



ANÁLISIS PELIGRO DE REMOCIÓN EN MASA, REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
GOBIERNO REGIONAL DE ARICA Y PARINACOTA

INFORME FINAL

ANEXO G ESTUDIO MORRO DE ARICA 1:1.000 – MAPA 5

Estudio FNDR COD. BIP 40017755-0

Julio de 2024

Empresa ejecutora



ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO	4
1.1	<i>Objetivos</i>	6
1.2	<i>Metodología y etapas del estudio</i>	7
2	INSUMOS	12
2.1	<i>Resultados estudio Morro de Arica y alrededores escala 1:10.000</i>	12
2.2	<i>Modelo geológico – geotécnico Morro de Arica</i>	14
2.3	<i>Levantamiento topográfico mediante aerofotogrametría</i>	21
2.4	<i>Modelo de estructuras geológicas</i>	23
2.5	<i>Catastro de remociones en masa del Morro de Arica</i>	31
2.6	<i>Otros antecedentes</i>	33
3	ANÁLISIS	36
3.1	<i>Definición de secciones de análisis</i>	36
3.2	<i>Criterios y herramientas de análisis</i>	41
3.3	<i>Consideraciones, propiedades y escenarios de modelamiento</i>	44
3.3.1	<i>Análisis geométrico estructural con proyección estereográfica</i>	44
3.3.2	<i>Análisis para deslizamientos (rotacionales y traslacionales)</i>	50
3.3.3	<i>Análisis para caídas de rocas</i>	53
3.4	<i>Resultados obtenidos</i>	56
4	CONCLUSIONES	65
5	RECOMENDACIONES	68
6	BIBLIOGRAFÍA	76
	ANEXO A.1 CARTILLAS DE MAPEO MORRO DE ARICA	77
	ANEXO A.2 DEFINICIÓN, JUSTIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE PERFILES DE ANÁLISIS	97
	ANEXO A.3 RESULTADOS ANÁLISIS GEOMÉTRICO ESTRUCTURAL CON APOYO DE PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA POR SECCIÓN	118
	ANEXO A.4 RESULTADOS ANÁLISIS DE DESLIZAMIENTOS (ROTACIONALES Y/O TRASLACIONALES) POR SECCIÓN	126
	ANEXO A.5 RESULTADOS ANÁLISIS DE ANÁLISIS DE CAÍDAS DE ROCAS POR SECCIÓN	150

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Fotografías postales del Morro de Arica. Izquierda, vista turística del Morro año 2023; derecha fotografía del Cristo de la Concordia de Arica.....	4
Figura 1-2 Fotografías históricas del Morro de Arica que dan cuenta de la variación de geometría de sus laderas.....	5
Figura 1-3 Fotografía actual del Morro de Arica destacándose la intervención u ocupación antrópica.....	5
Figura 1-4 Fotografías que muestra zonas habitadas en la zanja de seguridad en la base de Morro (izquierda) y actual señalética que advierte la presencia de grietas en el borde del escarpe (derecha).	6
Figura 1-5 Detalle de los productos por cada Hito del estudio FNDR de remociones en masa en el Morro de Arica.....	7
Figura 1-6 Detalle de actividades realizadas en los Hitos 1, 2 y 3 del estudio FNDR de remociones en masa en el área Morro de Arica y alrededores.....	8
Figura 1-7 Detalle de etapas del estudio del Morro de Arica 1:1.000.....	8
Figura 1-8 Detalle de actividades de la Etapa 1: Preparación de insumos.....	9
Figura 1-9 Detalle de actividades para la etapa de Análisis del Morro de Arica a escala 1:1.000.....	10
Figura 1-10 Detalle de actividades realizadas para la tercera etapa de conclusiones y recomendaciones.	11
Figura 2-1 Área de estudio Morro de Arica 1:1.000 y rutas de terreno.	13
Figura 2-2 Modelo geológico – geotécnico del área del Mapa 5.	16
Figura 2-3 Ventanas geotécnicas con valores de GSI Morro de Arica.	21
Figura 2-4 Detalle del levantamiento fotogramétrico del Morro de Arica.....	22
Figura 2-5 Detalles del levantamiento aerofotogramétrico del Morro en 3D con el software <i>iTwin Capture</i> mediante imágenes representativas (superior e inferior).	23
Figura 2-6. Modelo de estructuras geológicas del área del Mapa 5.	25
Figura 2-7 Modelo de estructuras geológicas del Morro de Arica.	26
Figura 2-8 Detalle de modelo de estructuras geológicas en las laderas de la zona patrimonial del Morro.....	27
Figura 2-9 Imagen de vetas y vetillas rellenas con sales y óxidos de hierro.....	28
Figura 2-10 Bloque de rocas limitado por estructuras y grietas en la cara noreste del Morro en zona de Museo.	29
Figura 2-11 Grietas activas en laderas del Morro de Arica.....	30
Figura 2-12 Catastro de remociones en masa área Mapa 5.....	32
Figura 2-13 Línea de tiempo de estudios en el Morro de los últimos 70 años.....	33
Figura 2-14 Fotografías comparativas de estudios del Morro de Arica (1987 y actual estudio).....	34
Figura 3-1 Vista general de las secciones o perfiles de análisis Morro de Arica.	37
Figura 3-2 Ejemplo de características geométricas y ángulos de talud de secciones de análisis.....	39
Figura 3-3 Modelo geológico – geotécnico sección 2 de análisis (antigua cantera).	39
Figura 3-4 Modelo geológico – geotécnico sección 4 de análisis (zona de lavas en almohadillas y grietas). ..	40
Figura 3-5 Modelo geológico – geotécnico sección 5 de análisis (zona de remoción en masa y zanja).	40
Figura 3-6 Modelo geológico – geotécnico sección 6 de análisis (paseo peatonal superior y costanera en zona agrietada).	41
Figura 3-7 Modelo geológico – geotécnico sección 9 (postal turística del Morro).	41
Figura 3-8 Mecanismos de falla en taludes con y sin control de estructuras geológicas.....	42
Figura 3-9 Caídas y deslizamientos de rocas en el Morro de Arica el 31 de julio de 2021.....	43
Figura 3-10 Caídas y deslizamientos de rocas en el Morro de Arica el 1 de abril de 2014.....	43
Figura 3-11 Grietas en el Morro de Arica borradas y cubiertas.	44
Figura 3-12 Condiciones cinemáticas y proyección estereográfica para deslizamiento plano	45
Figura 3-13 Condiciones cinemáticas y proyección estereográfica para deslizamientos tipo cuña.....	46
Figura 3-14 Comparación fallamiento plano con iguales condiciones según proyección estereográfica.	47
Figura 3-15 Ejemplos de visualización para análisis geométrico estructural.	47

Figura 3-16 Evidencias de presencia de bloque agrietado entre ladera noroeste del Morro y Museo.	48
Figura 3-17 Criterios estereográficos para fallas planas y cuñas.....	49
Figura 3-18 Factores de seguridad para evaluar estabilidad.....	51
Figura 3-19 Modelos teóricos de trayectorias en caídas de rocas.	54
Figura 3-20 Ubicación de las secciones de análisis destacándose con flechas negras las figuras siguientes...	56
Figura 3-21 Ejemplo de análisis de deslizamientos Sección 2 sector de antigua cantera.	57
Figura 3-22 Ejemplo de análisis de deslizamientos Sección 3 zona de roca fracturada.	57
Figura 3-23 Ejemplo de análisis de deslizamientos Sección 5 zona de remoción en masa y zanja.	58
Figura 3-24 Ejemplo de análisis de deslizamientos Sección 7 en zona de bloque de roca agrietado en ladera posterior al Museo.	58
Figura 3-25 Ejemplo de definición de superficie en el análisis de deslizamiento traslacional.	59
Figura 3-26 Resultados análisis de deslizamiento traslacional bloque sección 7 (sector Museo).....	60
Figura 3-27 Representación de las zonas de generación y alcance para caídas de rocas.	61
Figura 3-28 Ejemplo de análisis de caídas de material Sección 2 sector antigua cantera.....	62
Figura 3-29 Ejemplo de análisis de caídas de material Sección 4 zona de lavas en almohadillas y grietas.....	62
Figura 3-30 Ejemplo de análisis de caídas de material Sección 6 Sector actual zanja y muro de roca.	63
Figura 3-31 Ejemplo de análisis de caídas de material Sección 9 postal turística del Morro.	63
Figura 3-32 Ejemplo de análisis de caídas de material Sección 10 sector de casas ladera NE del Morro.	64
Figura 4-1 Resultados y definición de zonas críticas, de restricción y seguridad escala 1:1.000 del área del Mapa 5.....	66
Figura 5-1 Matriz de riesgo para el análisis de casos de peligros del área del Mapa 5.	71
Figura 5-2 Recomendaciones zonas críticas y de seguridad del área del Mapa 5, escala 1:1.000.....	72
Figura 5-3 Señalética sugerida para zona crítica y de seguridad del área del Mapa 5 - Morro de Arica.....	74
Figura 5-4 Resumen estudios Morro de Arica 1960 – 2024.	75
Figura 5-5 Ejemplo de recomendaciones para el área del Mapa 5 - Morro de Arica.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Valores de calidad de macizo rocoso para unidades geológicas – geotécnicas del Morro de Arica. 20	
Tabla 3-1 Nombre, justificación y características de las secciones o perfiles de análisis.....	38
Tabla 3-2 Valores de propiedades geotécnicas del análisis de deslizamientos.....	52
Tabla 3-3 Valores de propiedades geotécnicas para el análisis de caídas de rocas.	55
Tabla 5-1 Casos analizados para definir recomendaciones área de estudio del Mapa 5.....	70

1 INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO

El Morro de Arica es un alto topográfico de cima llana asociado a la Cordillera de la Costa, emplazado dentro del área urbana de la ciudad de Arica y que se extiende hacia el sur como un escarpe costero. Destaca por su particular relieve y por ser además un símbolo turístico, Monumento Histórico y parte importante en la historia, poblamiento y dinámica de la ciudad. La Figura 1-1 muestra fotografías postales actuales de la vista del Morro de Arica.



Figura 1-1 Fotografías postales del Morro de Arica. Izquierda, vista turística del Morro año 2023; derecha fotografía del Cristo de la Concordia de Arica.

Sus laderas fuertemente inclinadas y con alturas que superan los 100 metros de altura, han estado presentes en muchas historias de batallas, desastres siconaturales y han sido fuente de generación de remociones en masa a lo largo de la historia de Arica, donde destacan caídas de rocas y desprendimientos que han afectado de distinta forma a la población. Las fotografías históricas de las laderas del Morro Figura 1-2 muestran cómo su geometría ha variado a lo largo de los años, según imágenes de los años 1868; 1896 y 1954.



Figura 1-2 Fotografías históricas del Morro de Arica que dan cuenta de la variación de geometría de sus laderas.

Antecedentes históricos dan cuenta de la intervención de las laderas del Morro, como la realizada con explotación de un sector como cantera en la década de 1960 (Salas, 1960), así como de una permanente preocupación de autoridades a lo largo de los años por la generación y efectos de remociones en masa en el Morro. Existen además estudios que recomiendan medidas de contención, las cuales no han sido implementadas. Actualmente existen construcciones en su base y en su cima (edificios, infraestructura asociada al monumento y antenas hacia el sur) como lo muestran las Figura 1-3 y Figura 1-4, las cuales muestran la intervención y ocupación antrópica, destacándose la presencia de carpas o “rucos” en la zanja de seguridad, basura y señalética oxidada que advierte la condición del terreno.



Figura 1-3 Fotografía actual del Morro de Arica destacándose la intervención u ocupación antrópica.



Figura 1-4 Fotografías que muestra zonas habitadas en la zanja de seguridad en la base de Morro (izquierda) y actual señalética que advierte la presencia de grietas en el borde del escarpe (derecha).

Dentro de los productos solicitados para el estudio FNDR de remociones en masa en la región de Arica y Parinacota, está el denominado “Mapa 5” según las Bases Técnicas de Licitación y que considera los resultados de un análisis e identificación de áreas críticas de Morro de Arica a escala 1:1.000.

En el presente Anexo se describe en detalle el estudio, incluyendo los antecedentes y etapas previas, metodología específica y análisis realizado, resultados obtenidos y recomendaciones emitidas.

1.1 Objetivos

El objetivo general de este estudio es identificar las áreas críticas que puedan ser afectadas por remociones en masa en el Morro de Arica a escala 1:1.000.

Por su parte, los objetivos específicos del Hito son:

- Recopilar, analizar y sistematizar estudios anteriores en el Morro de Arica relacionados con remociones en masa.
- Definir el área de estudio, metodología y herramientas de análisis.
- Generar insumos que permitan realizar el análisis de estabilidad de las laderas del Morro de Arica escala 1:1.000, como un modelo geológico – geotécnico, un catastro de remociones en masa del Morro, un modelo de estructuras geológicas y la identificación de los tipos de remociones en masa y mecanismos de falla presentes.
- Evaluar el peligro por remociones en masa en el Morro de Arica mediante el análisis de estabilidad de laderas en secciones (perfiles) representativos escala 1:1.000.
- Identificar las áreas críticas en el Morro de Arica a escala 1:1.000 respecto al peligro por remociones en masa y emitir recomendaciones asociadas con estabilidad y seguridad de las laderas.

1.2 Metodología y etapas del estudio

El estudio en su totalidad incluyó una etapa inicial de la **evaluación de la susceptibilidad a escala 1:10.000 del área Morro de Arica y alrededores**, que equivale al área del levantamiento aerofotogramétrico realizado para este estudio, que abarca desde el Morro de Arica por el norte hasta la zona industrial (cerca de Corpesca) por el sur. En esta área se aplicó la metodología propuesta por Muñoz (2013) para evaluación de susceptibilidad por remociones en masa en zonas urbanas mediante el cálculo de un Índice de Susceptibilidad (IS) a escala 1:10.000. Esta metodología, considera una primera etapa relacionada con la recopilación de antecedentes y una segunda asociada al estudio del área Morro de Arica y alrededores a escala 1:10.000, y cuya aplicación permitió identificar algunos sectores críticos hacia el área sur industrial de la ciudad. Los resultados de este análisis fueron presentados en el Hito 3, Informe de avance Etapa 3 – Revisión 2, Anexo F: Estudio Morro de Arica y alrededores. En la Figura 1-5 se muestra el detalle de las actividades por cada Hito del estudio.

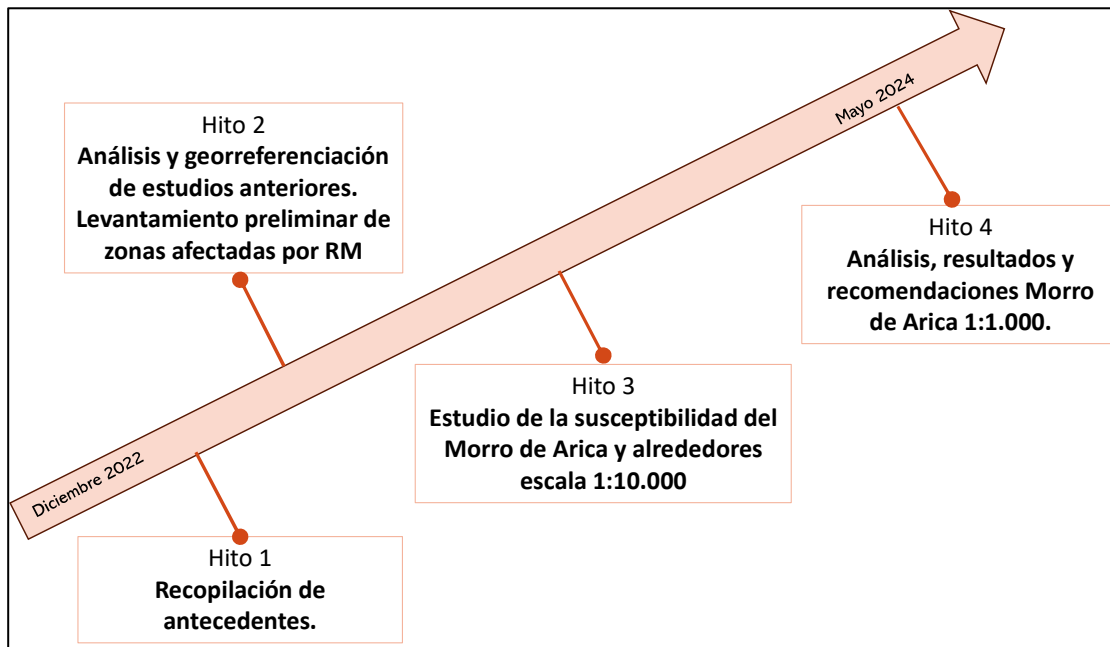


Figura 1-5 Detalle de los productos por cada Hito del estudio FNDR de remociones en masa en el Morro de Arica.

La Figura 1-6 muestra de manera esquemática un resumen de las actividades realizadas en los Hitos 1, 2 y 3.

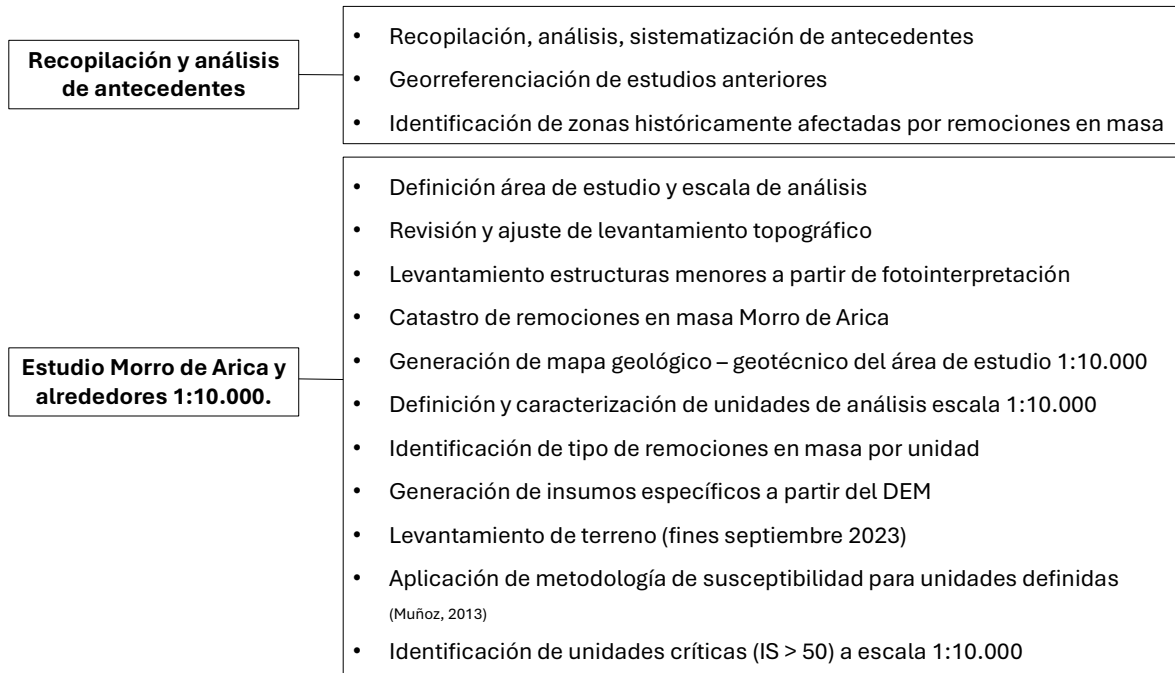


Figura 1-6 Detalle de actividades realizadas en los Hitos 1, 2 y 3 del estudio FNDR de remociones en masa en el área Morro de Arica y alrededores.

A partir de los resultados del estudio Morro de Arica y alrededores, escala 1:10.000, y de la identificación de unidades con alta a muy alta susceptibilidad, se plantean las etapas para el estudio a escala 1:1.000.

La Figura 1-7 muestra en imágenes el detalle de las subetapas, resumidas como: Insumos; Análisis y Recomendaciones.

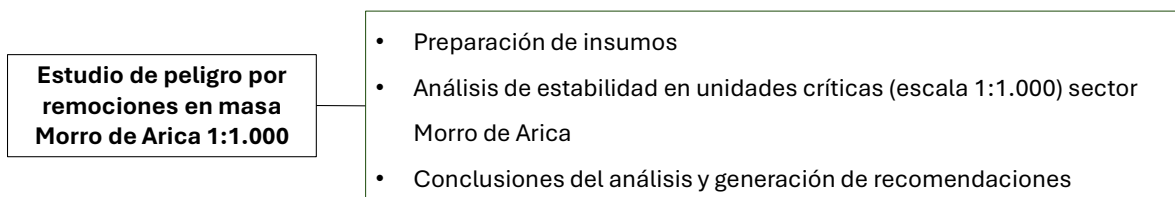


Figura 1-7 Detalle de etapas del estudio del Morro de Arica 1:1.000.

La Etapa 1 de preparación de insumos, incluye la recopilación y sistematización de todos los antecedentes, incluyendo los productos específicos generados durante el estudio.

La Etapa 2 de análisis, incluye la definición y evaluación de distintos escenarios mediante la exploración y aplicación de técnicas de análisis de estabilidad de taludes.

La Etapa 3 de conclusiones y recomendaciones, incluye una síntesis y agrupación de zonas críticas a partir de las cuales se emiten recomendaciones para reducir el riesgo.

El detalle de los insumos se muestra esquemáticamente en la Figura 1-8 donde se detalla en qué consisten los distintos insumos considerados y actividades realizadas para el estudio.

