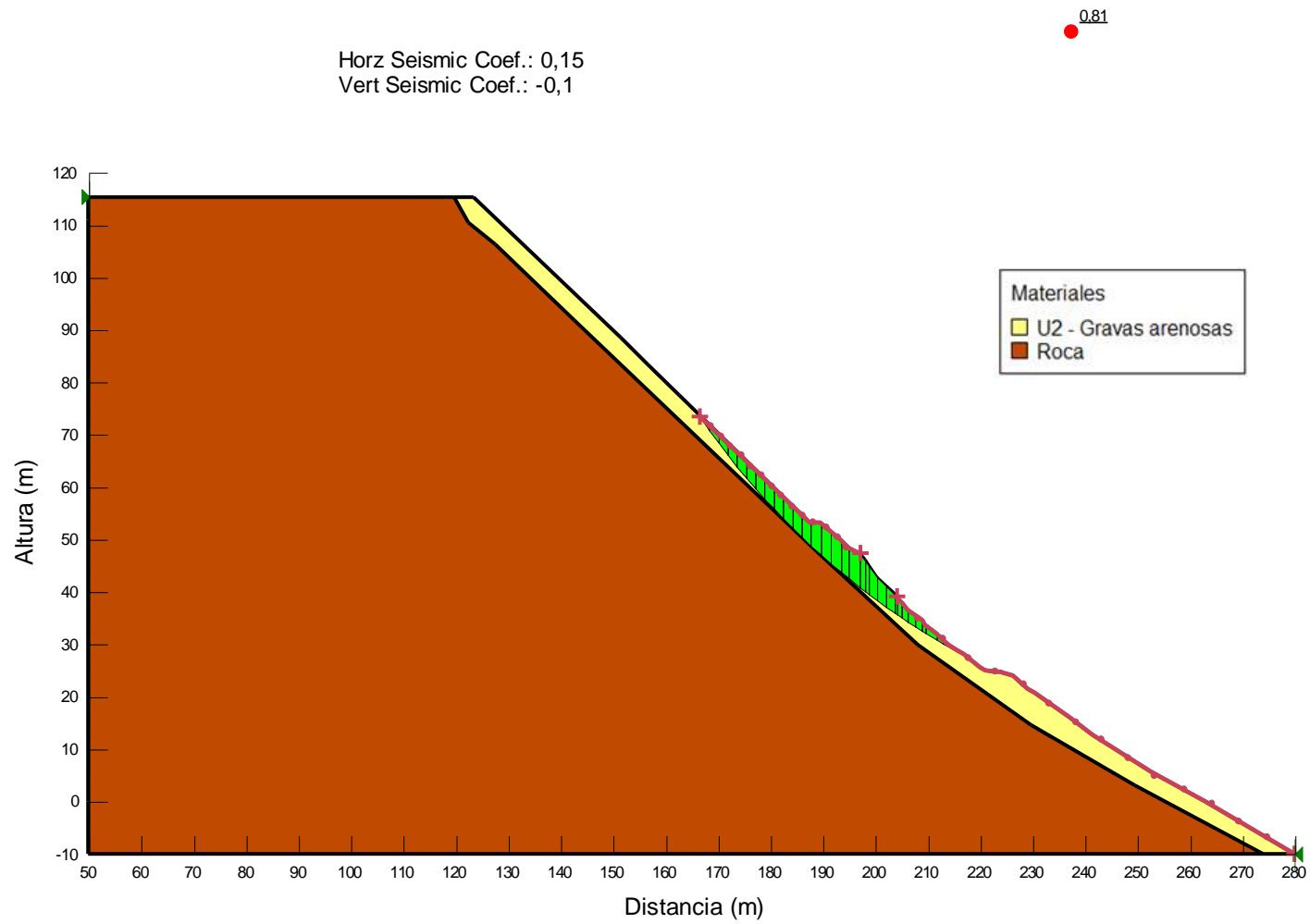


Figura C. 4. Talud 2. Análisis pseudoestático. Talud superior. Condición sin refuerzo. Falla global. Sector 2 (Pk 1+190 a 1+230).