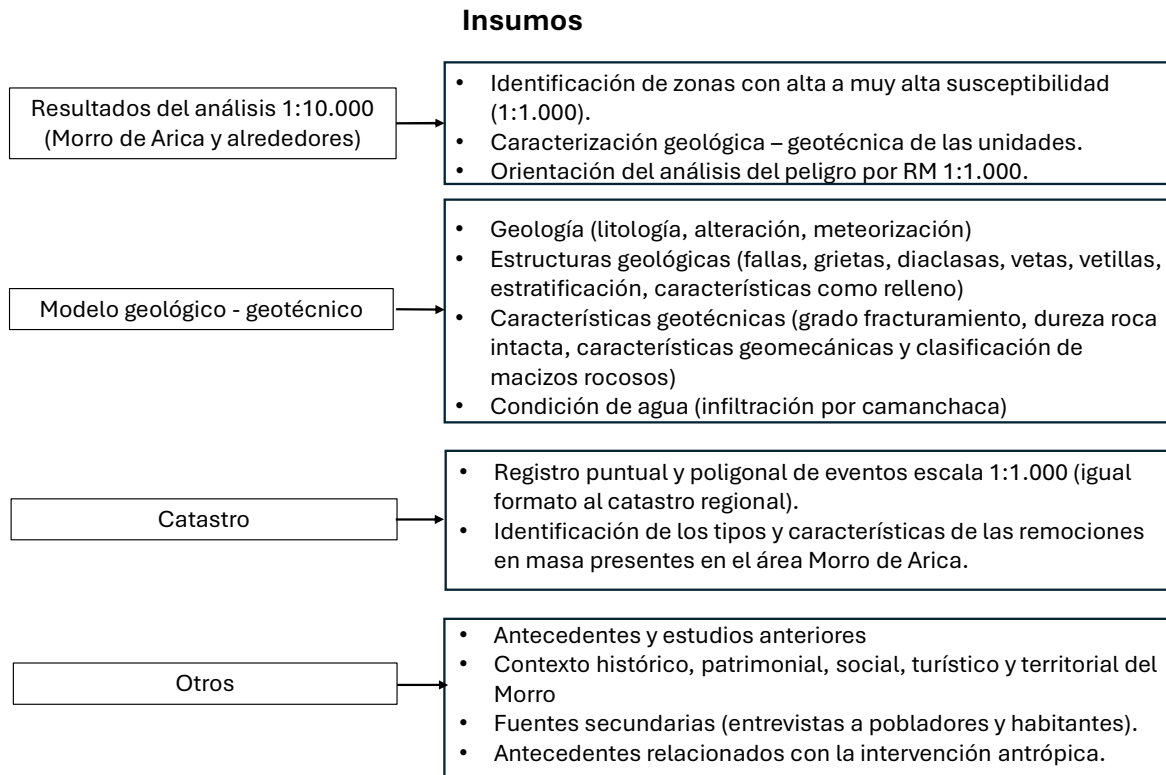


Figura 1-8 Detalle de actividades de la Etapa 1: Preparación de insumos.

La Figura 1-9 muestra un esquema de las subetapas y actividades asociadas a la etapa de análisis, en las que se incluyen definiciones de las secciones de análisis; estimación de propiedades geotécnicas para los materiales; definición de los escenarios a modelar y calibración y obtención de resultados para los escenarios propuestos.

Análisis

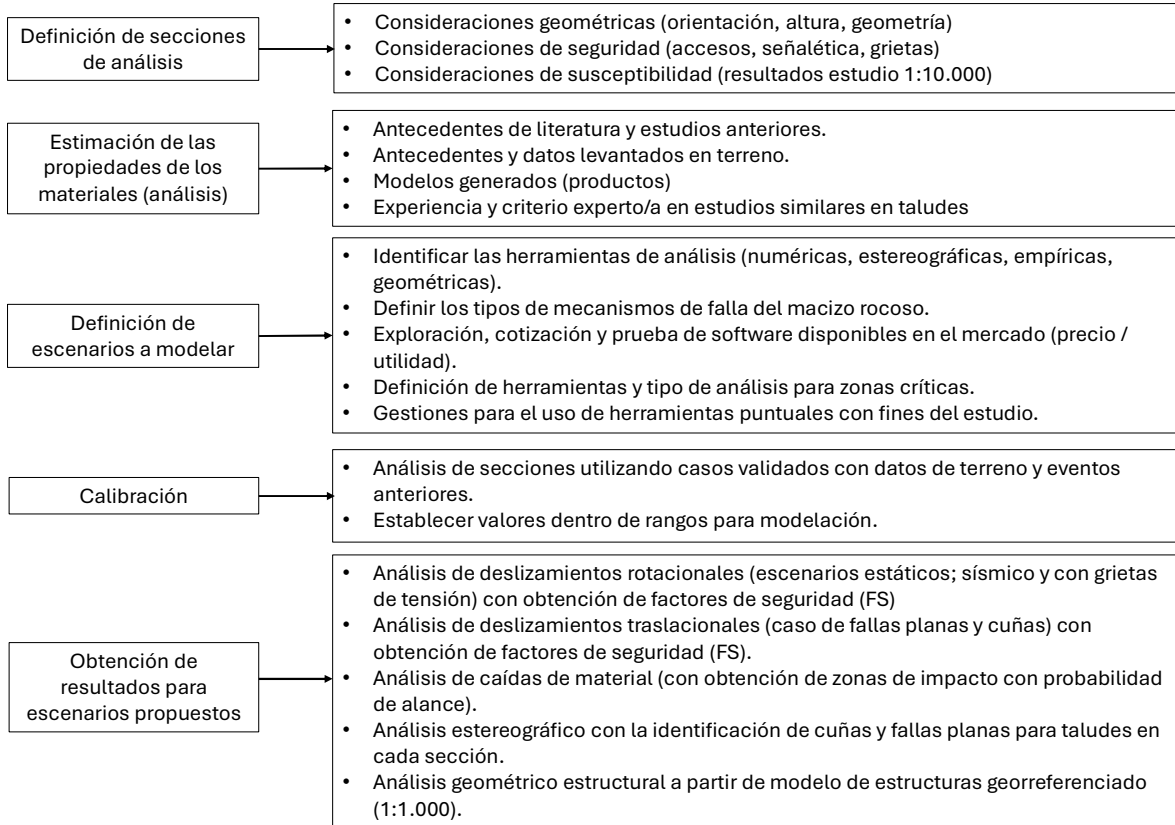


Figura 1-9 Detalle de actividades para la etapa de Análisis del Morro de Arica a escala 1:1.000.

Finalmente, se muestra un esquema de las subetapas, actividades y productos asociados a la tercera etapa de conclusiones y recomendaciones.

Recomendaciones

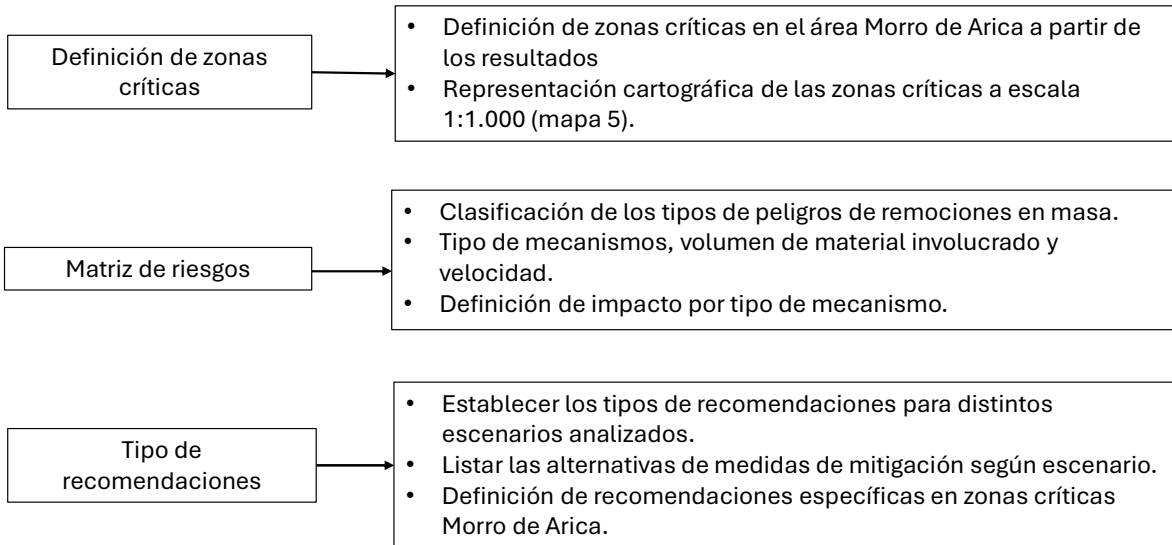


Figura 1-10 Detalle de actividades realizadas para la tercera etapa de conclusiones y recomendaciones.

2 INSUMOS

2.1 Resultados estudio Morro de Arica y alrededores escala 1:10.000

En la etapa inicial se realizó una **evaluación de la susceptibilidad a escala 1:10.000 del área Morro de Arica y alrededores**, utilizando como límites el levantamiento topográfico realizado para este estudio. Esta área corresponde desde Morro de Arica hasta la zona sur industrial, cerca de las instalaciones de Corpesca. En esta área, se aplicó la metodología propuesta por Muñoz (2013) para evaluación de susceptibilidad por remociones en masa en zonas urbanas.

Los resultados de la susceptibilidad obtenidos para distintos procesos en el área de estudio a escala 1:10.000 se entregaron como parte del Hito 3, Informe de avance Etapa 3 – Revisión 2, Anexo F: Estudio Morro de Arica y alrededores. Tal como lo sugiere la metodología aplicada, para las unidades con alta a muy alta susceptibilidad se recomienda evaluar el **peligro** por remociones en masa. Todos los detalles de las características, evaluación de la susceptibilidad y recomendaciones fueron entregadas en el Informe del Hito 3.

Los resultados de este estudio inicial permitieron identificar las unidades y mecanismos presentes en el Morro de Arica y delimitar el área de estudio a escala 1:1.000. La Figura 2-1 se muestra el área de estudio y los recorridos (*tracks*) y puntos GPS de terreno. Los detalles de las visitas y datos levantados se presentan en el Informe del Hito 3. El área cubre las laderas posteriores al condominio Ayllu por el sur, incluyendo las laderas del Morro que se orientan al oeste y norte (parte rocosa del Morro y postal turística) y la cara orientada al noreste, que es dónde se emplazan viviendas.

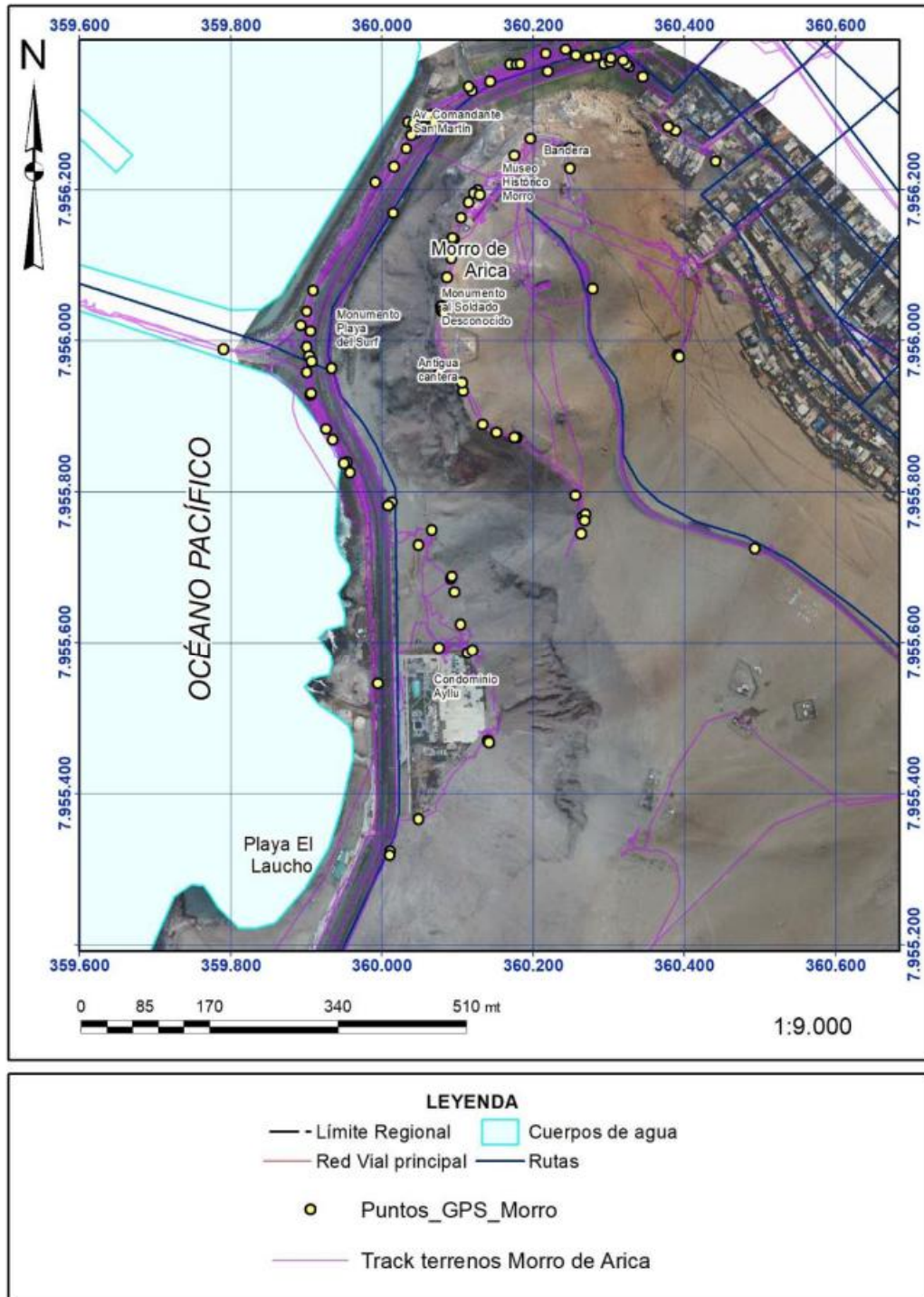


Figura 2-1 Área de estudio Morro de Arica 1:1.000 y rutas de terreno.

2.2 Modelo geológico – geotécnico Morro de Arica

Para efectos del presente estudio, se entiende por “modelo geológico – geotécnico” a una representación simplificada que agrupa las características geológicas y geotécnicas de los materiales presentes en un determinado sector de análisis y, que entregará información importante respecto al comportamiento geomecánico que tendrá al momento de su intervención o cambio en alguna de sus condiciones. Esta conceptualización incluye variables geológicas (como la litología, alteración, fracturamiento, meteorización, presencia de vetas, fallas, mineralización, o cualquier otro rasgo geológico que influya en su comportamiento); presencia de suelos o materiales menos consolidados, (su composición, espesores, características y propiedades) y variables geotécnicas (como dureza o resistencia de los materiales, condición de discontinuidades, presencia de agua, índices de fracturamiento, resistencia, valores de calidad de macizo rocoso, entre otros). También se pueden incluir áreas asociadas a obras antrópicas, rellenos antrópicos u otras que pueden tener características propias para el estudio. O bien, agrupar o simplificar unidades con fines de estudiar el peligro por remociones en masa de un área.

En el Hito 3, Informe de avance Etapa 3 – Revisión 2, Anexo F: Estudio Morro de Arica y alrededores, se confeccionó y presentó en detalle un modelo geológico – geotécnico para el área de estudio a escala 1:10.000 (Morro de Arica y alrededores) el cual incluye el área industrial al sur de la ciudad. Los detalles se encuentran en el Informe de entrega del Hito.

Para el presente Hito 4, se elaboró un modelo geológico – geotécnico del área Morro de Arica escala 1:1.000. La Figura 2-2 muestra una vista general del mapa indicando las unidades definidas para el área del Mapa 5, las cuales fueron validadas en terreno. Las unidades que componen el modelo son:

- Antrópico
- Depósitos al pie del talud
- Zona de falla
- Infraestructura
- Ladera arenosa
- Ladera arenosa con costra salina

- Lutitas
- Muro roca
- Material antigua remoción
- Roca cubierta con regolito
- Roca fracturada
- Rocas sedimentarias
- Rocas volcánicas
- Zanja

El rumbo global de la secuencia es N50°E mientras que el manteo de la secuencia es 20°E a sub horizontal. Esto sumado a las altas pendientes de las laderas del Morro dificulta la representación en planta, siendo la representación en perfiles más representativa como se presenta más adelante.

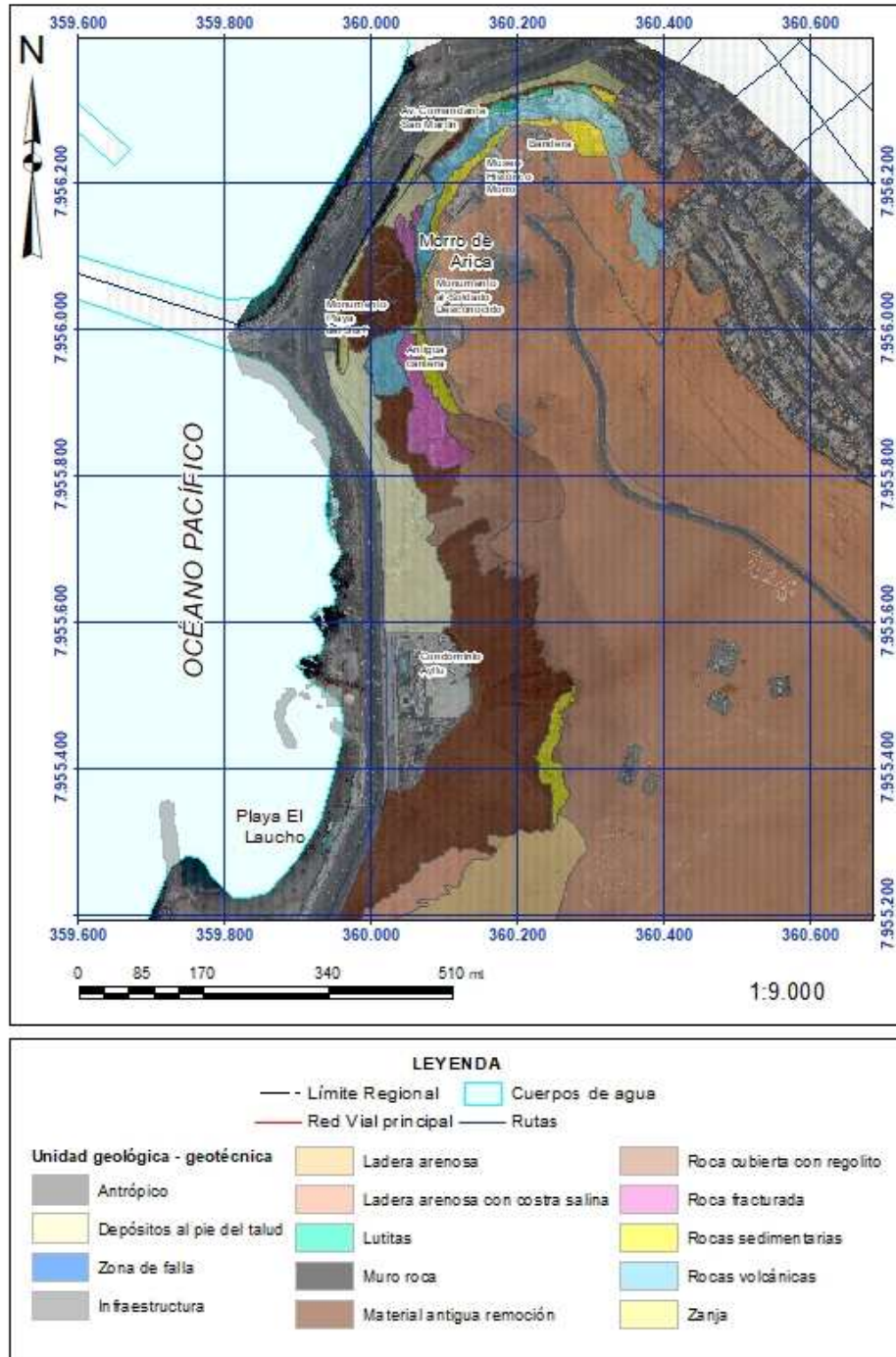


Figura 2-2 Modelo geológico – geotécnico del área del Mapa 5.

La unidad **Antrópico** incluye zonas con basurales, rellenos y plazas (áreas verdes entre calzadas), mientras que la unidad **Infraestructura** incluye zonas con cobertura de tipo construcción (caminos, veredas, calles, poblaciones, fábricas, entre otras). La unidad **Zanja** y **Muro de roca** hacen referencia específica a las obras al pie de la costanera bajo el Museo.

La unidad **Depósitos al pie del talud** hace referencia a depósitos al pie del Morro cuyo origen no es determinado, a diferencia de la unidad **Material antigua remoción**, que incluye depósitos de tipo remoción en masa indiferenciados emplazados tanto en la ladera del condominio Ayllu, en la zona de la actual zanja y en la base de las laderas del Morro. La unidad **Zona de falla** incluye una zona asociada a más de una traza o falla con espesor importante, determinada a partir del modelo estructural del estudio. La unidad **Ladera arenosa** abarca todas aquellas laderas compuestas por depósitos de arena (principalmente de origen eólico). En general, estas laderas presentan geometrías de lomaje más suave (con respecto al macizo rocoso del Morro), con ángulos de reposo natural promedio de 30° (visualizado especialmente hacia el sur del área de estudio). Posee a la fecha poca intervención y construcciones, pero al poseer una vista privilegiada del mar, podrían ser de interés futuro de inmobiliarias. La diferencia con la unidad **Ladera arenosa con costra salina** incluye cornisas, mantos y bloques de sal que quedan expuestos dentro de las laderas arenosas (especialmente hacia el sur del área de estudio). Ambas unidades sólo aparecen al sur del condominio Ayllu.

De las unidades específicas del Morro, todas ellas pertenecen a la Formación Camaraca de edad jurásica (Salas, 1960). A partir de los antecedentes, caracterización y el trabajo realizado en terreno se diferencian las unidades **Lutitas** (rocas sedimentarias estratificadas en la base de la secuencia); unidad **Rocas volcánicas** (lavas andesíticas y lavas en almohadillas en la parte media del Morro) y la unidad **Rocas sedimentarias** agrupa a la secuencia rocosa estratificada superior del Morro. En términos geotécnicos, la unidad **Lutitas** son rocas sedimentarias de grano fino de dureza media a baja, se rompen con un solo golpe de martillo geológico, asociándose a una resistencia a la compresión simple entre 27.7 y 55 MPa. Están fracturadas por sistemas de diaclasas y planos de estratificación, en general cerrados o rellenos con sales solubles. Las diaclasas son cortas (1 a 3 m máximo) y con espaciamentos menores a 50 cm que ocasionan que se rompan en bloques pequeños a través de estructuras. La secuencia mantea horizontalmente y presenta un espesor de 10 a 12 m, viéndose interrumpida por una falla que corta la secuencia (la unidad Lutitas no se reconoce en la base desde la unidad 9 al sur). De acuerdo con antecedentes, la resistencia al cizalle que presenta esta unidad es baja (concuere con las observaciones de terreno) y tiene baja calidad geotécnica. Su ubicación en la base de la secuencia (en la parte baja del talud), por debajo de la secuencia de unidades **Rocas volcánicas** y **Rocas sedimentarias**, ha ocasionado fatigas de roca por el soporte del peso de la masa superior y evidencias de reventones de roca (Barozzi, 1969). La unidad **Rocas volcánicas** agrupa a las rocas que se emplazan en la parte central del Morro, alcanzado una potencia de hasta 80 m (entre la unidad inferior **Lutitas** y la superior **Rocas sedimentarias**). Litológicamente la unidad **Volcánicas** se compone por lavas andesíticas con estructuras de almohadillas (lavas en almohadillas). Esta roca es dura a muy dura (requiere de más de un golpe de martillo geológico para ser fracturada), asociándose una resistencia a la compresión simple mayor a 100 MPa según la literatura. Según los antecedentes, este tipo de rocas es el que se habría usado para los rellenos exteriores de obras portuarias. En su conjunto, esta unidad es de un macizo rocoso con fuerte pendiente atravesado y controlado por fallas y diaclasas. Estas diaclasas se presentan con poca continuidad (<1 m) hasta diaclasas muy largas (>100 m) que atraviesan toda la secuencia de rocas del Morro y controlarían las características geométricas y geomecánicas del macizo. Se reconocen sectores con evidencias de grietas abiertas, las cuales tienen indicios de actividad reciente (por ejemplo, comparando fotos de menos de 10 años). La unidad **Rocas sedimentarias** se componen principalmente de rocas sedimentarias estratificadas dispuestas de manera subhorizontal (estratos de espesor variable desde unos pocos centímetros a metros) que se exponen principalmente en la parte alta del Morro, sobre las rocas volcánicas. Las unidad **Rocas sedimentaria** también se encuentra atravesada por fracturas, diaclasas, vetas y vetillas las cuales están abiertas o rellenas por sales solubles. En el capítulo siguiente se presenta el modelo de estructuras geológicas generado a partir de la información recopilada.






La unidad **Roca cubierta con regolito** agrupa una gran unidad principalmente en la cima del Morro y algunas laderas (especialmente las orientadas al oeste), y hace referencia a la cubierta de regolito de espesor variable (desde unos pocos centímetros hasta un metro de potencia) y que cubre las rocas del Morro, especialmente en la planicie superior en el alto topográfico, y compuesta por fragmentos de rocas de pocos centímetros y variados tipos litológicos en una matriz arenosa. Finalmente, la unidad **Roca fracturada** se restringe a la zona rocosa del Morro hacia la costanera que evidencian un daño por acción antrópica (según antecedentes, antigua cantera o zona intervenida para la apertura del camino costero y conexión de la ex Isla Alacrán).

Existen en el área depósitos litorales no consolidados asociados a la dinámica costera y que quedan fuera de las unidades analizadas. Lo mismo ocurre con los afloramientos rocosos de la costa indiferenciados. En ambos casos, estos depósitos quedan fuera del área de estudio, considerando procesos asociados a movimiento o remoción en masa.

A partir de datos recopilados en terreno, se estimó la calidad del macizo rocoso mediante el índice GSI (*Geological Strength Index*) en ventanas geotécnicas de las unidades rocosas más representativas del área del Morro de Arica, y cuyos valores y rangos de calidad geotécnicas muestra en la Tabla 2-1. Se presenta además una correlación entre índices de clasificación geomecánica (GSI y *Rock Mass Rating*, RMR) a partir de fórmulas de literatura indicando la clase o calidad geotécnica en cada caso. La Figura 2-3 muestra un ejemplo de ventanas con distintos valores de GSI.

Las unidades varían de regular a buena calidad geotécnica (como lavas en almohadillas y rocas volcánicas); mala a regular calidad geotécnica (como las lutitas, rocas sedimentarias y planos de falla) y mala calidad geotécnica (como la unidad roca fracturada, o asociada a rocas intervenidas con tronadura).

Tabla 2-1 Valores de calidad de macizo rocoso para unidades geológicas – geotécnicas del Morro de Arica.

Material	Descripción	Geological Strength Index GSI (*)	Clasificación geomecánica RMR = GSI + 5 (Hoek y Brown)	Clase	Fotografía
Lutitas	Rocas sedimentarias estratificadas en la base y centro de la secuencia. Se presentan fracturadas por sistemas de diaclasas y planos de estratificación. La secuencia manteea sub horizontal y presenta un espesor de 20 m. Diaclasas cerradas o rellenas con sales solubles y cortas (1-3m) y espaciamentos < 50 cm. La resistencia al cizalle y calidad que presenta esta unidad es baja.	30	35	Clase IV (mala calidad geotécnica)	
Rocas volcánicas	Rocas volcánicas en la parte central y superior del Morro. Incluye pillow lavas, andesitas, brechas volcánicas. La secuencia alcanza potencias de 80m. Las rocas tienen alta dureza. Presentan diaclasas y fallas que atraviesan la secuencia, que incluyen largos métricos. Están abiertas o con rellenos de sales solubles.	50 – 65	55 - 70	Clase III a II (regular a buena calidad geotécnica)	
Rocas sedimentarias	Secuencia que agrupa a las rocas sedimentarias (indiferenciadas) en la parte superior del Morro, alcanzando 40m de potencia. Incluye areniscas, limolitas, lutitas de colores claros, con dureza media y poca presencia de estructuras geológicas, dispuestas con maneto sub horizontal bajo la roca cubierta con regolito.	20 - 40	25 - 45	Clase IV a III (mala a regular calidad geotécnica)	
Zona de falla	Zona o área que incluye una zona asociada a una o varias trazas de fallas con espesor importante para la escala del mapeo (1:1.000) determinadas a partir del modelo estructural del estudio.	30	35	Clase IV a III (mala a regular calidad geotécnica)	
Roca fracturada	Unidad particular de litología no determinada (posiblemente volcánica) pero que se diferencia del resto por el grado de fracturas y agrietamiento que presenta. Se caracteriza por su mala calidad geotécnica	30	35	Clase IV (mala calidad geotécnica)	

(*) valores estimados a partir de terreno, fotogrametría y fotografías dron.

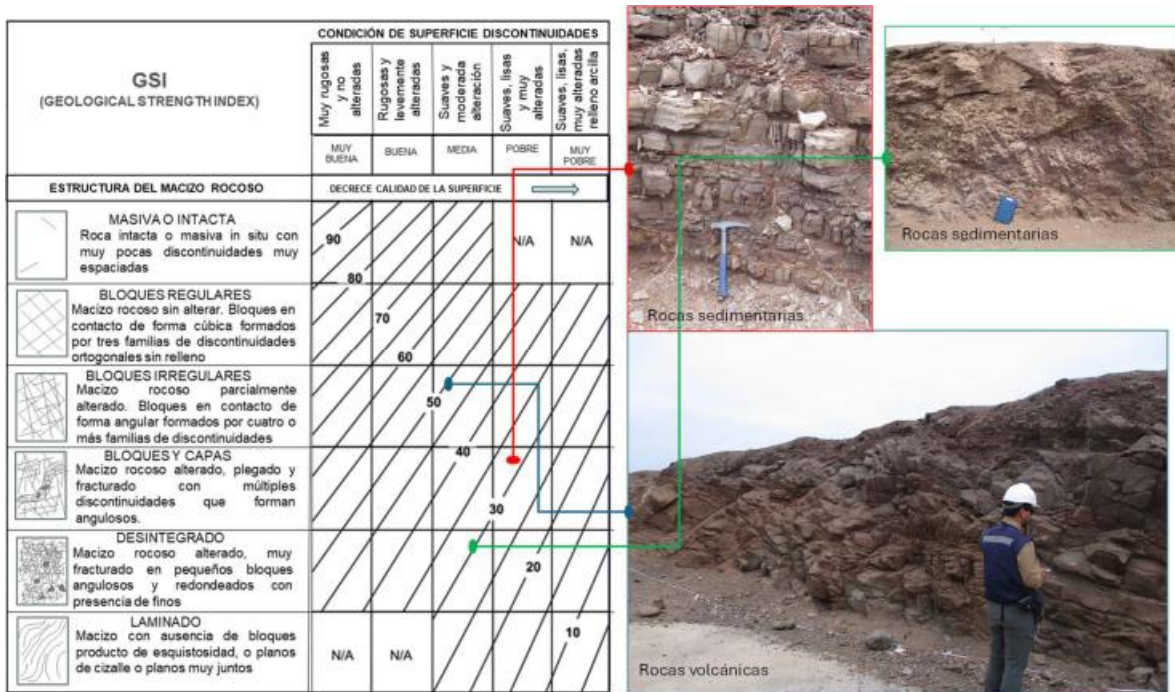


Figura 2-3 Ventanas geotécnicas con valores de GSI Morro de Arica.

Cabe señalar que, en términos de macizo rocoso, el Morro de Arica en algunas de sus laderas puede ser analizado con criterios similares a la explotación minera. Esto se debe a que en algunas de sus laderas fue usado como cantera, presentando evidencias de daño por tronadura. Además, la meteorización y rellenos salinos de las estructuras empobrecen su calidad con el paso del tiempo.

2.3 Levantamiento topográfico mediante aerofotogrametría

Para propósitos del presente estudio, se realizó un levantamiento topográfico con mayor detalle del área de estudio del Morro de Arica y alrededores. Este producto se llevó a cabo con la empresa de topografía, geodesia y cartografía 7Mensura, quienes levantaron un área de 400 hectáreas a escala 1:1.000. Las ventajas del levantamiento, especialmente la ortofoto, es el nivel de detalle que entrega de la superficie del terreno desde distintas perspectivas, lo que complementado con imágenes y videos de vuelos de dron más fotografías de terreno, permitió una identificación de grietas y estructuras adecuada a la escala de trabajo. En la Figura 2-4 se muestra un ejemplo del nivel de detalle de la ortofoto del levantamiento con la visualización de la zona de grietas en la ladera oeste del Morro (alrededor del Museo y paseo) a escalas 1:1.000 y 1:250, permitiendo la estimación y medición de parámetros como la orientación, apertura, relleno, continuidad, etc.



Figura 2-4 Detalle del levantamiento fotogramétrico del Morro de Arica.

Además, la visualización de maquetas 3D del Morro incluyendo la textura del levantamiento (con el uso del software libre *iTwin Capture*), permite rotar, desplazar y mirar con distinto aumento el relieve, favoreciendo la identificación y caracterización de estructuras geológicas (Figura 2-5, superior e inferior). La imagen superior muestra el manto o inclinación de algunas estructuras. La imagen inferior muestra datos sobre la continuidad y largo de la estructura.

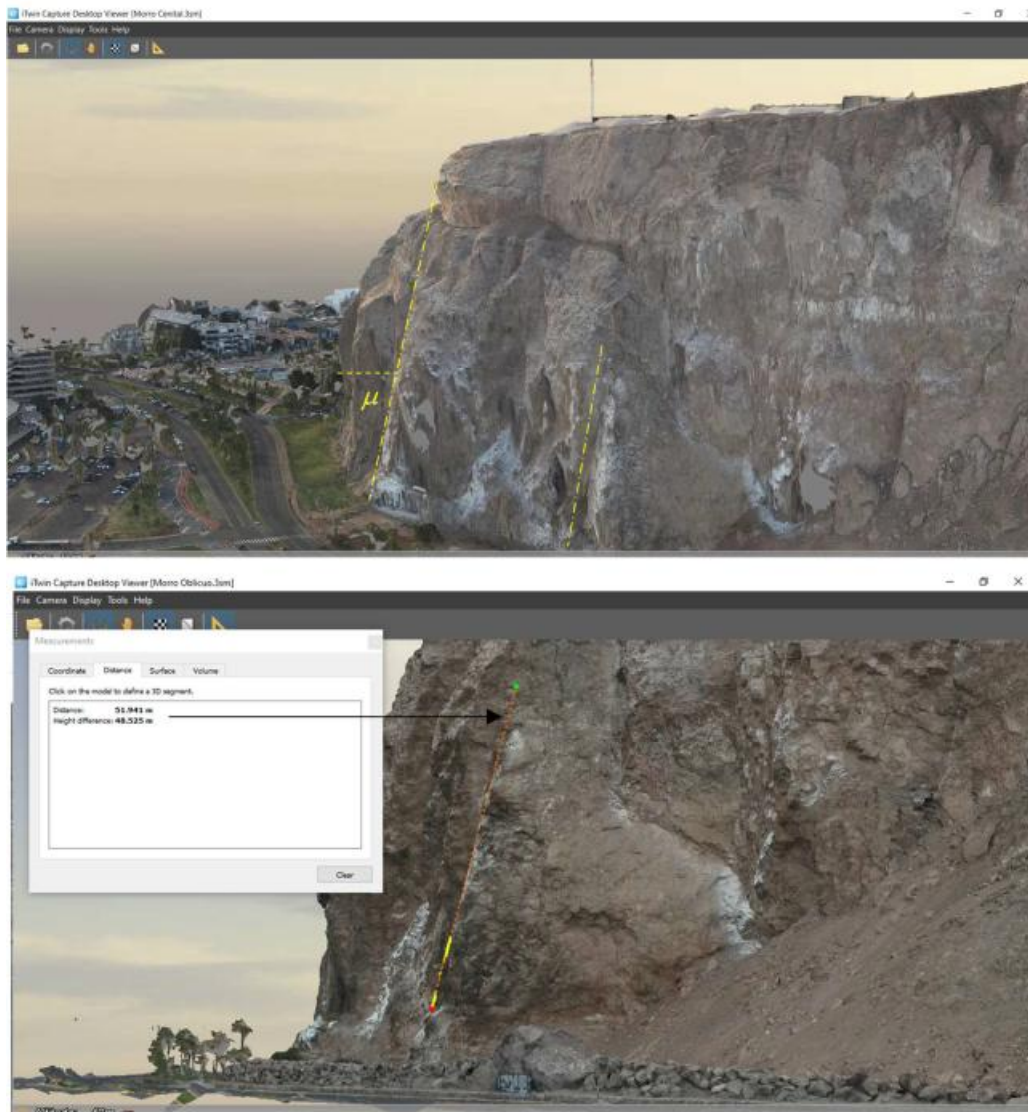


Figura 2-5 Detalles del levantamiento aerofotogramétrico del Morro en 3D con el software *iTwin Capture* mediante imágenes representativas (superior e inferior).

2.4 Modelo de estructuras geológicas

Para fines del presente estudio, y considerando además la alta resolución de los productos del levantamiento aerofotogramétrico, se hizo un levantamiento y caracterización de las estructuras geológicas principales, generando como producto un modelo de trazas geológicas en superficie escala 1:1.000. Este modelo consideró el mapeo *in situ* a distancia de estructuras, así como la digitalización y proyección de trazas a partir de la ortofoto y el modelo 3D de superficie. Dentro de las estructuras reconocidas se incluyeron:

- Fallas
- Grietas
- Diaclasas (solas y como sistemas)
- Fracturas (discontinuidades en la roca que no siguen planos de debilidad predefinidos o de origen reciente)
- Vetas y vetillas (las primeras centimétricas las segundas milimétricas)
- Planos de estratificación

La Figura 2-6 muestra cómo se visualiza este modelo estructural en el área del Mapa 5. Como se puede apreciar, las estructuras geológicas se concentran en las zonas rocosas en el Morro. Hacia las laderas del condominio Ayllu, no se mapearon estructuras geológicas.

Recordar que la secuencia de rocas del Morro se encuentra estratificada, con rumbos aproximados NE y manteos varían de 0° al este a sub horizontales.

La Figura 2-7 muestra un detalle del modelo de estructuras geológicas visualizado escala 1:4.500 del área rocosa del Morro. La Figura 2-8 muestra un detalle del sector rocoso orientado al oeste, correspondiente a las laderas que limitan la zona turística y patrimonial, orientadas hacia el noroeste, donde, como se puede apreciar, se concentran las estructuras. En esta figura de referencia se muestran además los nombres asignados a algunas estructuras más relevantes en términos de continuidad, extensión, espesor o que controlen alguna de las laderas del Morro. Esta información fue entregada como archivos georreferenciados en la entrega anterior.

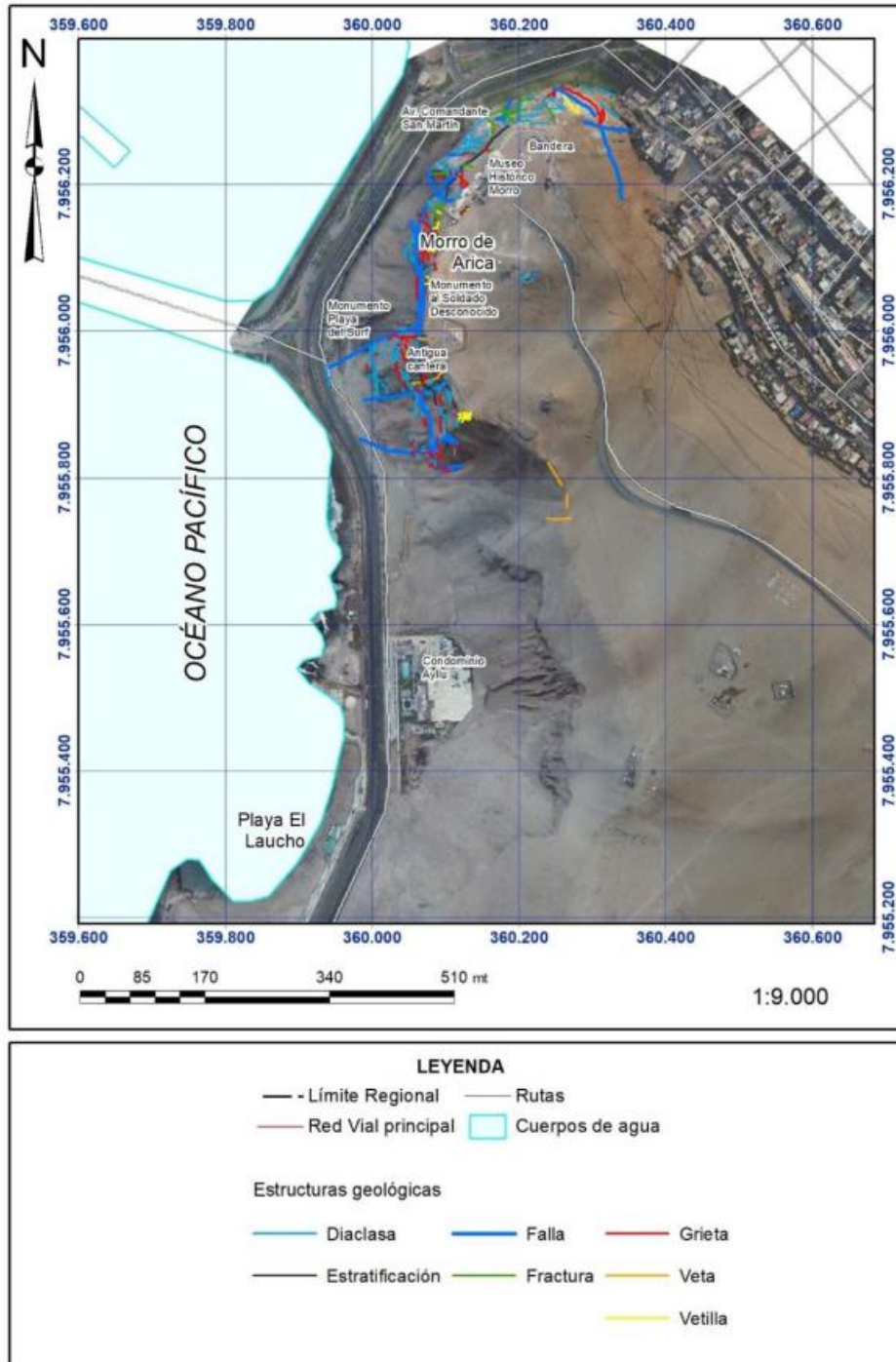


Figura 2-6. Modelo de estructuras geológicas del área del Mapa 5.