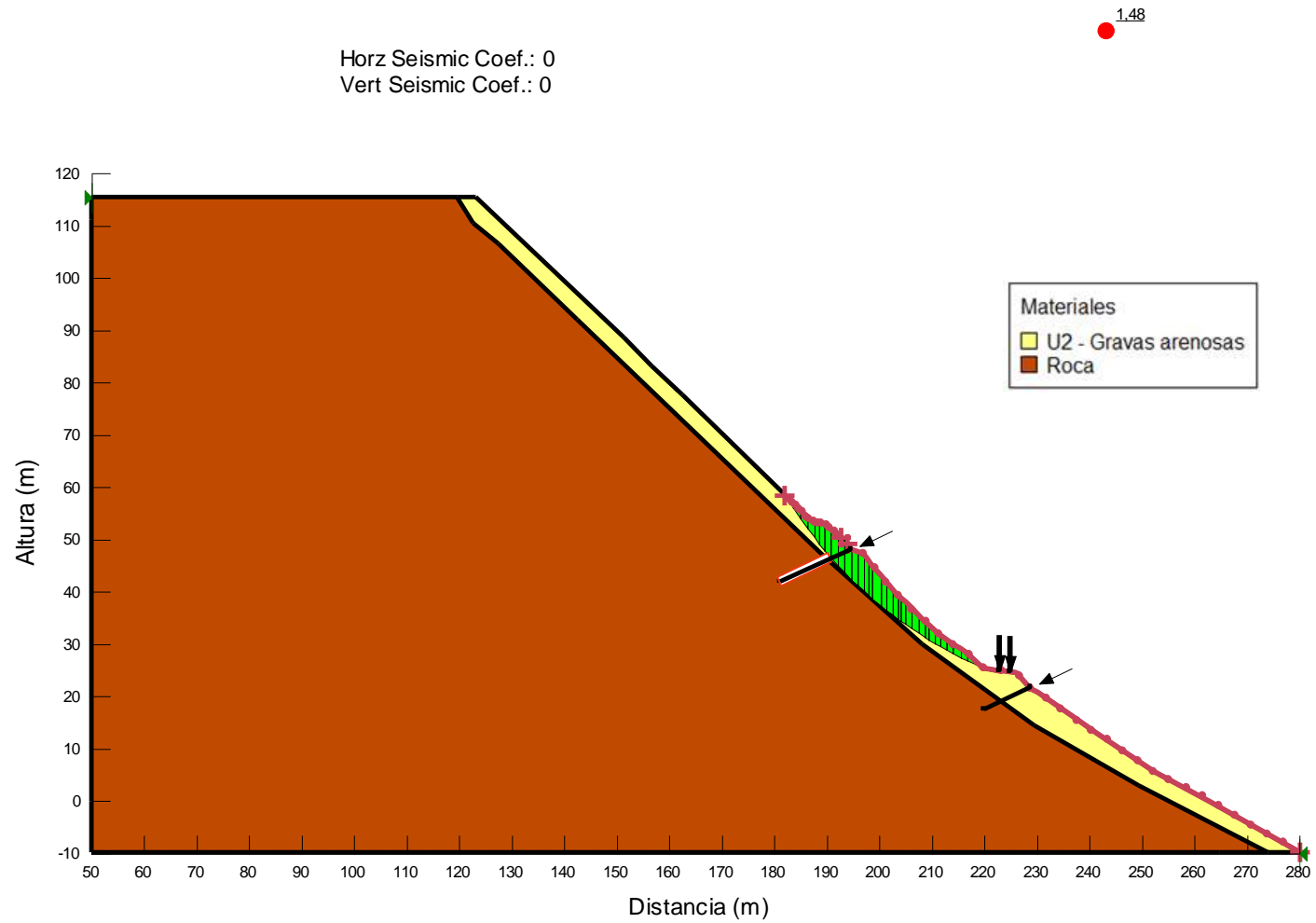


Figura C. 5. Talud 2. Análisis estático. Talud superior. Condición con refuerzo. Falla global. Sector 2 (Pk 1+190 a 1+230).