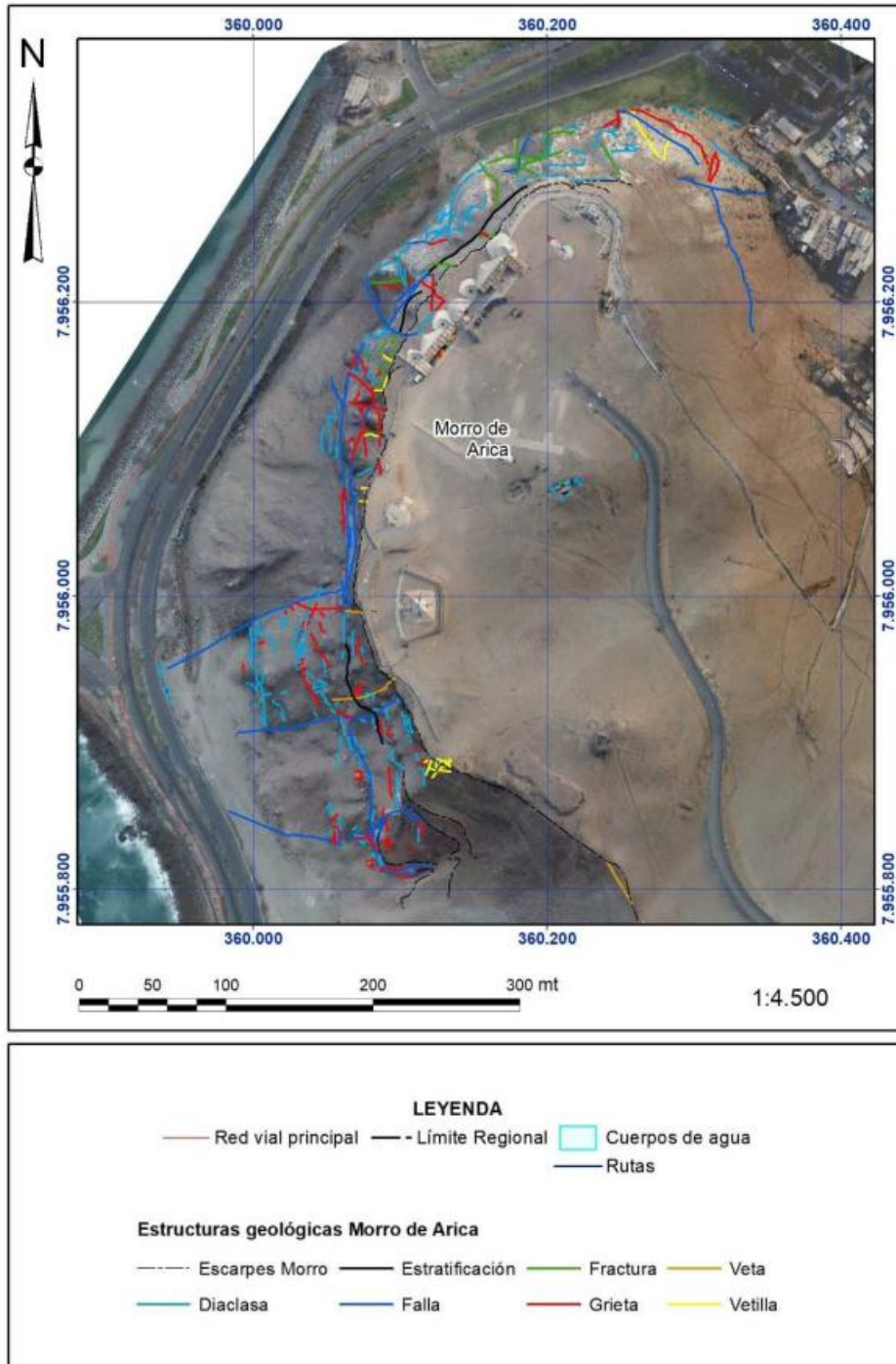


Figura 2-7 Modelo de estructuras geológicas del Morro de Arica.



Figura 2-8 Detalle de modelo de estructuras geológicas en las laderas de la zona patrimonial del Morro.

Los sistemas de estructuras dominantes son variables a partir de la ubicación y orientación de las laderas, reconociéndose sistemas NS/90°; N50°E/60°NE; N50°E/90°; N40°W/70°W; EW/70°S; EW/90° y la estratificación (N50°E/20°E). Se hizo un análisis de los sistemas principales para los distintos taludes mostrado más adelante en el capítulo de análisis.

Se destaca además la presencia de vetas y vetillas rellenas con minerales solubles (como sal) o de baja calidad geotécnica (como arcillas y óxidos de hierro). Figura 2-9, muestra cuatro fotografías: las (a), (b) y (d) muestran la unidad Roca cubierta con regolito atravesada por vetillas y la fotografía (c) muestra rocas sedimentarias y rocas volcánicas atravesadas por vetas y vetillas.



Figura 2-9 Imagen de vetas y vetillas rellenas con sales y óxidos de hierro.

Finalmente, se destaca la presencia de grietas en el Morro de Arica, algunas de origen natural y otras por efectos de tensión y tracción en el macizo rocoso producto del movimiento y reacomodo de la masa y esfuerzos. Cabe destacar que en geomecánica, la

aparición de una grieta es una clara señal de inestabilidad. Dentro de las grietas reconocidas e incorporadas al modelo de estructuras 1:1.000 existen grietas que limitan bloques abiertos y descendidos (Figura 2-10). Este bloque con evidencias de inestabilidad está además limitado por una falla sin base en la cara noroeste del Morro, en la parte posterior del Museo.



Figura 2-10 Bloque de rocas limitado por estructuras y grietas en la cara noreste del Morro en zona de Museo.

También se reconocen bloques agrietados cuyo ancho ha variado a lo largo del tiempo. Esto se visualiza en fotos comparativas y en el daño de estructuras instaladas para rellenar las grietas las cuales están caídas producto de la aparente apertura de las grietas (Figura 2-11). En el ANEXO A.1 se muestran las cartillas de mapeo de estructuras geológicas en terreno.



Figura 2-11 Grietas activas en laderas del Morro de Arica

2.5 Catastro de remociones en masa del Morro de Arica

Para el Morro de Arica, se hizo un catastro de remociones en masa con escala de mapeo y búsqueda a partir de fotointerpretación del DEM a escala 1:250 y datos mapeo de terreno a escala 1:1.000. En este catastro se incluyeron la mayor cantidad de remociones en masa reconocidas, independiente de su volumen y se dibujaron los polígonos de la mayoría de los casos independiente del área abarcada. El catastro incluye además información de registros históricos, información de prensa, estudios anteriores y antecedentes de personas con las que se conversó durante las campañas en terreno. El Morro se encuentra con muchas zonas fracturadas y presencia de bloques retenidos en las laderas así como depositados en la base, por lo que deben existir muchas remociones en masa de las cuales se ha perdido registro. Se incluyeron además remociones cuyo depósito ya no existe, pero se reconocen suficientes antecedentes de la zona de generación. El catastro se realizó conservando la nomenclatura y criterios definidos para el producto regional, pero con mayor detalle.

Según los resultados obtenidos, la mayoría de las remociones en masa son de tipo caídas (rocas, suelos y sedimentos) seguidos de deslizamientos. En el área específica del Morro de Arica, se reconocen deslizamientos (rotacionales y traslacionales), caídas (de bloques preformados por estructuras, además de rocas, suelos y sedimentos dispuestos en la ladera). Los factores condicionantes más relevantes en el análisis, se relacionan con la geometría de las laderas y tipo de materiales presentes. Por lo general, las laderas son fuertemente inclinadas, con geometrías irregulares y alturas superiores o cercanas a los 100 m. Los materiales, diferenciados genéricamente entre rocas y materiales semi consolidados condicionan el tipo de remoción presente. Respecto a los agentes detonantes, se identificaron eventos asociados a sismos, intervención antrópica y otros sin un detonante reconocido (ver más adelante en Figura 3-9 y Figura 3-10).

En función de los materiales y tipo de remociones identificadas se puede señalar que la mayoría de los procesos asociados a rocas (como caídas de rocas y deslizamientos traslacionales de rocas de tipo cuña y fallas planas) se concentran en la zona turística y rocosa del Morro de Arica, mientras que procesos asociados a materiales menos consolidados (como deslizamientos de gravas, arenas y detritos poco profundos y deslizamientos rotacionales) se concentran en las laderas arenosas y depósitos sedimentarios o rocas menos cohesivas como las laderas del condominio Ayllu. La Figura 2-12 muestra el catastro de remociones en masa del Morro de Arica.

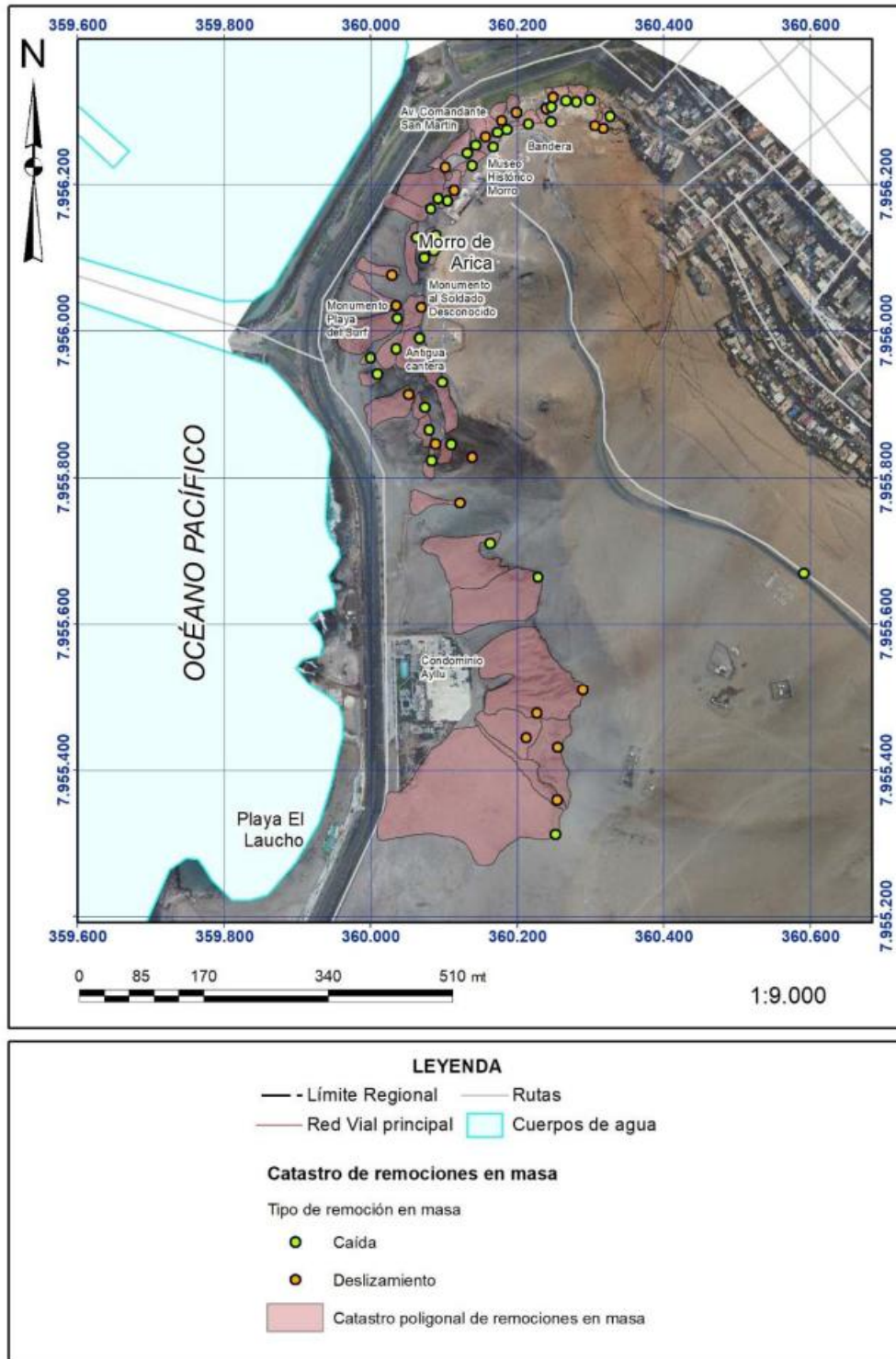


Figura 2-12 Catastro de remociones en masa área Mapa 5.

2.6 Otros antecedentes

El Morro de Arica y su presencia en la ciudad, posee implicancias históricas, turísticas, patrimoniales y culturales, además de ser una postal turística de la ciudad. También ha sido foco de diversos estudios geológicos y geotécnicos a lo largo de los años, tanto por su composición como por su uso como fuente de materiales de construcción para las obras de la ciudad. En las etapas anteriores del presente estudio (hitos 1 y 2) se presentó un resumen de los estudios anteriores, informes de asistencias técnicas geológicas (ATG) del Servicio Nacional de Geología y Minería y otros datos relacionados al Morro. En la Figura 2-13 se muestra un resumen de los estudios realizados en los últimos 70 años, demostrando que este ha sido foco de permanente atención, especialmente por el riesgo por remociones en masa que presenta.

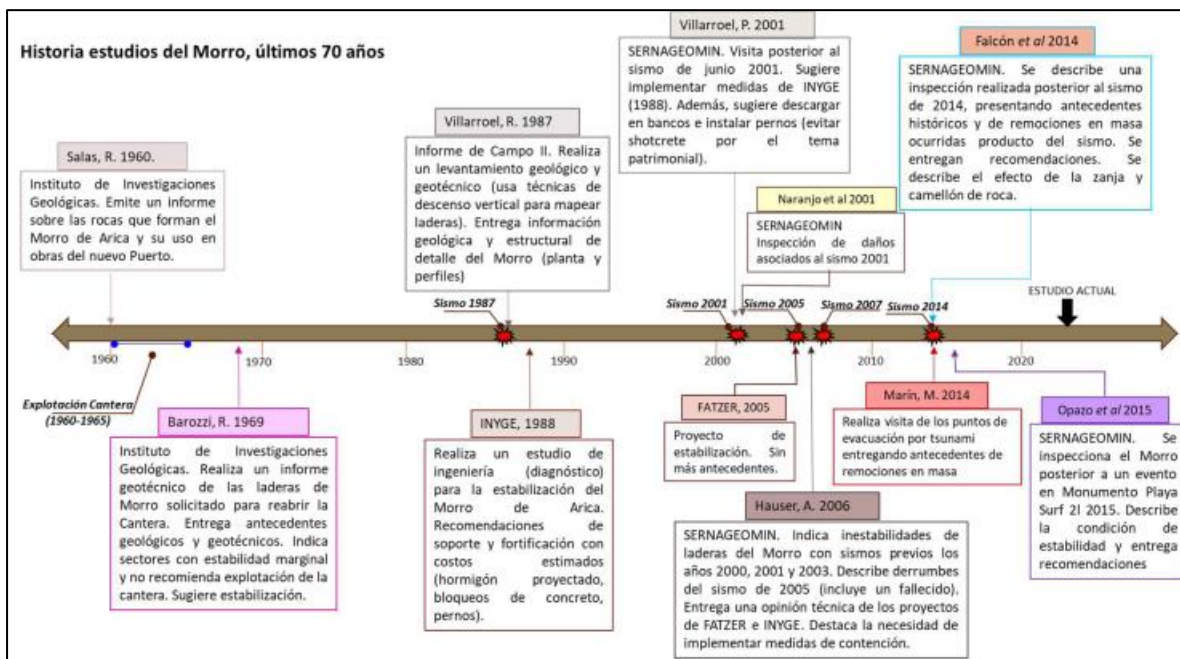


Figura 2-13 Línea de tiempo de estudios en el Morro de los últimos 70 años.

A modo de resumen, en muchos de los estudios citados se hace referencia a la necesidad de implementar medidas de seguridad y estabilidad, especialmente en aquellos sectores con evidencias de remociones en masa. No obstante, las pocas medidas implementadas a la fecha (como el relleno de algunas grietas en la parte superior; instalación de señalética;

construcción de zanja y camellón de roca) se encuentran abandonadas o no funcionan correctamente.

La categoría de Monumento Histórico que tiene el Morro de Arica, así como su atractivo turístico como postal de la ciudad, condicionan la intervención y estética de este macizo rocoso y finalmente las medidas factibles de implementar (por ejemplo, sería difícil pensar en el Morro fortificado con cemento, mallas, cables y acero, o intervenir su geometría). El diagnóstico realizado en terreno sobre el estado del arte de dichas recomendaciones, será clave para la definición de recomendaciones del presente estudio.

Dentro de los antecedentes específicos revisados, se contó con los antecedentes de la actualización del Plan Regulador Comunal (PRC) de Arica del año 2019, en el que figuran áreas de riesgos asociadas a deslizamientos (incluyendo las laderas del Morro). Además, se hizo un análisis más detallado de los antecedentes geológicos, geotécnicos y estructurales del Morro, entre los que se destacan los estudios de Villarroel (1987) y Barozzi (1969) por su aporte de antecedentes a la escala del estudio. La Figura 2-14 muestra parte del trabajo de georeferenciación, digitalización y análisis de antecedentes para la zonificación del Morro propuesta por Villarroel (1987) en una foto aérea del año 1965, en la que reconoce áreas intervenidas en las laderas (con unidades de rocas tronadas y escombreras gruesas por tronadura).

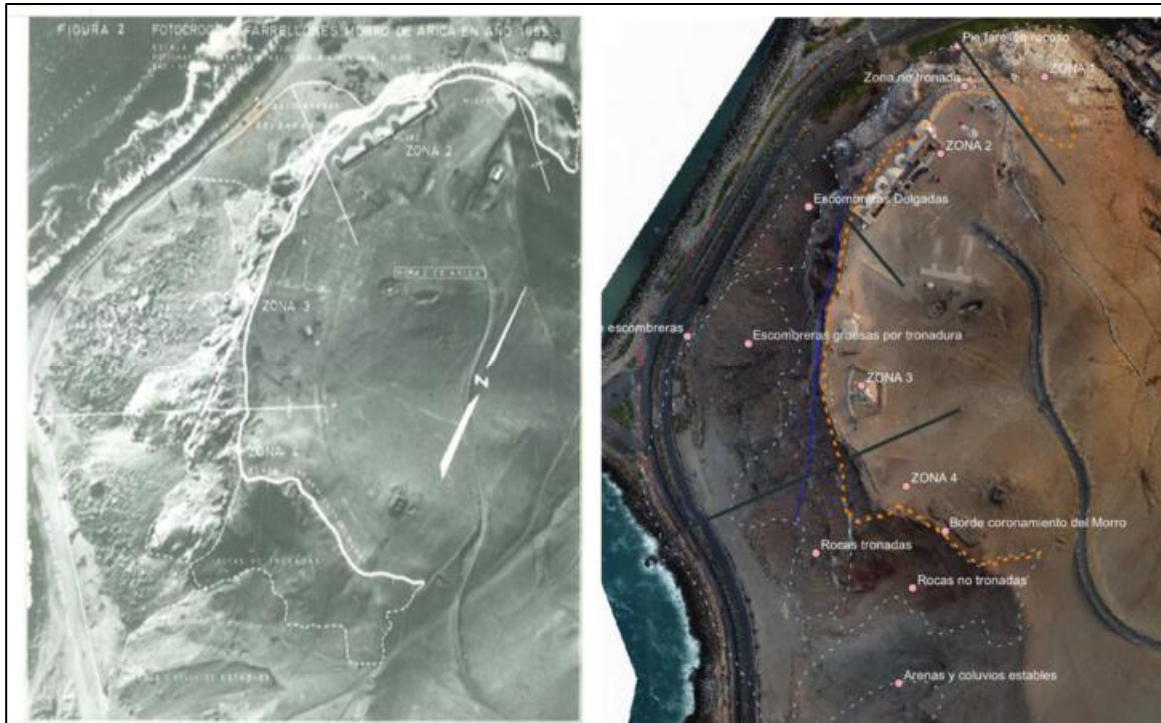


Figura 2-14 Fotografías comparativas de estudios del Morro de Arica (1987 y actual estudio).

Específicamente, en los años 60 se habrían utilizado explosivos para la extracción de rocas del Morro para obras portuarias (antigua cantera), además de la apertura hacia el sur de la costanera hacia La Lisera. Fuentes secundarias dan cuenta del uso de tronadura para la extracción de material desde la ladera oeste entre 1960 y 1965. También se habrían realizado tronaduras y movimiento de material para extraer guano desde rocas expuestas en la ladera posterior del actual condominio Ayllu. Testimonios de habitantes del sector en aquellos años (Sra. Lilian, trabajadora de la limpieza del Museo del Morro) señalan que la empresa encargada de la tronadura para la apertura de la ruta costera y conexión de la Isla Alacrán, intruía a la población del cerro La Cruz para evacuaciones durante las tronaduras, que en ocasiones rompían techos o electrodoméstico de los hogares, los que eran repuestos por la misma empresa. La Sra. Lilian recuerda que acontecía el Mundial de Fútbol del año 1962, y que las laderas del sector de las “guaneras” donde actualmente está en condominio Ayllu tenía una geometría más suave que permitía el descenso a pie. La explotación de guaneras en las laderas del Morro (rocas cubiertas con guano fósil de aves en forma manto o costra que fue muy explotado alrededor de 1850), habría ocasionado desprendimientos en el sector, dejando una geometría irregular. Esta misma información se recibió por parte de una persona (adulto mayor) que se acercó al equipo del estudio comentando la existencia de antiguas guaneras en las laderas del actual edificio Ayllu. En las visitas a terreno también se conversó con personas en situación de calle que habitan la zanja. Los antecedentes aportados indican que es habitual la caída de bloques de “menor tamaño” (la persona describió los bloques con el ancho de sus brazos). Esta misma situación fue corroborada por el personal encargado del riego y jardines en la base del Morro por el lado norte, donde hay actualmente pasto y una reja de acceso.