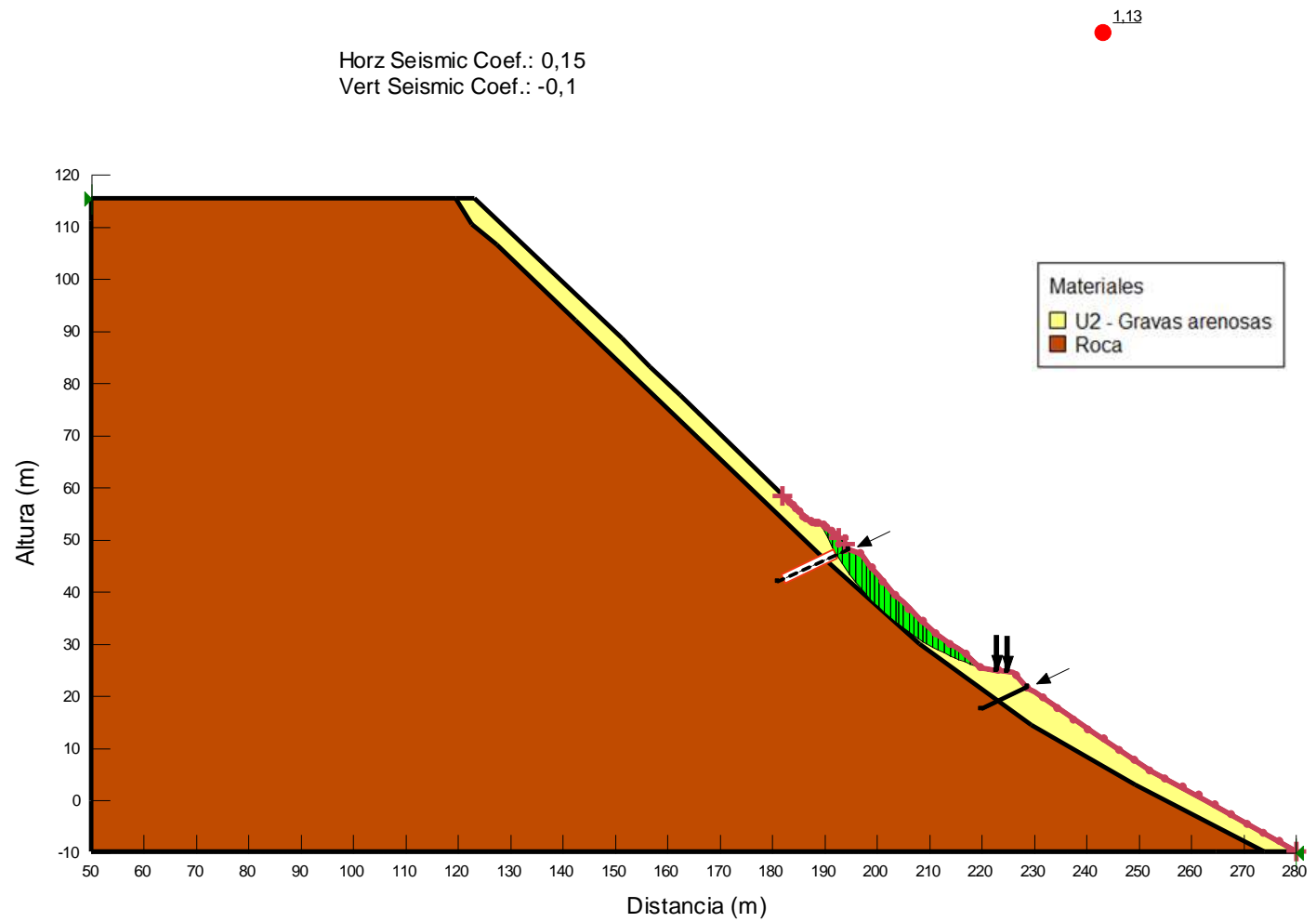


Figura C. 6. Talud 2. Análisis pseudoestático. Talud superior. Condición con refuerzo. Falla global. Sector 2 (Pk 1+190 a 1+230).