3 ANÁLISIS

3.1 Definición de secciones de análisis

Con base en los antecedentes presentados, se definieron 10 secciones de análisis que representan las distintas condiciones geológicas, geotécnicas y de remociones en masa. También se incluyeron secciones con registros de remociones en masa declaradas para poder calibrar el análisis, así como áreas con infraestructura.

La Figura 3-1 muestra una vista general de traza de las 10 secciones o perfiles de análisis. La figura izquierda muestra las secciones 2 a 10 (sector Morro) y sección 1 en el condominio Ayllu. La Tabla 3-1 muestra el nombre de cada sección o perfil, a partir de la nomenclatura de unidades de la etapa anterior.

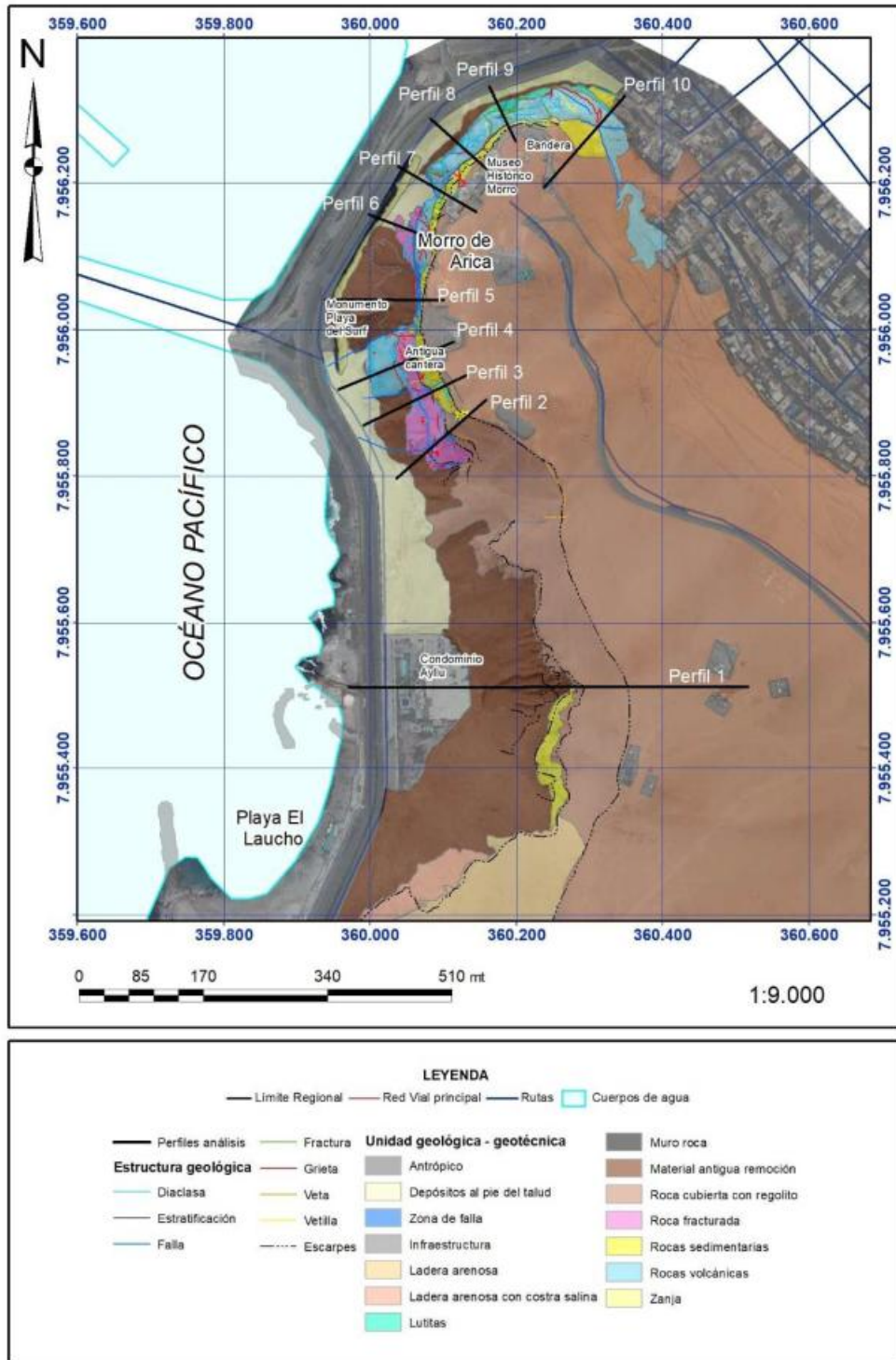


Figura 3-1 Vista general de las secciones o perfiles de análisis Morro de Arica.

Tabla 3-1 Nombre, justificación y características de las secciones o perfiles de análisis.

Sección	Nombre	Justificación y características
1	Perfil U14_ Ayllu	Sección definida para evaluar la zona crítica asociada al talud posterior del condominio Ayllu (unidad 15) con muy alta susceptibilidad a caídas, deslizamientos rotacionales y superficiales. Materiales no rocosos en su mayoría. Se elabora modelo geotécnico local que incluye planchones de gravas y roca meteorizada con guano (a partir de antecedentes de terreno e históricos).
2	Perfil U11_U12_ antigua cantera	Sección definida en la transición entre cubierta de regolito y roca fracturada por antigua cantera (entre unidades 12 y 11). También existen cuevas en el talud. Es una zona de acceso libre y sin protección, en la que además habitan personas en situación de calle y se usa como basural. Presenta fallas y grietas abiertas que limitan un bloque descendido sin soporte basal , definiendo una zona crítica. Presenta muy alta susceptibilidad para caídas, deslizamientos traslacionales y superficiales. Importante control de estructuras geológicas.
3	Perfil_U11_roca fracturada	Zona con muro y señalética deficiente en la parte superior . Alto tránsito - área de paseos y Monumentos. Ladera presenta antecedentes de ser una zona de antigua cantera , con presencia de roca fracturada. Además, el material de remoción en masa en la parte inferior tiene evidencias de reactivación . Zona inferior sin protección, con acceso permanente de personas en tránsito y/o pernoctando . La zanja y enrocado de roca no llegan a este sector.
4	Perfil_U11_pillow y grietas	Sección definida principalmente por la zona superior, con grietas abiertas y activas . La parte inferior son rocas macizas, pero con libre acceso hacia el talud. Evidencias de animitas con acceso de personas.
5	Perfil_U9_remoción en masa y zanja	Sección definida por reactivación de remociones en masa en el 2014 (Playa Surf) sumado a la presencia de personas habitando en la zanja. Zona superior agrietada y con señalética deficiente (plano y zona de falla, con presencia de grietas). Extensión importante en la zona de costanera (300m).
6	Perfil_U9_zona grietas y paseo	Sección definida principalmente por la zona superior, con grietas abiertas y activas . Zona con acceso parcialmente restringido. La parte inferior son rocas fracturadas, con presencia de zanja y muro, pero con libre acceso hacia el talud . Presencia de personas habitando y con acceso permanente.
7	Perfil_U8_bloque museo	Sección definida por la presencia de un bloque limitado por estructuras en la parte posterior del Museo volumen 10000m ³ estimadas in situ. Falla importante, relleno sal. Bloque abierto (grietas recientes) y limita con infraestructura . Si desliza, sería un movimiento a gran escala, con la posibilidad que queden taludes con geometrías inestables.
8	Perfil U8_zona cuñas costanera	Sección definida por la presencia de geometrías de cuñas con algunos bloques limitados por estructuras . Presencia de algunas grietas. Perfil de Morro irregular . Existe pasto y reja perimetral. Zona postal turística del Morro .
9	Perfil_U7_postal Morro	Sección definida por la representar una de las caras turísticas del Morro, con fuerte pendiente y bloques con estructuras. Parte inferior pasto y reja.
10	Perfil_U5_MorroNE_casas	Sección definida por la representar una de las caras turísticas del Morro, con zona de casas . Bloques de menor tamaño. Se define por el potencial de caídas en casas.

En términos geométricos, la altura de las secciones o perfiles supera los 100 m en todos los casos, y las pendientes varían de 28° a 30° las mínimas (asociadas a depósitos no consolidados o de depósito de remoción en masa) a pendientes cercanas a los 90° (algunas laderas rocosas controladas por estructuras geológicas continuas sub verticales). La Figura 3-2 muestra que la geometría de las laderas en los perfiles de análisis es muy variable. La figura muestra un ejemplo de las características geométricas para las secciones 1, 2, 4 y 7.

En el ANEXO A.2. se muestra el detalle de cada una de las secciones, incluyendo la justificación de su definición, características geométricas, el modelo geológico – geotécnico que la compone y fotografías representativas.

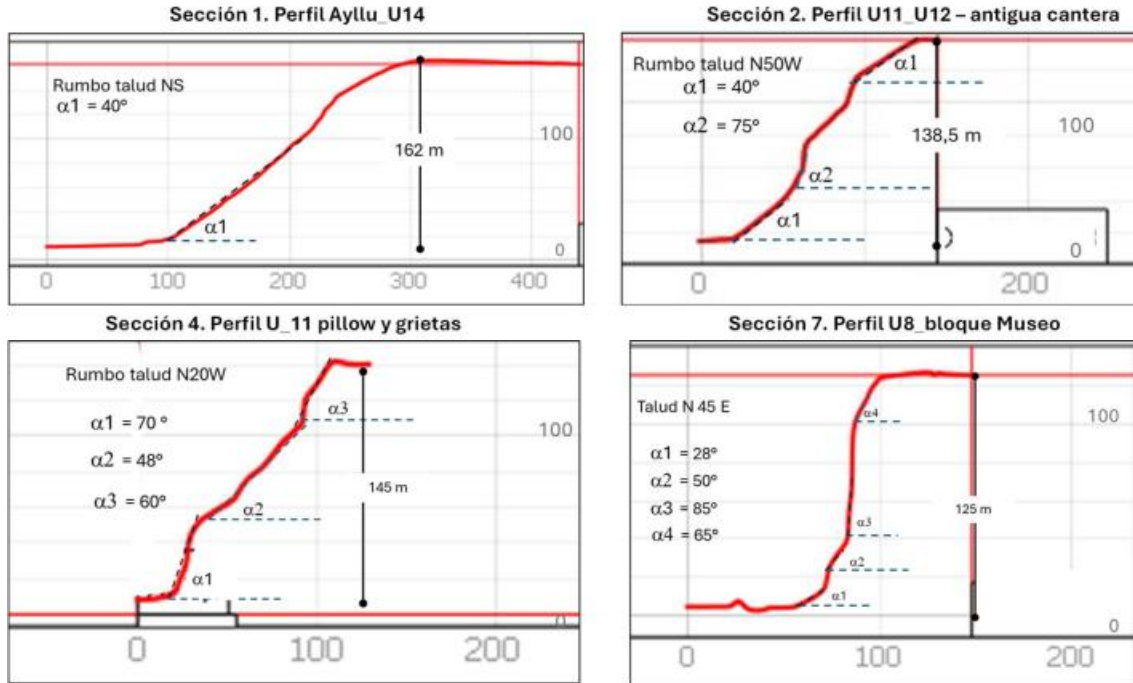


Figura 3-2 Ejemplo de características geométricas y ángulos de talud de secciones de análisis.

Las Figura 3-3 a Figura 3-7 muestran ejemplos de modelos geológicos – geotécnicos para algunas secciones analizadas, dando cuenta de la variación de cada una.

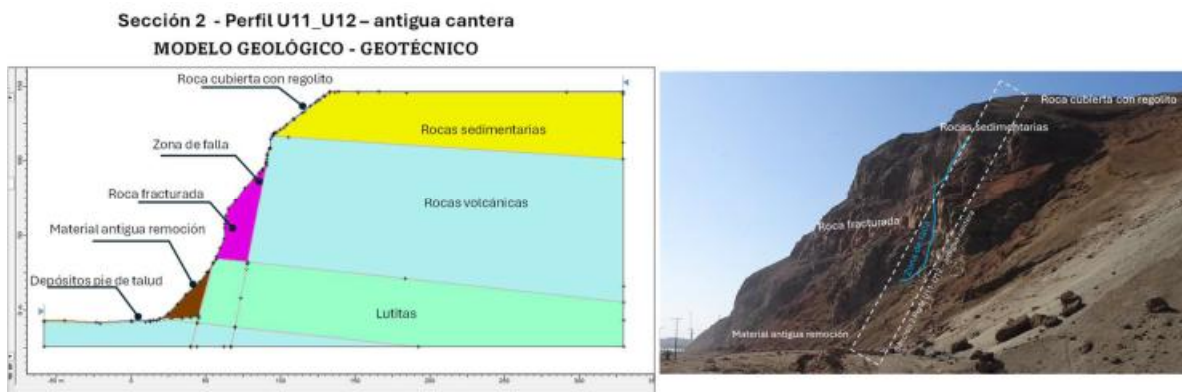


Figura 3-3 Modelo geológico – geotécnico sección 2 de análisis (antigua cantera).

Sección 4 - Perfil U_11 pillow y grietas

MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO

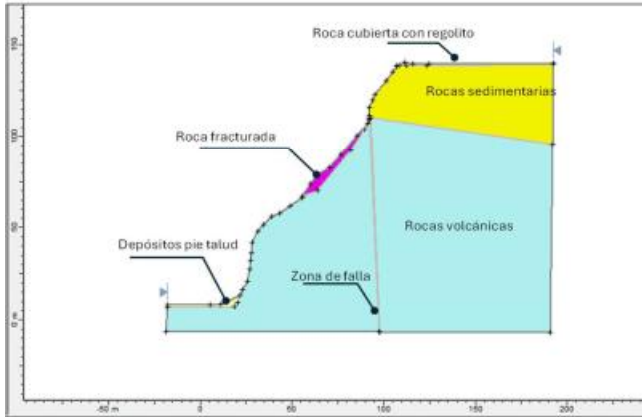


Figura 3-4 Modelo geológico – geotécnico sección 4 de análisis (zona de lavas en almohadillas y grietas).

Sección 5 - Perfil U9_ remoción en masa y zanja

MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO



Figura 3-5 Modelo geológico – geotécnico sección 5 de análisis (zona de remoción en masa y zanja).

Sección 6 - Perfil U9 zonas grietas y paseo

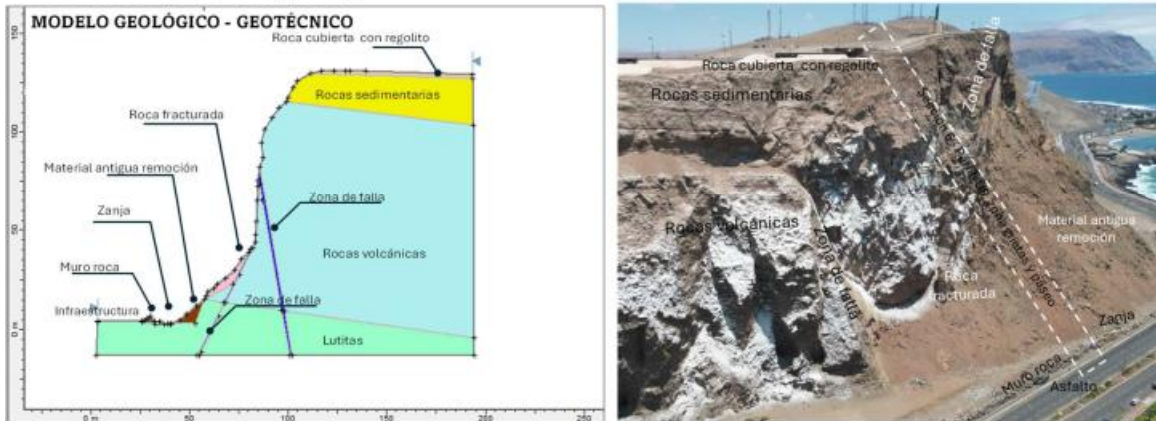


Figura 3-6 Modelo geológico – geotécnico sección 6 de análisis (paseo peatonal superior y costanera en zona agrietada).

Sección 9 - Perfil U7 postal turística Morro

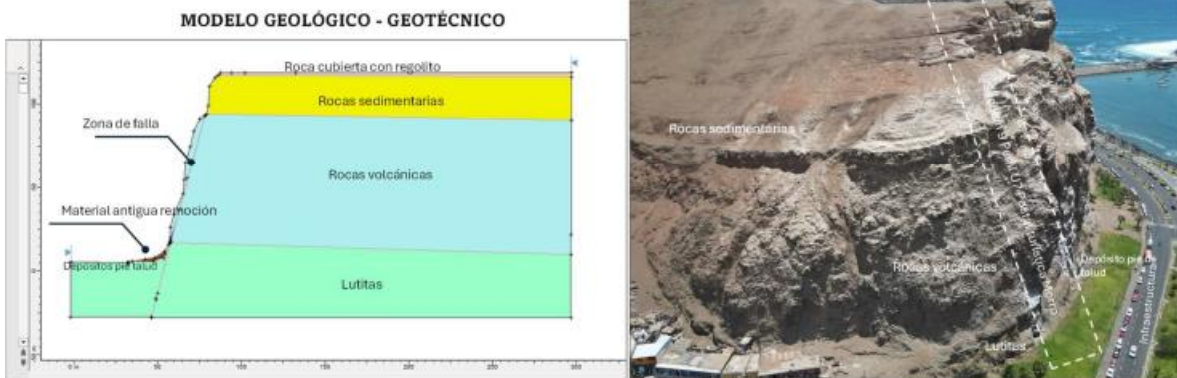


Figura 3-7 Modelo geológico – geotécnico sección 9 (postal turística del Morro).

3.2 Criterios y herramientas de análisis

Para llevar a cabo el análisis e identificación de áreas críticas del Morro de Arica a escala 1:1.000 se definieron los criterios y herramientas de análisis a partir de los insumos obtenidos y resultados esperados, considerando que la escala 1:1.000 implica que 1 centímetro en el mapa equivale a 10 metros en distancia real.

De acuerdo con los tipos de remociones en masa presentes en el área de estudio, se identificaron criterios de falla de los materiales, diferenciando mecanismos con control de estructuras geológicas (como cuñas, fallas planas y deslizamientos traslacionales de bloques

de roca) y mecanismos asociados a macizos rocosos menos competentes, cuya tendencia será a fallar de forma rotacional como lo muestra esquemáticamente la Figura 3-8.

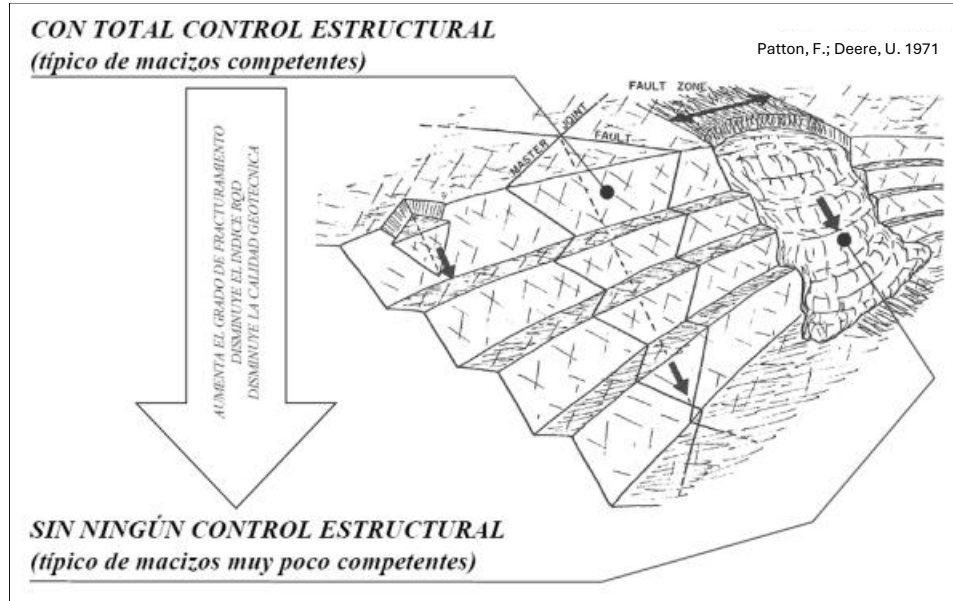


Figura 3-8 Mecanismos de falla en taludes con y sin control de estructuras geológicas.

Para definir y analizar las áreas críticas del Morro de Arica a escala 1:1.000, se probaron herramientas de análisis en 2 y 3 dimensiones, considerando versiones de prueba disponibles en distintas plataformas (como por ejemplo Programgeo.it <https://www.programgeo.it/geotechnical-softwareu/it/>; o el software minero Tangram de Timing <https://www.timing.com/es/software/tangram/>). El costo de las licencias de uso de estas herramientas de análisis supera los límites del estudio. En general en taludes y laderas asociadas a minería (cuyo negocio minero se asocia a su estabilidad) existen herramientas y softwares de alta tecnología que facilitan los análisis, pero cuyos precios son inalcanzables para estudios asociados a riesgos, taludes viales, laderas urbanas u ordenamiento territorial.

Finalmente se evaluó la estabilidad de los perfiles o secciones de análisis a partir de los mecanismos presentes en cada sección, considerando:

- Análisis estereográfico y geométrico estructural (para mecanismos con control de estructuras geológicas)
- Análisis para deslizamientos (rotacionales o traslacionales según el caso)
- Análisis para caídas de rocas

Para el análisis, se utilizaron los softwares *Dips*, *Slide* y *Rocfall* desarrollado por la firma *Rocscience* (www.rocscience.com), cuyas licencias fueron facilitadas por la empresa E- Mining Technology S.A. para fines exclusivos del presente estudio.