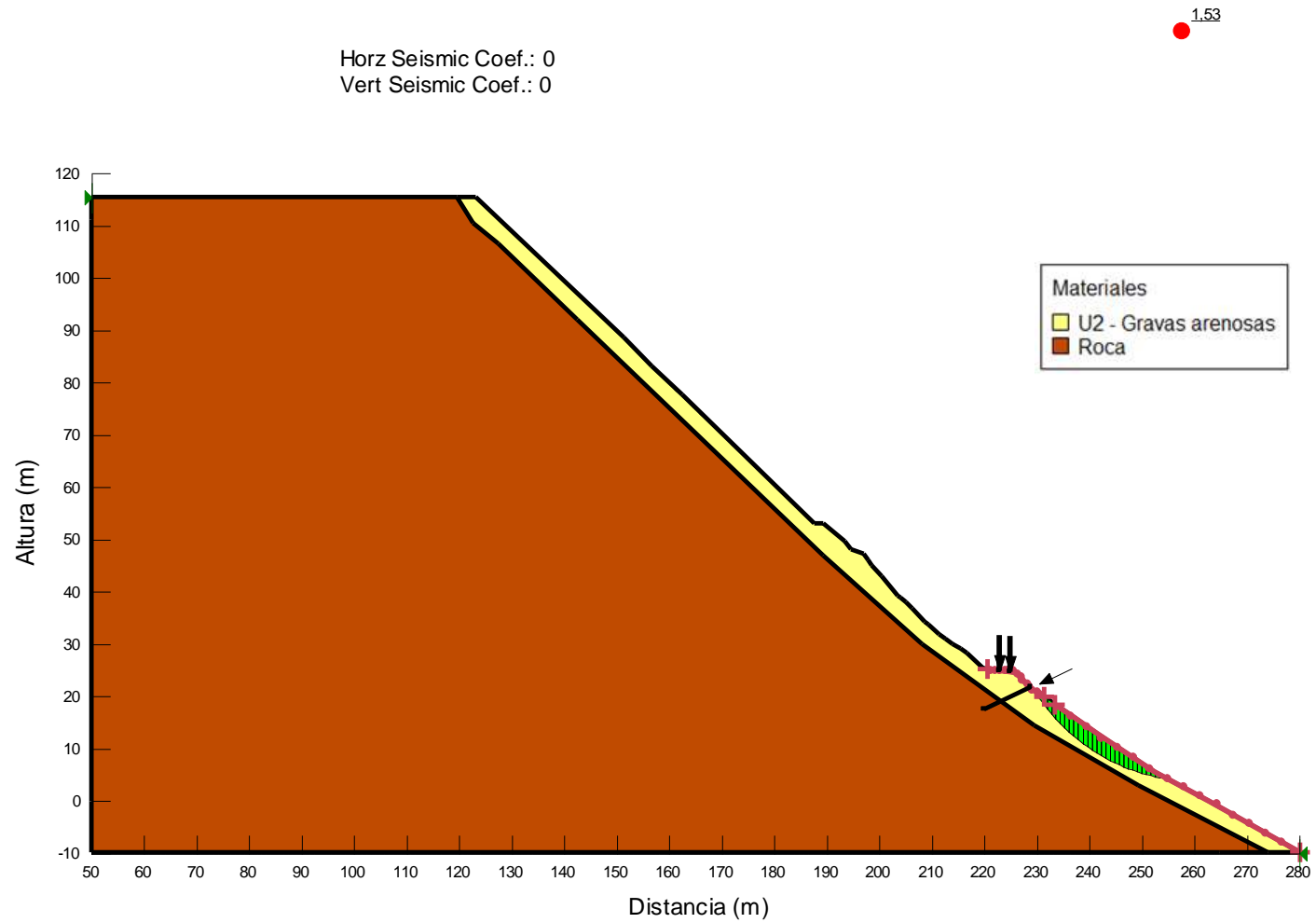


Figura C. 7. Talud 2. Análisis estático. Talud inferior. Condición con refuerzo. Falla global. Sector 2 (Pk 1+190 a 1+230).