Los criterios aplicados en los distintos casos buscan determinar la estabilidad de los perfiles bajo distintos escenarios (estático y sísmico), considerando como validación información sobre eventos desencadenados recientemente y datos de terreno.

Como eventos validadores se consideraron los casos mostrados en las Figura 3-9 y la Figura 3-10. El primero hace referencia a caídas y deslizamientos de rocas en julio del 2021, sin un desencadenante específico, recordando la estabilidad límite del Morro en algunos sectores. El segundo caso hace referencia a las caídas y deslizamientos producto del sismo *Mw 8,2* del 1 de abril del 2014.

Fecha: 31 de julio del 2021
Lugar: Morro de Arica
Fenómeno: Caídas y deslizamientos de rocas
Áreas afectadas: costanera (sólo daños materiales)

Fuente: Archivos TVN en canal de YouTube de SERNAGEOMIN
<https://www.youtube.com/@sernageomin-cl/videos>



Figura 3-9 Caídas y deslizamientos de rocas en el Morro de Arica el 31 de julio de 2021.

Fecha: 1 de abril de 2014
Lugar: Morro de Arica
Fenómeno: Caídas y deslizamientos de rocas
Áreas afectadas: costanera (sólo daños materiales)
Desencadenante: Sismo Mw 8,2

<https://www.cooperativa.cl/noticias/pais/sismos/desprendimiento-de-rocas-en-el-morro-de-arica/2014-04-02/140921.html>



Figura 3-10 Caídas y deslizamientos de rocas en el Morro de Arica el 1 de abril de 2014.

Otras consideraciones para la realización de los análisis, es la información histórica sobre evidencias de inestabilidad que pueden haber sido borradas con el paso del tiempo, como la grieta en la parte posterior del “Monumento al Soldado Anónimo” abierta con el sismo del 2014 y que actualmente se encuentra cubierta (Figura 3-11).



Figura 3-11 Grietas en el Morro de Arica borradas y cubiertas.

3.3 Consideraciones, propiedades y escenarios de modelamiento

Para el estudio se realizó un análisis de estabilidad para las 10 secciones definidas considerando los mecanismos presentes en cada sección, realizando los siguientes análisis:

3.3.1 Análisis geométrico estructural con proyección estereográfica

Una de las herramientas que existen para evaluar la estabilidad de bloques de rocas limitados por estructuras geológicas (como fallas planas y cuñas) son las proyecciones estereográficas para el análisis cinemático de laderas, en los cuales se proyectan los sistemas de estructuras principales o dominantes, se proyectan las laderas y parámetros del ángulo de fricción de la superficie de las estructuras. Según la literatura, las condiciones de falla se definen a partir de las condiciones descritas en Figura 3-12 y en Figura 3-13 definidos por Hoek y Bray en 1981 y mostrados en Lara (2007).

Deslizamiento plano

- La dirección de manto (Dip Dir) de la discontinuidad planar (β) debe estar dentro de un rango de 20° con respecto al Dip Dir de la cara principal del talud o ladera (α). Esta misma condición debe cumplirse en caso de trabajar con rumbo y manto.
- El manto de la discontinuidad (ψ_p) debe ser menor que el manto de la ladera (ψ_f), y con esto la estructura debe aflorar en la ladera.
- El manto de la discontinuidad (ψ_p) debe superar el valor del ángulo de fricción de la superficie (ϕ_p).

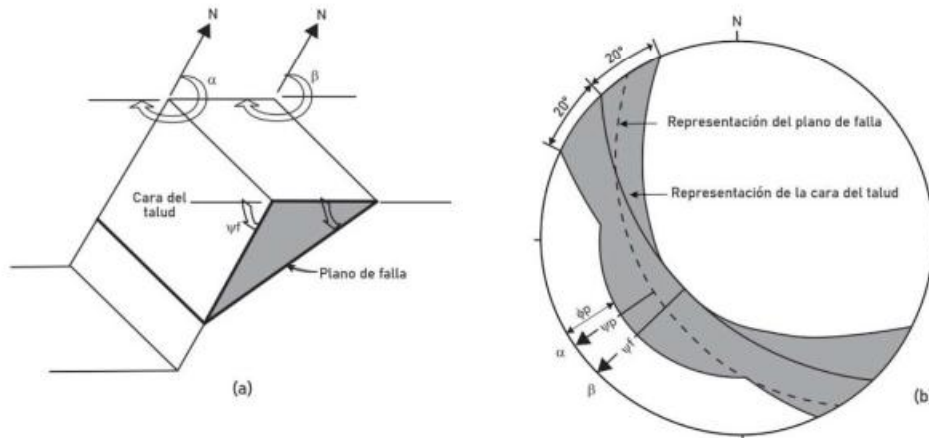


Figura 3-12 Condiciones cinemáticas y proyección estereográfica para deslizamiento plano

Deslizamiento en cuña

- El azimut de la línea de intersección (χ) debe aproximarse a la dirección de manto de la ladera (δ).
- La línea de intersección debe aflorar en la ladera. Para esto el buzamiento de la línea de intersección (ψ_i) debe ser menor que el manto de la ladera (ψ_p).
- El buzamiento de la línea de intersección (ψ_i) debe ser mayor que el ángulo de fricción de la superficie (ϕ). En caso que el ángulo de fricción de ambas superficies que generan la cuña sean muy distintos, puede considerarse un ángulo de fricción promedio de ambas.
- Si los ángulos de manto de los planos de las estructuras son menores a los ángulos de dirección de manto (Dip Dir) de la ladera y el azimut de la línea de intersección, entonces el deslizamiento ocurrirá en el plano de las estructuras de mayor manto; en caso contrario el deslizamiento ocurrirá a lo largo de la línea de intersección.

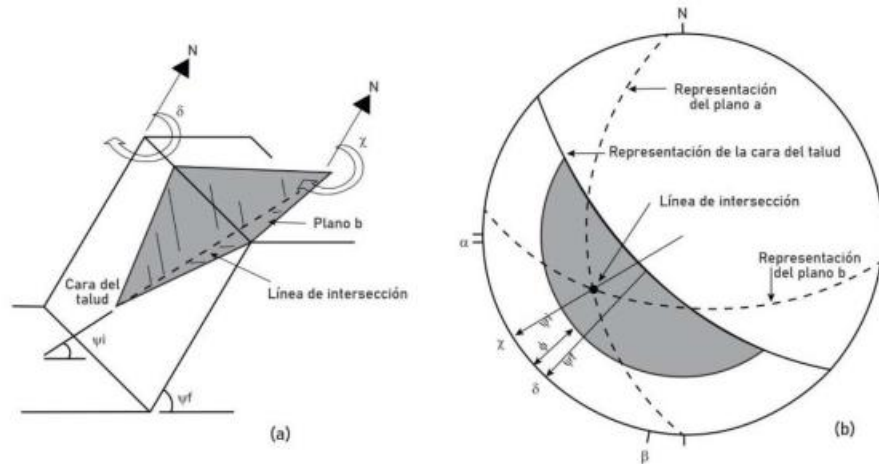


Figura 3-13 Condiciones cinemáticas y proyección estereográfica para deslizamientos tipo cuña.

Una de las grandes falencias del análisis cinemático utilizando proyecciones estereográficas, es que las estructuras no están georreferenciadas o ubicadas espacialmente con respecto al talud, por lo tanto, no existirán nociones de las dimensiones o volumen del bloque analizado independiente del resultado obtenido. En la Figura 3-14, se asumen iguales condiciones de talud, iguales condiciones en el rumbo y manto e iguales propiedades de las estructuras. Al utilizar herramientas estereográficas para el análisis cinemático en este caso, no orientará sobre el volumen inestable con iguales Factores de Seguridad (FS).

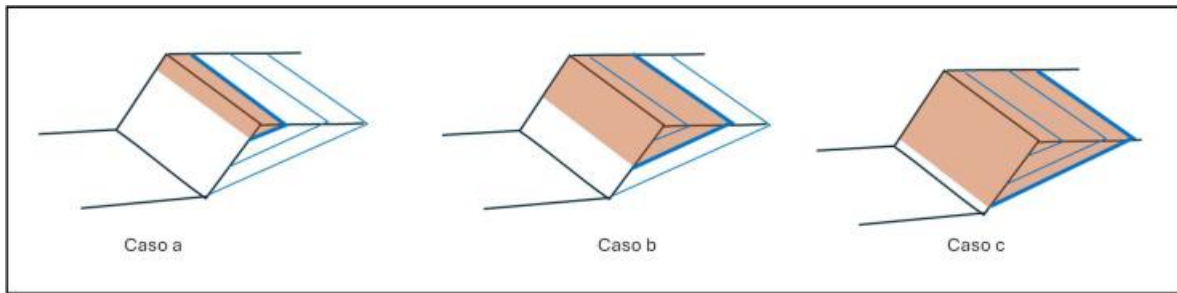


Figura 3-14 Comparación fallamiento plano con iguales condiciones según proyección estereográfica.

Para subsanar lo anterior, se realiza un análisis geométrico estructural de una ladera, y que consiste en visualizar las estructuras geológicas interceptadas con la ladera haciendo uso de vistas en plantas, perfiles y analizando en detalle el modelo de estructuras geológicas. En el diseño y estudio de estabilidad de taludes mineros, este análisis resulta fundamental, pues dimensiona en términos de volumen y FS las zonas inestables. Existen *softwares* que lo generan de manera automática a partir del DEM y el modelo de estructuras geológicas en superficie (como el *software Tangram* de *Timing*) pero su costo supera los alcances del estudio.

En el caso del Morro, se hizo un análisis geométrico estructural que incluyó la visualización de las geometrías tipo cuñas, fallas planas y bloques de roca limitados por estructuras que están en una **condición geométrica** favorable a caer o deslizar. Este se hizo a partir de datos de terreno, proyección del modelo de estructuras en superficie y construcción de secciones de análisis. La Figura 3-15 muestra a modo de ejemplo cómo se visualizan geometrías en condiciones geométricas favorables para cuñas (el caso a, en la antigua cantera) y en la ladera que limita al oeste el Museo (caso b).

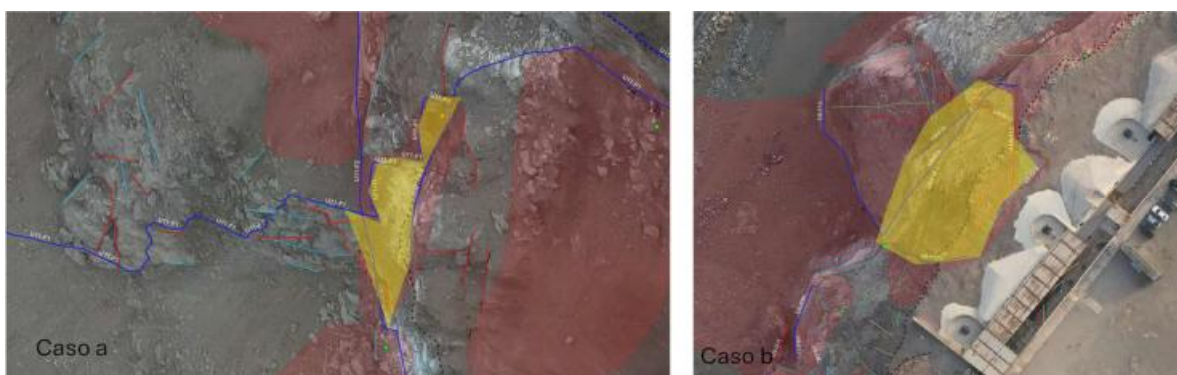


Figura 3-15 Ejemplos de visualización para análisis geométrico estructural.

Para toda el área 1:1.000 se utilizó el modelo de estructuras geológicas considerando las trazas en superficie, lo que permite identificar en la ladera bloques abiertos. Esta información se complementa con lo observado en terreno (Figura 3-16) e identificado en el levantamiento aerofotogramétrico.

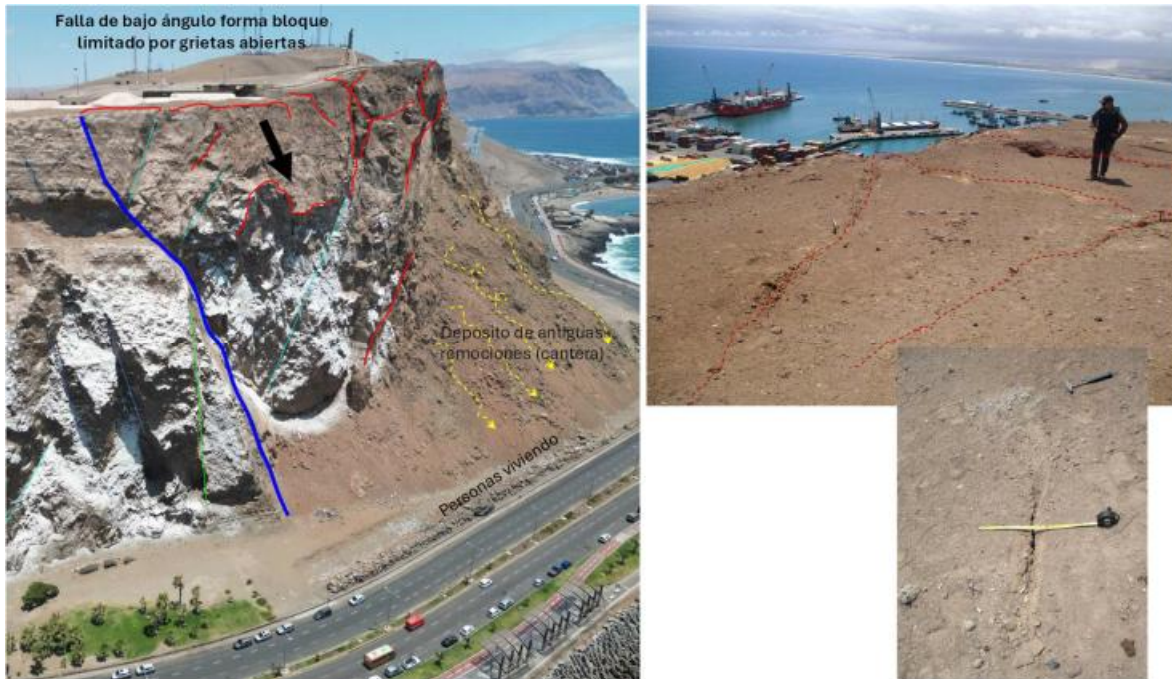


Figura 3-16 Evidencias de presencia de bloque agrietado entre ladera noroeste del Morro y Museo.

Este análisis se complementó o apoyó con la proyección estereográfica de las estructuras, pero no se hizo un análisis cinemático utilizando herramientas estereográficas. Esta proyección permitirá ver cuáles sistemas están en condición de falla plana o cuña cuando se combinan entre sí, indicando la posibilidad de existencia. Ocorre en algunos casos, como la sección de análisis 8, llamada cuñas en la costanera, si bien los sistemas están en condición de cuña, la mayoría ya se ha caído y hoy se muestran las cicatrices. Los casos identificados fueron analizados más adelante con el método de las tajadas para el cálculo de FS.

Para proyectar estereográficamente los sistemas, en una primera etapa se prepararon las bases de datos de estructuras geológicas para su proyección, generando la conversión de los datos de rumbo/manteo a dip/dipdir (manteo/dirección de manteo) y de esta forma trabajar con la proyección de los polos de las estructuras (utilizando el *software Dips* desarrollado por Rocscience).

Se seleccionaron y proyectaron estereográficamente los sistemas de estructuras dominantes para cada sección o perfil de análisis considerando un halo de 20 metros a ambos lados del perfil. Esto fue posible gracias a que los sistemas se encuentran

georreferenciados. También se proyectaron los taludes (con sus distintos ángulos) en cada caso obtenidos de la caracterización geométrica de cada sección mostrada anteriormente en la Figura 3-2. En cada caso se analizó el cumplimiento de las condiciones para falla planas y cuñas en las distintas laderas, considerando para el caso de los siguientes criterios de estabilidad (Figura 3-17):

- Ángulo de talud > Ángulo del plano de falla
- Vector intersección $\pm 30^\circ$ (criterios usados en minería)
- Rumbo talud \approx Rumbo plano $\pm 30^\circ$ (criterios usados en minería)

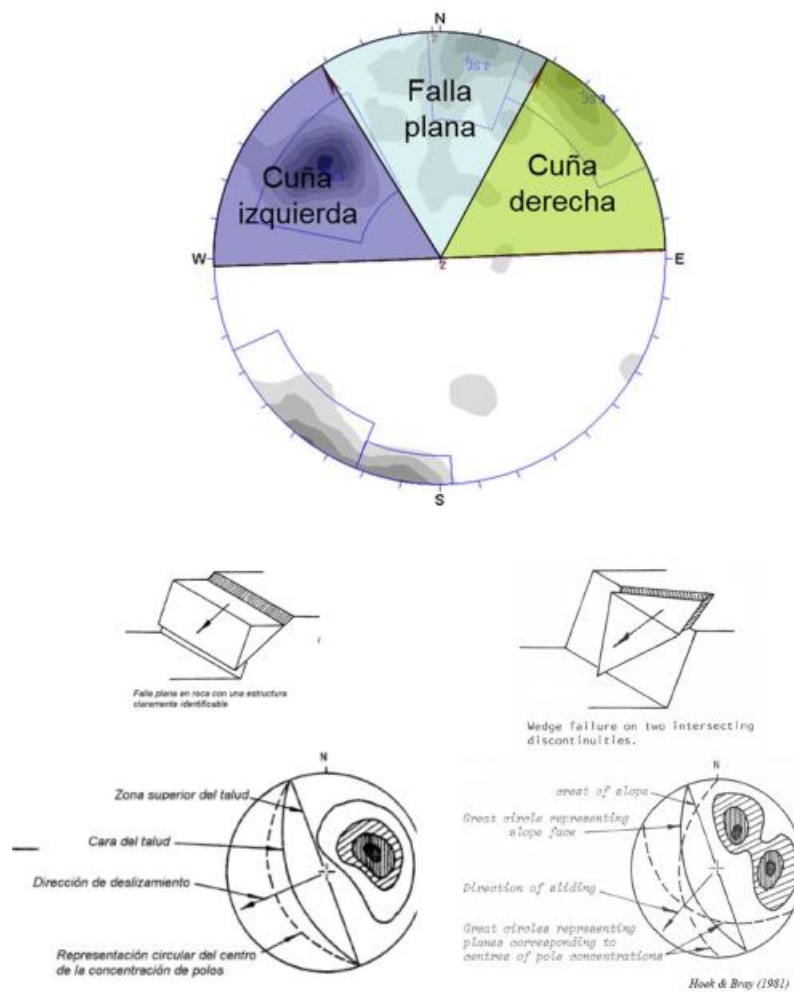


Figura 3-17 Criterios estereográficos para fallas planas y cuñas.

Si bien, en la definición original de los criterios estereográficos para el análisis de fallas planas y cuñas fueron de $\pm 20^\circ$ para el caso del vector intersección en cuñas y de $\pm 20^\circ$ para

el caso del rumbo del talud y la falla para deslizamiento plano, en el diseño y análisis de taludes mineros, los criterios empíricos basados proyectos de diseño y análisis de estabilidad realizados en experiencias anteriores en otras consultoras, y que dan cuenta de cuñas y fallas planas generadas por sistemas de estructuras con el rango de $\pm 30^\circ$ en cada caso. Esto se considera un criterio más conservador, puesto que amplía la identificación y combinatoria de sistemas que pueden generar bloques preformados en el talud.

Para cada sección de análisis se realizó una selección de las estructuras geológicas presentes con un halo de 20 metros a cada lado del perfil. Esta selección fue proyectada estereográficamente utilizando el *software Dips*, para ver los sistemas principales en cada sección y su disposición geométrica con respecto al talud. En el Anexo A.3 al final del informe, se presenta esta proyección estereográfica, que sólo aporta una visualización geométrica de los sistemas combinados entre sí con respecto a los taludes. Como la cantidad de estructuras graficadas depende de cada perfil, las proyecciones y cantidad de polos de entrada son distintos en cada caso. En la proyección estereográfica, sólo en algunos perfiles se graficó el ángulo de fricción de las estructuras, por tratarse de estructuras importantes para el Morro de Arica y de las cuales se tienen algunas características de terreno. El caso del Perfil 9 de análisis, el cual representa el bloque agrietado ubicado inmediatamente el oeste del museo, este se graficó a partir de los datos de las estructuras mayores.

Los bloques identificados en condición geométrica favorable fueron analizados como casos particulares mediante el método de las tajadas estimando Factores de Seguridad.

3.3.2 Análisis para deslizamientos (rotacionales y traslacionales)

En este análisis, la evaluación de la estabilidad de los distintos perfiles considerando la estimación de un FS (Factor de Seguridad) evaluado según se muestra en Figura 3-18, es decir, evaluando las fuerzas que favorecen la desestabilización del material versus las fuerzas que se oponen al movimiento o retienen la masa.

Para cada sección de análisis se evaluaron condiciones de estabilidad mediante el método de las tajadas (*slides*) el cual calcula FS mínimos para distintas condiciones utilizando *software Slide* desarrollado por Rocscience. En el caso de deslizamientos **rotacionales**, se definió una superficie de falla curva y se generaron grillas de búsqueda de superficies con FS mínimo automáticamente para cada perfil. En el caso de **deslizamientos traslacionales**, también se evaluó la estabilidad utilizando el método de las tajadas, pero considerando una superficie de falla no curva generada para el bloque que se está analizando (identificado a partir del análisis geométrico – estructural).

$$FS = \frac{\sum \text{Fuerzas que se oponen al deslizamiento}}{\sum \text{Fuerzas que inducen o a favor del deslizamiento}}$$

$$FS = \frac{\text{Resistencia al cizalle o corte de la superficie de rotura}}{\text{Tensión inmovilizante de la superficie de rotura}}$$

FS < 1 INESTABILIDAD

FS > 1 ESTABILIDAD

FS = 1 EQUILIBRIO LÍMITE

Figura 3-18 Factores de seguridad para evaluar estabilidad.

Existen antecedentes concretos de remociones en masa en el Morro de Arica desencadenadas por sismos, por lo que, para cada sección de análisis, los escenarios evaluados consideraron una condición estática, una condición sísmica y una condición sísmica agregando grietas de tensión. Para incluir la componente sísmica en los análisis, se hizo una revisión de antecedentes relacionados con el comportamiento de los suelos de la ciudad de Arica, así como amplificación sísmica registrada ante sismos. Se usaron antecedentes relacionados con la vulnerabilidad sísmica estudiada en ciudades del norte de Chile (Tapia, et al., 2002) y de microzonificación sísmica de la ciudad (Becerra, 2014). Además, en las corridas de validación y calibración realizadas en cada modelo, se utilizaron datos de validación de remociones en masa conocidas desencadenadas por sismos, como las del 2014. A partir de los antecedentes se consideró un factor de amplificación de 1 a 1,2 para el Morro, incorporando un valor de 0,3g de aceleración horizontal en los análisis sísmicos. El análisis consideró, además, la presencia de grietas representadas en el modelo estructural. Para el análisis de los deslizamientos (**rotacionales y traslacionales**) se utilizaron las propiedades presentadas en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2 Valores de propiedades geotécnicas del análisis de deslizamientos.

Tipo de material	Características	Propiedades
Roca cubierta con regolito	Unidad compuesta por sedimentos y detritos semi compactados que se encuentran en la cima del Morro cubriendo las rocas. Los fragmentos son angulosos y su composición varía entre rocas sedimentarias y volcánicas, con tamaños de bloques menores a 20 cm. Espesor 2 m con geometría paralela a la topografía.	Dureza baja a media (compresión simple: 27,7 a 55 MPa) Cohesión C (kN/m ²) < 100. Se usa 90 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Peso Unitario de 18 kN/m ³ .
Roca fracturada	Unidad particular de litología no determinada (posiblemente volcánica) pero que se diferencia del resto por el grado de fracturas y agrietamiento que presenta. Se caracteriza por su mala calidad geotécnica (GSI 30 según datos de terreno)	Cohesión C (kN/m ²) entre 100 y 200. Se usa 150 kN/m ² Ángulo de fricción e15° - 25°. Se usa Phi (°) 25°. Peso Unitario de 18 kN/m ³ Geological Strength Index (GSI) 30 según datos de terreno (mala calidad geotécnica)
Rocas sedimentarias	Secuencia que agrupa a las rocas sedimentarias (indiferenciadas) en la parte superior del Morro, alcanzando 40m de potencia. Incluye areniscas, limolitas, lutitas de colores claros, con dureza media y poca presencia de estructuras geológicas, dispuestas con maneto sub horizontal bajo la roca cubierta con regolito.	Dureza media (compresión simple 55 MPa) Cohesión C (kN/m ²) 200-300. Se usa 300 kN/m ² Ángulo de fricción Phi (°) 25°-35°. Se usa 32°. Peso Unitario de 20 kN/m ³ . Geological Strength Index (GSI) 20-40 según datos de terreno (mala a regular calidad geotécnica)
Rocas volcánicas	Unidad que agrupan todas las rocas volcánicas en la parte central y superior del Morro. Incluye pillow lavas, andesitas, brechas volcánicas. La secuencia alcanza potencias de 80m. Las rocas tienen alta dureza. Presentan diaclasas y fallas que atraviesan la secuencia, que incluyen largos métricos. Están abiertas o con rellenos de sales solubles.	Dureza alta a muy alta. Resistencia a la compresión simple: 100 MPa. Cohesión C (kN/m ²) entre 300 y 400. Se usa 350 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 35° - 45°. Se usa 40°. Peso Unitario de 20 kN/m ³ Geological Strength Index (GSI) 50-65 según datos de terreno (regular a buena calidad geotécnica)
Material antigua remoción	Unidad que agrupa depósitos de remoción en masa antiguos indiferenciados, incluyendo los grandes volúmenes en ladera posterior a Ayllu y depósito en la ladera del Morro en la actual zona de zanja. Compuesto por gravas (bloques centímetros a métricos) con granulometría y composición variable.	Cohesión C (kN/m ²) entre 90 y 200. Se usa 90 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 30° - 32°. Se usa 30°. Peso Unitario de 18 kN/m ³
Zanja	Incluye zona de zanja artificial generada para contención de rocas. Actualmente se usa como basural y habitación personas en situación de calle.	Cohesión C (kN/m ²) entre 90 y 200. Se usa 100 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 20°. Peso Unitario de 18 kN/m ³
Muro de roca	Enrocado artificial compuesto de bloques de rocas métricos trenzados con cables de acero y anclajes fijos a las rocas. Alcanza una altura de hasta 5 metros y se construyó para retener rocas a continuación de la zanja y al borde de la calzada.	Cohesión C (kN/m ²) entre 200 y 300. Se usa 300 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 35° - 38°. Se usa 35°. Peso Unitario de 20 kN/m ³
Infraestructura	Cubierta de asfalto asociada a estacionamientos de condominio Ayllu, espesor 50 cm	Cohesión C (kN/m ²) 250 kN/m ² Ángulo de fricción Phi (°) 40°. Peso Unitario de 20 kN/m ³
Zona de falla	Zona o área que incluye una zona asociada a una o varias trazas de fallas con espesor importante para la escala del mapeo (1:1.000) determinadas a partir del modelo estructural del estudio.	Cohesión C (kN/m ²) < 100 kN/m ² . Valor usado 90 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) ≤15° (se usa 15°) Peso Unitario de 15 kN/m ³
Depósitos al pie de talud	Unidad que agrupa a depósitos al pie del Morro cuyo origen no es determinado, incluye sedimentos removidos y arrastrados por viento.	Cohesión C (kN/m ²) < 100 kN/m ² Ángulo de fricción Phi (°) 20°. Peso Unitario de 20 kN/m ³
Lutitas	Rocas sedimentarias de grano fino estratificadas en la base de la secuencia. Manteo sub horizontal y presenta un espesor máximo de 20 m. Presencia de diaclasas cerradas o rellenas con sales solubles y cortas (1-3m) y espacimientos < 50 cm que ocasionan que se rompan en bloques pequeños a través de estructuras. La resistencia al cizalle y calidad que presenta esta unidad es baja.	Dureza media a baja. 27,7 a 55 MPa. Cohesión C (kN/m ²) entre 100 y 200. Se usa mínimo del rango. Ángulo de fricción Phi (°) 15° - 25°. Se usa 18°. Peso Unitario de 18 kN/m ³ Geological Strength Index (GSI) 30 según datos de terreno (mala calidad geotécnica)

3.3.3 Análisis para caídas de rocas

Para modelar y evaluar el alcance de las caídas de rocas o materiales desprendidos desde las laderas del Morro de Arica, se definieron distintos escenarios para cada perfil de análisis. En cada caso, se definieron las zonas desde dónde se pueden desprender material, especialmente desde zonas fracturadas, agrietadas o de zonas afectadas por estructuras geológicas. También existen registros de caídas y desprendimientos de sedimentos y rocas desde laderas con presencia de materiales menos consolidados, principalmente al sur del Morro de Arica, hacia el condominio Ayllu. Por lo general, los bloques provienen desde las zonas rocosas de la ladera con mayores pendientes y altura (generalmente desde las partes altas con pendientes entre 45° y 85°) y desde zonas con materiales sedimentarios (como depósitos de antiguas remociones en masa) en los cuáles existen zonas con ángulos mayores a la estabilidad natural del depósito (superiores a 35°) o geometrías irregulares desde las cuales se desprende material.

Considerando todos los antecedentes, especialmente los levantados de terreno, se definieron tres escenarios, desprendiendo bloques desde laderas con diámetros entre 40 cm y 2 m de diámetro. El peso de los bloques se determinó considerando valores de la densidad media de las rocas entre 2.32 y 2,7 g/cm³. Los valores para rocas varían según su composición y propiedades. En el enlace de la plataforma Geovirtual.cl se presenta una tabla con valores para rocas (<https://www.geovirtual2.cl/EXPLORAC/TEXT/06003grav.htm>). A partir de los pesos de los bloques calculados, se definieron los escenarios a modelar en términos de tamaño de bloques, considerando rocas entre 890 kg; 1,4 ton y 12 ton. Para cada sección de análisis, se definió entre una y tres zonas de lanzamiento incluyendo la proyección de 20 a 50 bloques. Los lugares de lanzamiento se definieron como zonas, es decir, se lanzan las rocas desde sectores y no de zonas puntuales, las cuales se definieron usando los antecedentes de eventos ocurridos, el modelo geológico geotécnico, el modelo estructural, las condiciones de terreno y el levantamiento aerofotogramétrico. Las secciones se modelaron haciendo uso del software *Rocfall* de *Rocscience* facilitado para fines del presente estudio por la empresa E-Mining Technology S.A.

En términos teóricos, la trayectoria de los bloques dependerá principalmente de la geometría del talud, zona de lanzamiento, propiedades de los materiales, tamaño y forma de los bloques. En la Figura 3-19, caso a) se muestran los modelos de trayectorias teóricas en caídas de rocas (ajustado de Hoek 2000 en Lara (2007)). En la Figura 3-19, caso b) se muestra la descomposición de las aceleraciones y velocidades en distintas trayectorias (basado en Chen *et al*, 1994 en Lara (2007)). Para la velocidad de lanzamiento de los bloques, se utilizaron tres escenarios. Uno considerando el lanzamiento de los bloques desde el reposo (velocidad horizontal y vertical 0 m/s). Este valor se basa en los estándares de diseño de rajos en la minería chilena, en los que los bloques se lanzan desde el reposo. Un segundo escenario consideró el lanzamiento de los bloques con una velocidad de

0,2 m/s estimada a partir de antecedentes de las remociones en masa ocurridas en las laderas del Morro, como la del 2014 en la Playa del Surf, en la que se tiene un área de generación y alcance (punto de inicio, término y distancia) y el mecanismo de rodamiento (ejemplo Sección 5 – perfil ubicado en la actual zanja). En el caso de taludes más verticales, como el analizado en la sección 6, se observan grietas en la ladera que limitan el paseo peatonal en la parte superior. En estas zonas, las rocas se desprenden y caen en caída libre, rodando por la ladera. También pueden caer y rebotar, proyectándose a mayor distancia debido a la geometría del talud y la resistencia del material que las impulsa.

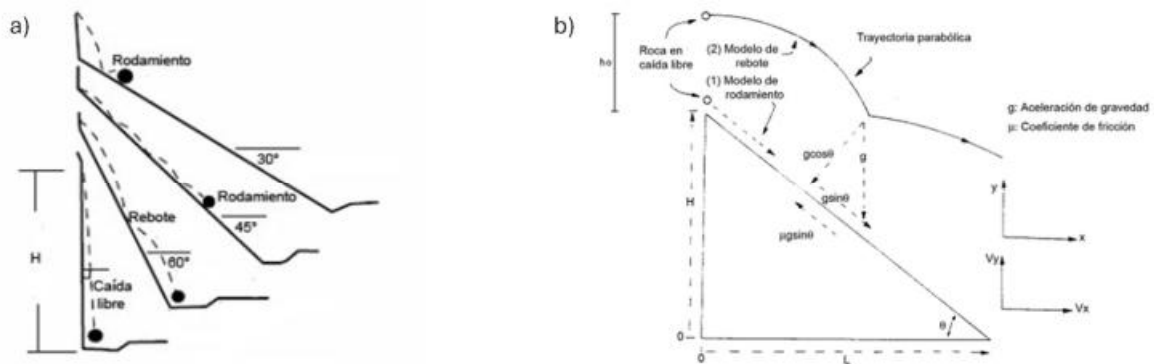


Figura 3-19 Modelos teóricos de trayectorias en caídas de rocas.

Un tercer caso de modelamiento consideró los valores recomendados por los proveedores de los softwares quienes sugieren modelar con velocidad horizontal inicial de 1,5 m/s. Para la estimación de las propiedades de análisis, se consideraron valores para las distintas unidades del modelo geológico – geotécnico. La Tabla 3-3 muestra los valores considerados para el análisis (tanto los valores obtenidos de literatura o estudios anteriores como los usados en los modelos).

Es importante destacar que las propiedades estimadas corresponden a valores para macizos rocosos (que son menores que los valores de roca intacta). Además, el Morro ha sido sometido a intervenciones mediante tronaduras, excavaciones y está en constante erosión por el viento, así como a la disolución de sales que rellenan fracturas.

Tabla 3-3 Valores de propiedades geotécnicas para el análisis de caídas de rocas.

Tipo de material	Propiedades modelo caída de rocas
Roca cubierta con regolito	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,33 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,87
Rocas sedimentarias	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-35°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,35 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,40
Roca fracturada	Ángulo de fricción Phi (°) 15 – 25°. Se usa 25°, Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,35 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,85
Material antigua remoción	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,32 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,72
Infraestructura (asfalto)	Ángulo de fricción Phi (°) 19°-59°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,4 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,9
Rocas volcánicas	Ángulo de fricción Phi (°) 35°-45°. Se usa 40°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,45 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,9
Zanja	Ángulo de fricción Phi (°) 20°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,39 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,56
Muro roca	Ángulo de fricción Phi (°) 35°-38°. Se usa 35°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,35 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,85
Depósitos pie de talud	Ángulo de fricción Phi (°) 20° Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,35 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,85
Zona de falla	Ángulo de fricción Phi (°) 15° Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,30 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,23
Lutitas	Ángulo de fricción Phi (°) 15° - 25°. Se usa 20° Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,25 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,50

3.4 Resultados obtenidos

Los resultados del análisis realizado bajo las condiciones descritas para cada mecanismo en las 10 secciones se presentan en los Anexos A.3, A.4 y A.5.

Para el análisis geométrico estructural con apoyo de proyección estereográfica, y tal como se explicó anteriormente, este análisis se hizo a partir de la visualización del modelo de trazas de estructuras geológicas en superficie respecto a las laderas del Morro analizadas. Esto se complementó con la visualización de la proyección estereográfica de los sistemas dominantes de estructuras para cada sección. Los resultados se presentan en Anexo A3 y los bloques identificados fueron analizados como deslizamientos traslacionales de roca.

En el caso del análisis de deslizamientos, en la Figura 3-20 muestra la ubicación de las secciones de análisis, mientras que en las Figura 3-21, Figura 3-22, Figura 3-23 y Figura 3-24 muestran los resultados obtenidos para **deslizamientos rotacionales** en las secciones descritas como emblemáticas.

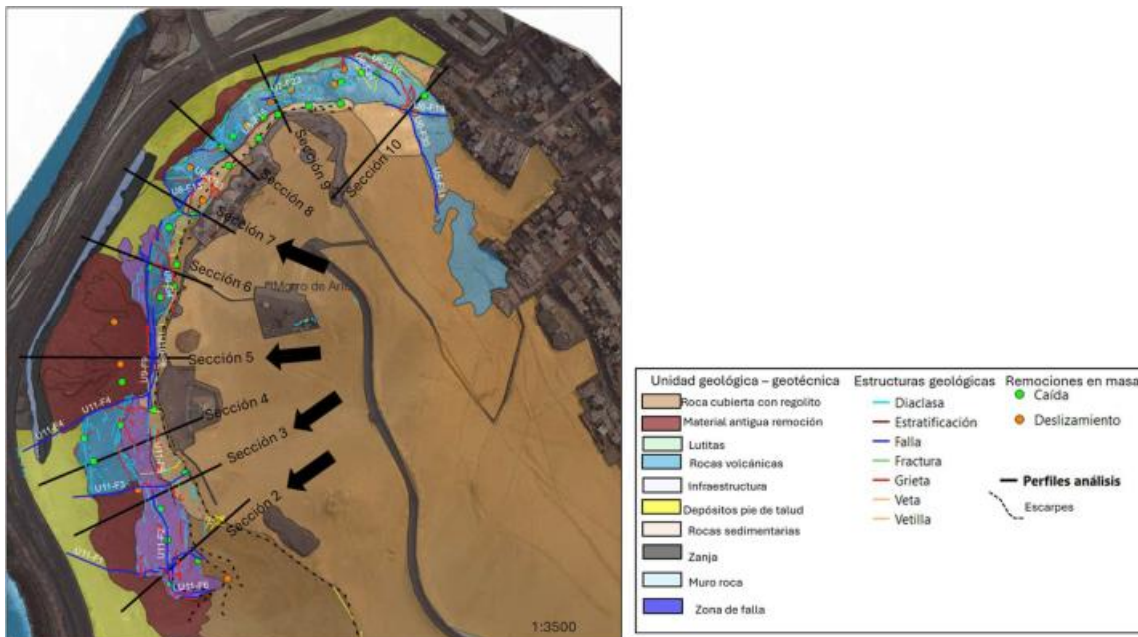
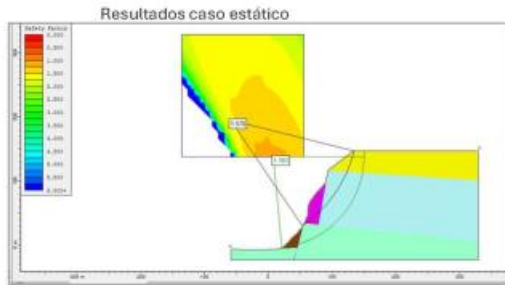
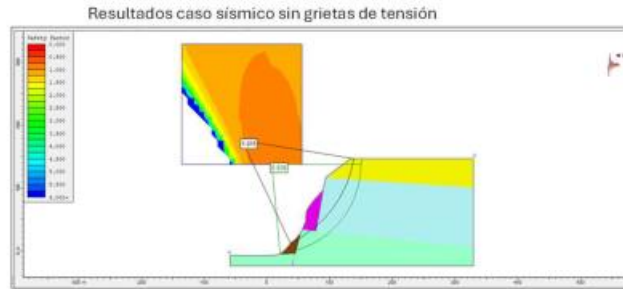


Figura 3-20 Ubicación de las secciones de análisis destacándose con flechas negras las figuras siguientes.

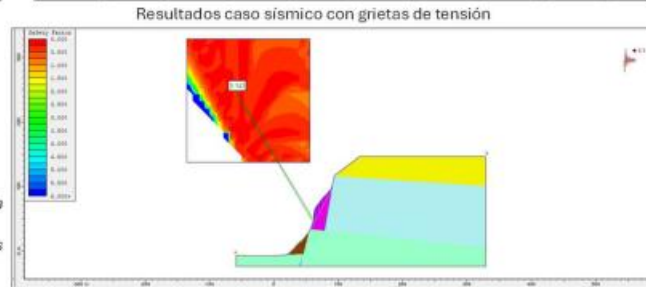
Sección 2 - Perfil U11_U12 - antigua cantera



Análisis deslizamientos rotacionales



Caso	Factores de seguridad (mínimo)
Estático	1,161
Sísmico	0,838
Sísmico con grietas de tensión	0,143

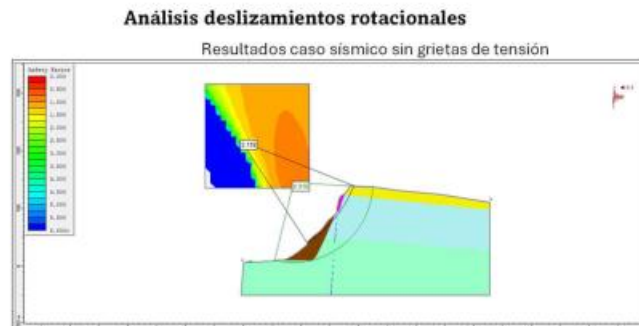
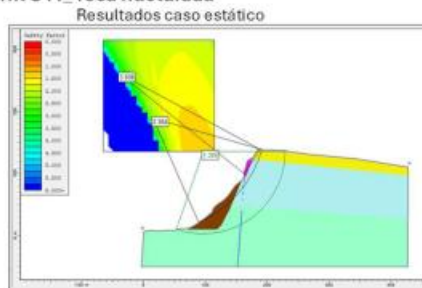


- Zona crítica en caso de sismos ($FS < 1.0$) falla rotacional profunda que reduce plataforma hasta 20 metros.
- Con grietas, las zonas inestables ($FS < 1.0$) en el caso de sismos son los remanentes de roca fracturada por cantera.

Figura 3-21 Ejemplo de análisis de deslizamientos Sección 2 sector de antigua cantera.

Sección 3

Perfil U11_ roca fracturada



Caso	Factores de seguridad (mínimo)
Estático	1,326
Sísmico	0,916
Sísmico con grietas de tensión	0,448

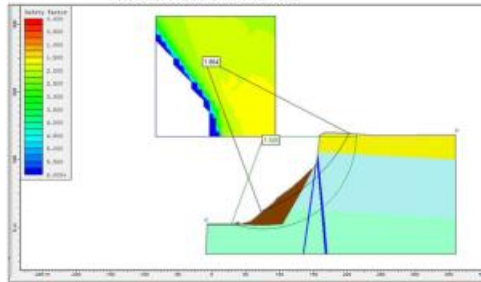


- Zona crítica en caso de sismos ($FS < 1.0$) falla rotacional profunda que reduce plataforma hasta 50 metros.
- Con grietas, las zonas inestables ($FS < 1.0$) en el caso de sismos son los remanentes de roca fracturada por cantera.