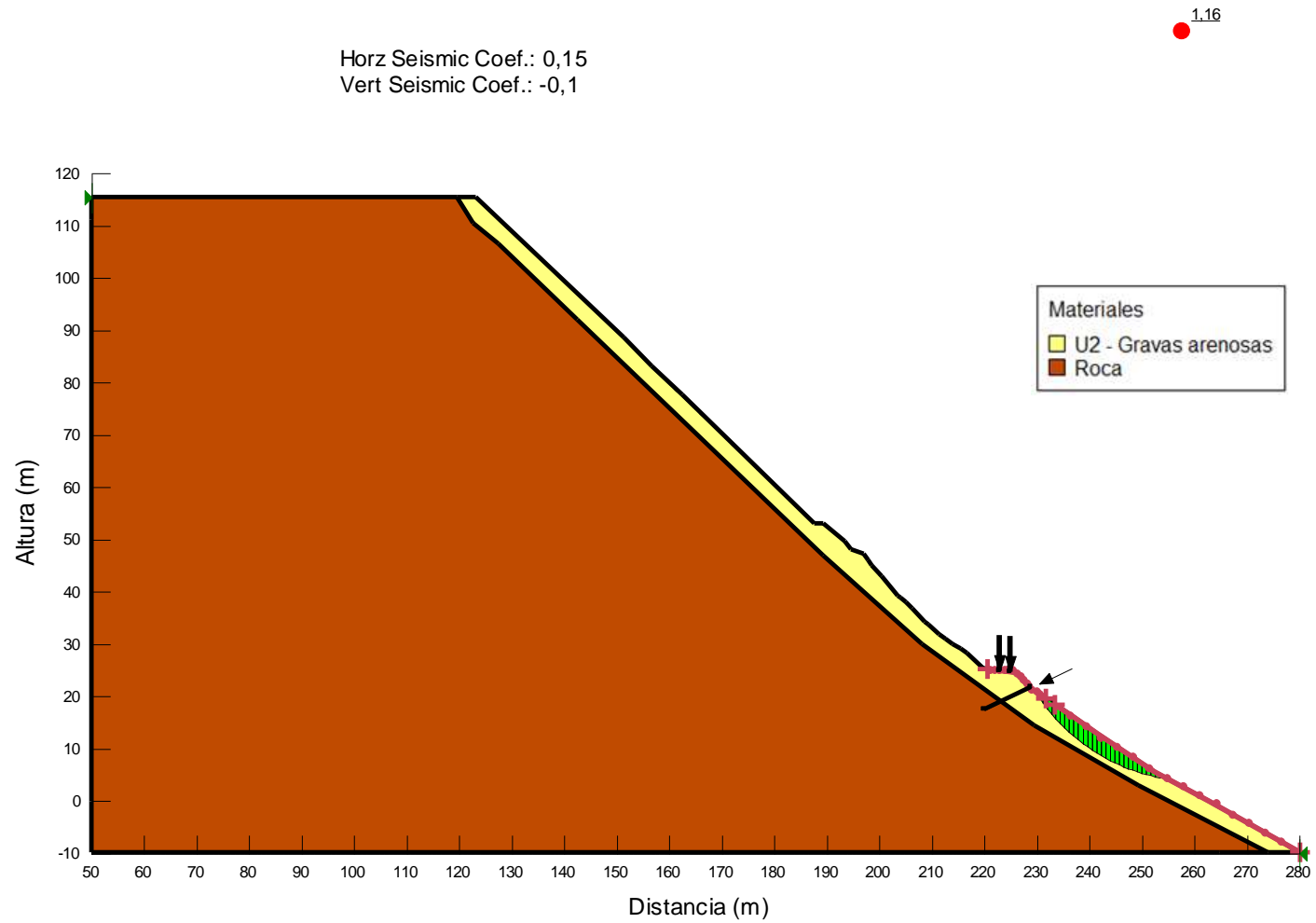


Figura C. 8. Talud 2. Análisis pseudoestático. Talud inferior. Condición con refuerzo. Falla global. Sector 2 (Pk 1+190 a 1+230).

ANEXO C – Investigaciones de terreno y ensayos de laboratorio

DESCRIPCIÓN DE CALICATAS



TUBERÍA ADUCCIÓN NACIMIENTO

CALICATA N° C-1



PROYECTO No.:	XG19011	
FECHA:	01-feb-19	
UBICACIÓN:	Talud Sector 1 Pk 0+350 a 0+400	
UTM Norte :	6.030.981	UTM Este : 295.788
UBICACIÓN:	Talud 1 (deslizamiento chico) Orilla Camino Vecinal	
ESPECIALISTAS:	Sandro Aguilera (Ing. Civil) Javier Mendoza (Geólogo)	
PROFUNDIDAD TOTAL (m):		
EQUIPO DE EXCAVACION:	MANUAL	
NIVEL FREÁTICO:	NO	
OBSERVACIONES:	Se realiza excavación tipo trinchera. No se requiere entibación.	

Estimación Visual

PROFUNDIDAD (m)	SÍMBOLO DEL GRUPO	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	% SOBRETAMAÑO ⁽¹⁾	% GRAVA ⁽²⁾	% ARENA ⁽²⁾	% FINOS ⁽²⁾	COLOR	CONSISTENCIA ⁽³⁾ O COMPACTIDAD	PLASTICIDAD	CEMENTACIÓN ⁽⁴⁾
0.0										
1.0	ML	Limo arcilloso inorgánico de color pardo amarillento, con escasas gravas mal graduada de tamaño máximo 5-8 cm. Las partículas gruesas se muestran subangulares. El contenido de humedad es bajo, de consistencia firme y estructura homogénea, de cementación nula, con una cantidad de finos aproximada de 60% de plasticidad nula, con un contenido de materia orgánica de tipo raicillas. Resistencia a la avulsión baja. Firme.	0	15	15	70	Pardo Amarillento	Firme	7,80	Nula
2.0										
3.0										
4.0										
5.0										

Notas:

(1) Porcentaje > 3 pulgadas.

(2) Suma de gravas, arenas, y finos = 100%

(3) Para suelos de grano fino (cohesivos): muy blando, blando, firme, duro y muy duro.

(4) Para suelos de grano grueso o fino: nula, débil, moderado, fuerte

(5) Penetrómetro de bolsillo, densidad in situ.

(6) Estratificado, laminado, fisurado, tajado (stickensiedel), en bloques, lenticular, homogéneo.

DESCRIPCIÓN DE CALICATAS



TUBERÍA ADUCCIÓN NACIMIENTO

CALICATA N° C-2



PROYECTO No.:	XG19011		
FECHA:	01-feb-19		
UBICACIÓN:	Talud Sector 2 Pk 1+190 a 1+230		
UTM Norte :	5.387.882	UTM Este :	255.789
UBICACIÓN:	Talud 2 (deslizamiento grande) Orilla Camino Proyecto		
ESPECIALISTAS:	Sandro Aguilera (Ing. Civil) Javier Mendoza (Geólogo)		
PROFUNDIDAD TOTAL (m):	2,50		
EQUIPO DE EXCAVACION:	MANUAL		
NIVEL FREÁTICO:	NO		
OBSERVACIONES: Se realiza excavación tipo trinchera. No se requiere entibación. Se registra sólo un horizonte de suelo.			

Estimación Visual

PROFUNDIDAD (m)	SÍMBOLO DEL GRUPO	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	ESTIMACIÓN VISUAL				COLOR	CONSISTENCIA ⁽¹⁾ O COMPACTIDAD	PLASTICIDAD	CEMENTACIÓN ⁽²⁾
			% SOBRETAMBAÑO ⁽¹⁾	% GRAVA ⁽³⁾	% ARENA ⁽⁴⁾	% FINOS ⁽⁵⁾				
0,0	GP	Grava limo arenosa, de color pardo amarillento, mal graduada de tamaño máximo 7 cm, cuya forma de partículas es angulosa con cantos rectos y de dureza alta, el contenido de humedad es media de compactación densa y cementación nula, con una cantidad de finos de 17% no plásticos, sin indicios de materia orgánica, origen geológico coluvial, resistencia a la excavación baja.	0	73	10	17	Pardo Amarillento	densa	NP	Nula
1,0										
2,0										
3,0										
4,0										
5,0										

Notas:

(1) Porcentaje > 3 pulgadas.

(2) Suma de gravas, arenas, y finos = 100%

(3) Para suelos de grano fino (cohesivos): muy blando, blando, firme, duro y muy duro.

(4) Para suelos de grano grueso o fino: nula, débil, moderado, fuerte

(5) Penetrómetro de bolsillo, densidad in situ.

(6) Estratificado, laminado, fisurado, lejado [sickeñidad], en bloques, lenticular, homogéneo.



Informe de Análisis de Suelo

Contratista	INGENIERO SR. SANDRO AGUILERA Y JAVIER MENDOZA
Mandante	
Obra	
Ubicación / Región	TALUD NACIMIENTO - PROY. TUBERÍA DE ADUCCIÓN CH ROBLERÍA
Area de Ensayo	SUELOS

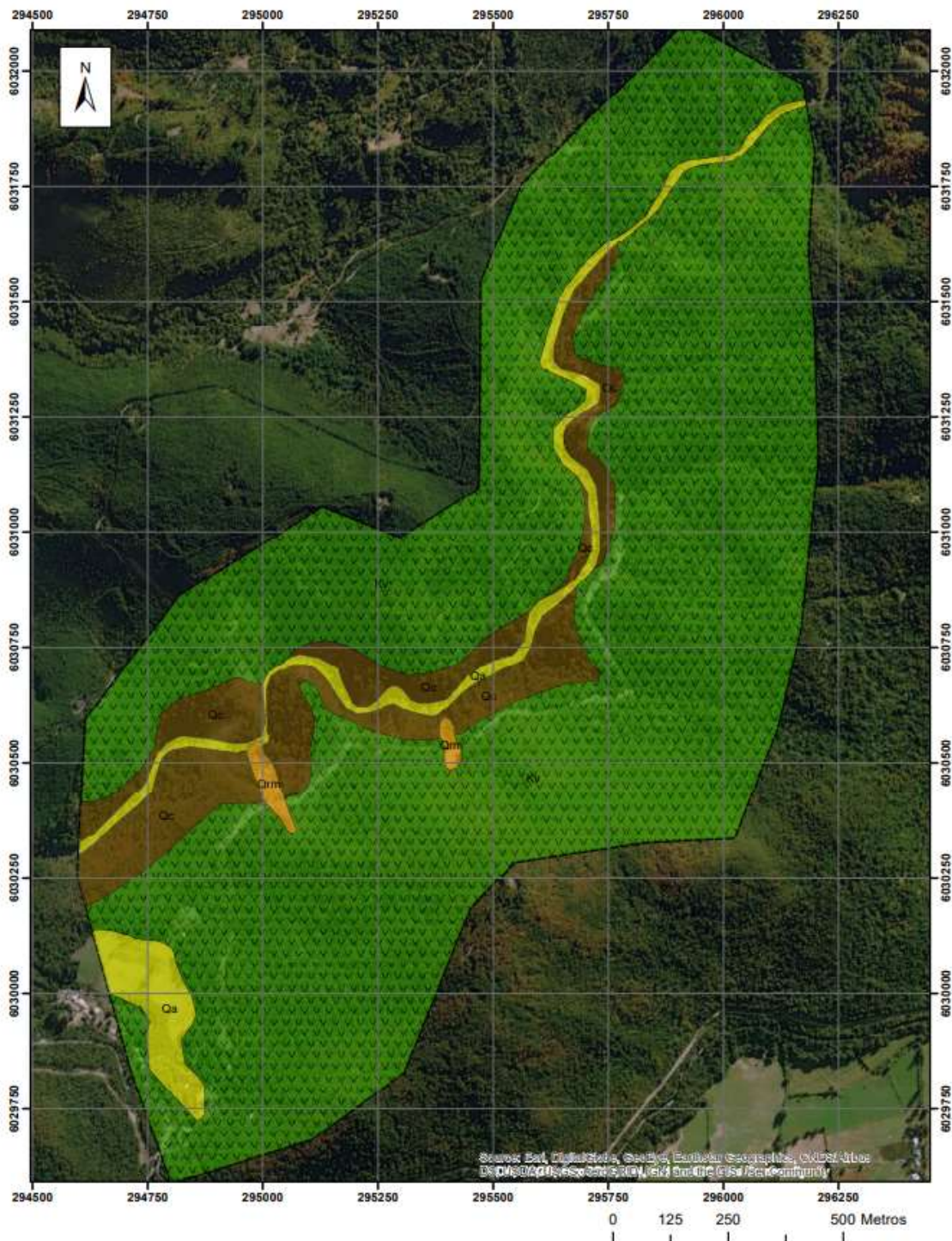
Granulometría (% que pasa en peso)			1	2	3	4	5	6
LNV 105-86			Ubicación de la Muestra					
ASTM	Tamices	Nch (mm)	M-1	M-2				
	Horizonte		-	-				
	Cota		-	-				
	Criba 3"	80 mm.	-	-				
	Criba 2 1/2"	63 mm.	-	100				
	Criba 2"	50 mm.	-	96				
	Criba 1 1/2"	40 mm.	100	84				
	Criba 1"	25 mm.	99	66				
	Criba 3/4"	20 mm.	97	54				
	Criba 3/8"	10 mm.	90	38				
	Malla N 4	5 mm.	85	27				
	Malla N 10	2 mm.	80	22				
	Malla N 40	0.42 mm.	75	19				
	Malla N 200	0.08 mm.	70	17				
	Holones sobre 3" (%)		-	8,3				
	Clasificación según USCS		ML	GM				
	Clasificación según AASHTO							

Características Físicas

Norma	Determinación						
Nch 1517/1-79	Límite Líquido	40,0	68,0				
Nch 1517/2-79	Límite Plástico	32,2	-				
Nch 1517/2-79	Índice plasticidad	7,8	NP				
Nch 1534-79	DMCH	-	-				
Nch 1534-79	Humedad Óptima	-	-				
Nch 1534-79	DMCS	-	-				
Nch 1726-80	Densidad Máxima	-	-				
Nch 1726-80	Densidad Mínima	-	-				
Nch 1852-81	CBR al 95% y a 0.1"	-	-				
Nch 1852-81	CBR al 95% y a 0.2"	-	-				
Nch 1852-81	CBR al 95% y a 0.3"	-	-				
Nch 1852-81	Hinchamiento	-	-				
Nch 1515-79	Humedad Natural	3,7	5,6				
Nch 1532-80	Densidad de Part. Sólidas	2,70	2,72				
DENSIDAD HUMEDA		-	-				
% DE HUMEDAD		-	-				
DENSIDAD SECA		-	-				
D.M.C.S		-	-				
% DE COMPACTACION		-	-				

OBSERVACION:
M1 : MUESTRA SUELO CALICATA 1
M2: MUESTRA SUELO CALICATA 2

ANEXO D – Plano de Unidades Geológicas



Leyenda

Estratigrafía

Cuaternario

- Depósitos Aluviales (Qa)
- Depósitos Coluviales (Qc)
- Depósitos de Remoción en Masa (Qrm)

Cretácico

- Rocas Volcánicas (Kv)

Gravas y bloques en una matriz areno-limosa que constituyen depósitos pobremente estratificados asociados a la acción de escorrentías superficiales. En la zona estudiada generan superficies de baja pendiente, relativamente planas y de poca extensión areal. Están compuestos por sedimentos heterocomposicionales provenientes de los afloramientos rocosos de las cercanías.

Gravas inmersas en una matriz limo-arenosa que configuran niveles subparalelos a las laderas de modesto espesor. Conforman depósitos de mala selección, con clasto subangulosos y monocomposicionales.

Mezcla heterogénea de arenas, gravas y bloques de rocas en una matriz limo-arenosa. Son depósitos generados por deslizamientos de suelos de origen coluvial en sectores donde el relieve exhibe pendientes abruptas. Se disponen de manera elongada perpendicularmente a las laderas.

Secuencia maciza de rocas volcánicas andesíticas a andesito - basálticas, con texturas afaníticas a porfídicas, acompañadas de discontinuas intercalaciones de brechas y brechas aglomerádicas de edad Cretácica, (González y Vergara, 1962).

- ### Notas
- 1.- La unidad de rocas volcánicas se encuentran cubiertas por espesores variables de "trumaos" correspondientes a suelos residuales alofánicos los cuales no han sido representados para indicar las características geológicas del subsuelo.
 - 2.- Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 19S
Proyección: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
Unidades: Meter