Figura 3-22 Ejemplo de análisis de deslizamientos Sección 3 zona de roca fracturada.

Sección 5

Perfil U9_ remoción en masa y zanja
Resultados caso estático

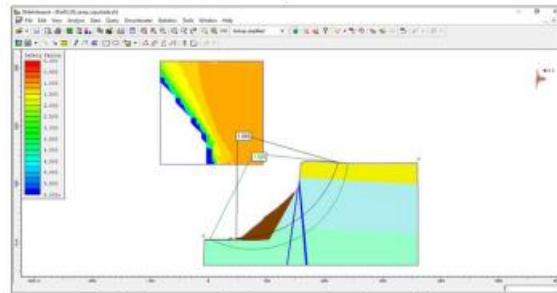


Caso	Factores de seguridad (mínimo)
Estático	1,500
Sísmico	1,026
Sísmico con grietas de tensión	0,014

- En condiciones sísmicas, talud tiene equilibrio límite (FS cercanos a 1,0). Si bien el FS min es 1,026, se considera una zona potencialmente afectada de **50 metros** desde el borde (zona de infraestructura paseo y estatuas), con un FS de 1,095 en condición de equilibrio límite.
- Al agregar grietas de tensión, aparecen zonas potencialmente inestables con $FS < 1,0$ especialmente en zona de roca fracturada y falla. La zona de remoción en masa tiene valores cercanos al equilibrio límite.

Análisis deslizamientos rotacionales

Resultados caso sísmico sin grietas de tensión



Resultados caso sísmico con grietas de tensión

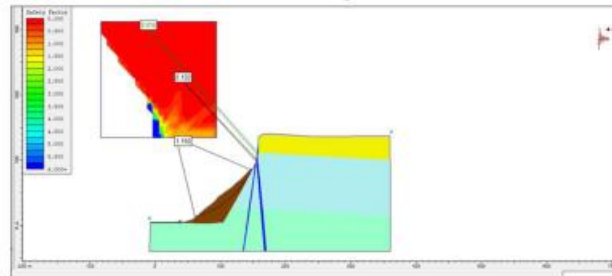
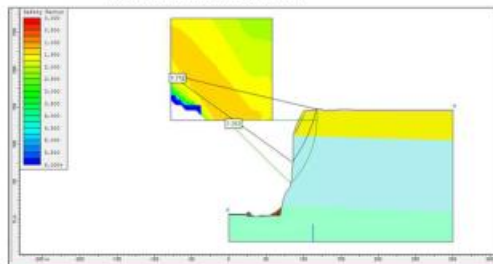


Figura 3-23 Ejemplo de análisis de deslizamientos Sección 5 zona de remoción en masa y zanja.

Sección 7

Perfil U8_bloque Museo

Resultados caso estático

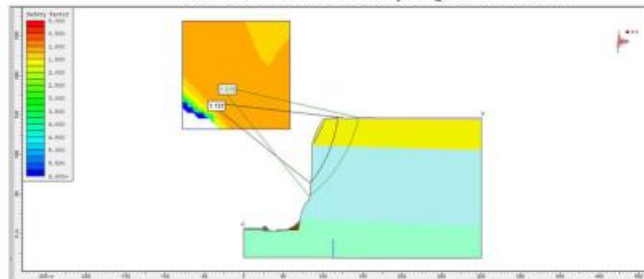


Caso	Factores de seguridad (mínimo)
Estático	1,263
Sísmico (con y sin grietas)	1,019
Sísmico bloque (grieta abierta o rellena con yeso)	0,993 (*)

- En condiciones estáticas $FS > 1,0$ y ante condiciones sísmicas se acerca al equilibrio límite (con pérdida de rampa potencial).
- Al agregar grietas de tensión, se mantiene equilibrio límite. Caso particular cohesión 50 KN/m² y Phi 15° para zona de falla principal abierta.
- Se analiza FS de bloque (falla plana).

Análisis deslizamientos rotacionales

Resultados caso sísmico con y sin grietas de tensión



Análisis deslizamientos traslacionales

Resultados caso sísmico – bloque.

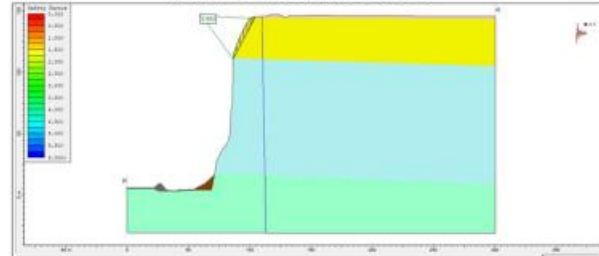


Figura 3-24 Ejemplo de análisis de deslizamientos Sección 7 en zona de bloque de roca agrietado en ladera posterior al Museo.

En general, se debe destacar que no se consideró la infiltración de camanchaca en las fracturas, las que, al estar rellenas con sales, disminuyen su calidad geotécnica. Los resultados arrojan secciones con superficies de falla con Factores de Seguridad (FS) menores a 1 o muy cercanos a este valor. Estas superficies de falla son en ocasiones superficiales (asociadas a las zonas muy fracturadas) o tienen una profundidad de fallamiento considerable para la escala del Morro de Arica, especialmente porque estas superficies de falla (en caso de ocurrir) afectarían la parte superior de la plataforma, donde se encuentran los paseos peatonales e infraestructura turística – patrimonial. Las zonas potencialmente inestables con Factores de Seguridad ($FS < 1,0$) o en equilibrio límite (con FS cercanos a 1,0), afectarían la parte superior de la plataforma. La zona potencialmente afectada varía entre 15 a 50 metros desde el borde del escarpe hacia la zona plana del Morro como se muestra en las figuras (en la sección 5 podría alcanzar 80 metros, pero los valores de FS varían centesimalmente, por lo que también se consideran 50 metros).

En el caso de la Sección 1, en la ladera posterior el condominio Ayllu, la zona potencialmente inestable abarca hasta 30 metros desde el borde del escarpe, estimándose un volumen de material de a lo menos 1.500.000 m³, el que podría alcanzar el estacionamiento del condominio.

Para el análisis de **deslizamientos traslacionales**, como deslizamientos planos o cuñas, se muestra el ejemplo del bloque agrietado en la parte posterior del Museo (Sección 7). En este y otros casos identificados, también se realiza definiendo Factores de Seguridad mediante el método de las tajadas. Pero en estos casos, la superficie de análisis del deslizamiento se define como no circular y la superficie de evaluación pasa justo por la falla que limita el bloque (por la zona de falla definida). Ver Figura 3-25.

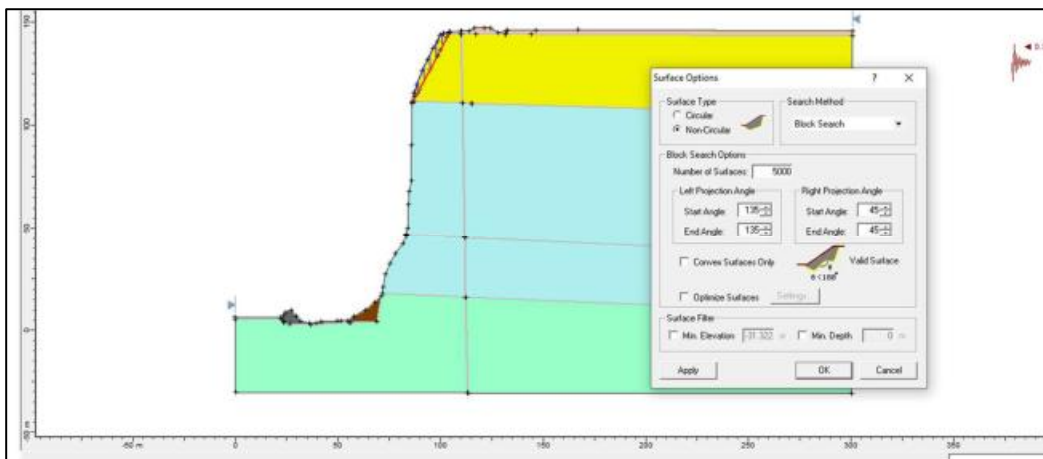


Figura 3-25 Ejemplo de definición de superficie en el análisis de deslizamiento traslacional.

La muestra los resultados de la evaluación para el deslizamiento traslacional del bloque, el cual arroja Factores de Seguridad FS < 1,0 bajo condiciones sísmicas.

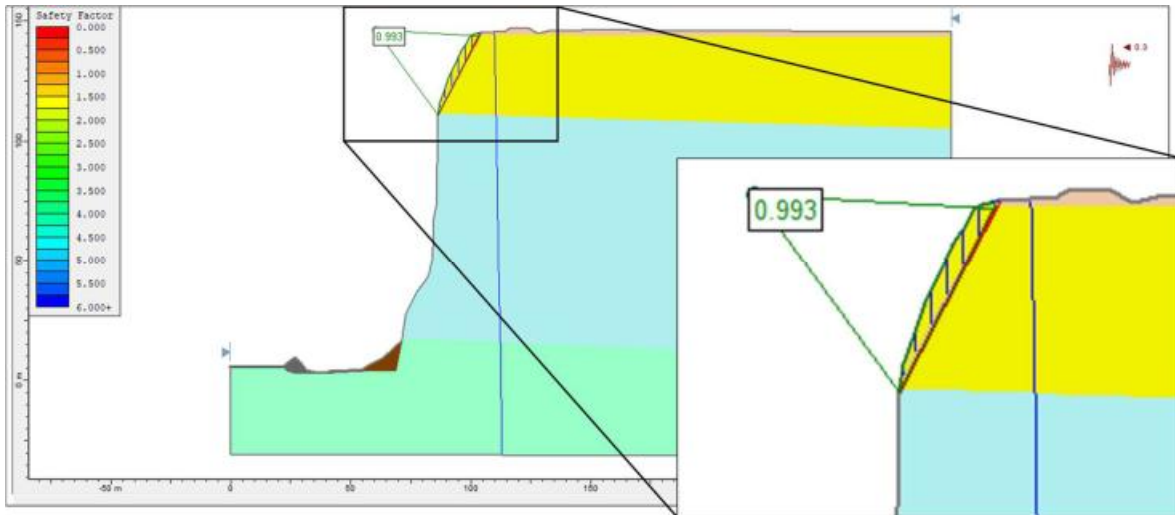


Figura 3-26 Resultados análisis de deslizamiento traslacional bloque sección 7 (sector Museo).

Todos los resultados de análisis para deslizamientos traslacionales y rotacionales se presentan en Anexos.

A partir de los resultados de alcance obtenidos para todas las secciones, se definen las recomendaciones, zonas de restricción y zonas de seguridad para el área de estudio.

La zona potencialmente inestable (entendida como las zonas que arrojan Factores de Seguridad FS < 1.0 en los escenarios evaluados) medida desde el borde del escarpe hacia la cima plana del Morro fue determinada a partir de las 10 secciones de análisis. Esta franja se utiliza en el capítulo siguiente para definir las recomendaciones asociadas.

Para el análisis de **caídas** de material desde la ladera, se definieron zonas de lanzamiento de rocas mostradas en la Figura 3-27 en la que, además, se muestra el alcance de las secciones modeladas, lo que permite sugerir las áreas críticas y zonas de seguridad.

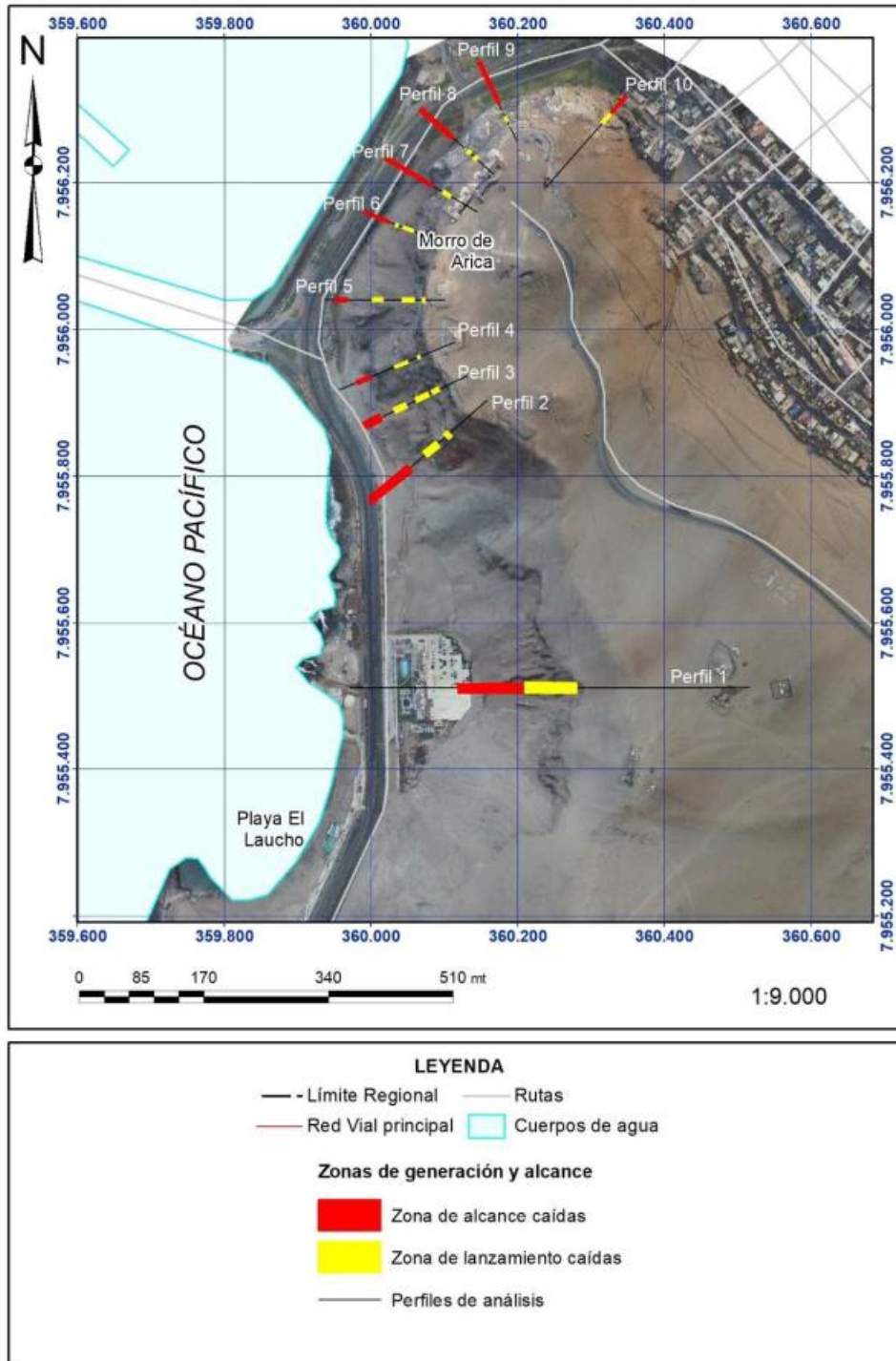
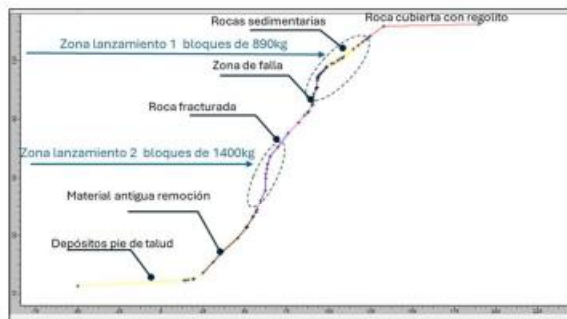


Figura 3-27 Representación de las zonas de generación y alcance para caídas de rocas.

A modo de ejemplo del análisis de las caídas de material, las Figura 3-28; Figura 3-29; Figura 3-30; Figura 3-31 y Figura 3-32 muestra resultados para algunas secciones. En el Anexo A5 se muestran los detalles para cada sección analizada en los escenarios considerados y descritos anteriormente. En dicho Anexo se pueden ver además los resultados para los escenarios evaluados y el detalle de las propiedades usadas en cada caso.

En la Figura 3-28 se muestran los resultados para la zona de la antigua cantera, la que actualmente no cuenta con protección en la parte superior y se encuentra con libre acceso a personas que pernoctan en el sector o van a dejar basura. Como se muestra, las rocas que caen alcanzarían la ruta, por lo que es necesario implementar sistemas de protección.

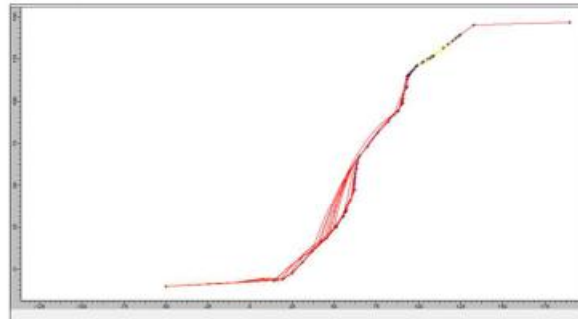
MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 2 - ANTIGUA CANTERA



Consideraciones:

- Dos zonas de lanzamientos (a partir de zonas irregulares, protuberancias o taludes colgados)
- 40 bloques de tamaños 0,4 y 1 m diámetro (densidad roca 2700 Kg/m³). Entre 890 Kg y 1,4 ton
- Velocidad inicial horizontal (Vh) 0m/s; 0,2 m/s; 1,5m/s. Velocidad vertical (Vy = 0m/s)

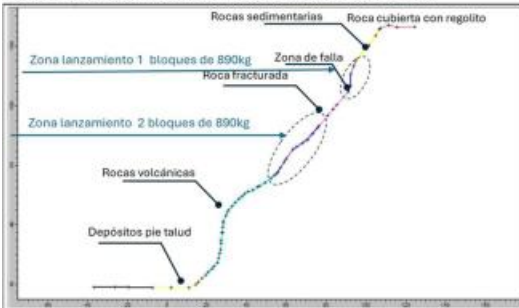
RESULTADOS OBTENIDOS Caso Vh = 0m/s



Los bloques ruedan y saltan por la ladera (Influenciados por la geometría del talud y los materiales). Luego caen en la zona de antigua remoción y descienden por rodamiento y saltación. Alcanzan hasta la calzada (depósitos de pie de talud) en zona con libre acceso y sin protección.

Figura 3-28 Ejemplo de análisis de caídas de material Sección 2 sector antigua cantera.

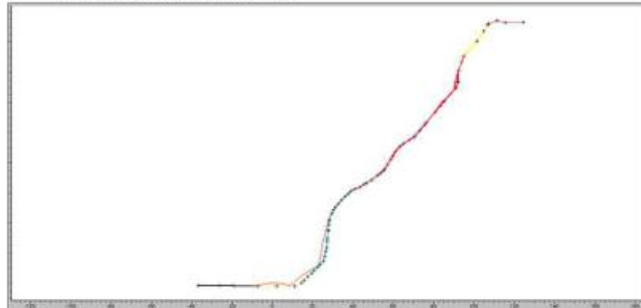
MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 4 - ZONA DE PILLOW Y GRIETAS



Consideraciones:

- Dos zonas de lanzamientos (a partir de zonas irregulares, protuberancias o taludes colgados)
- 60 bloques de tamaños 0,4 m diámetro (densidad roca 2700 Kg/m³). Peso 890 Kg
- Velocidad inicial horizontal (Vh) 0m/s; 0,2 m/s; 1,5m/s. Velocidad vertical (Vy = 0m/s)

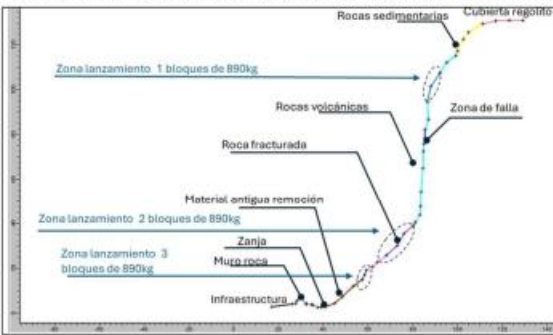
RESULTADOS OBTENIDOS Caso Vh = 1,5 m/s



Los bloques se desprenden, saltan y caen en material de roca fracturada. La mayoría quedan retenidos en la ladera producto de la geometría del talud. Otros bloques saltan hasta la base del talud, en zona con acceso libre sin protección.

Figura 3-29 Ejemplo de análisis de caídas de material Sección 4 zona de lavas en almohadillas y grietas.

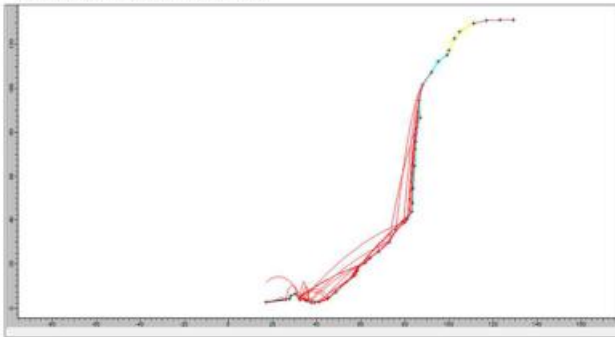
MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 6 – SECTOR ACTUAL ZANJA Y MURO DE ROCA



Consideraciones:

- Tres zonas de lanzamientos (a partir de zonas irregulares, protuberancias o taludes colgados)
- 60 bloques de tamaños 0,4 m diámetro (densidad roca 2700 Kg/m³). Peso 890 Kg
- Velocidad inicial horizontal (Vh) 0m/s; 0,2 m/s; 1,5m/s. Velocidad vertical (Vy = 0m/s)

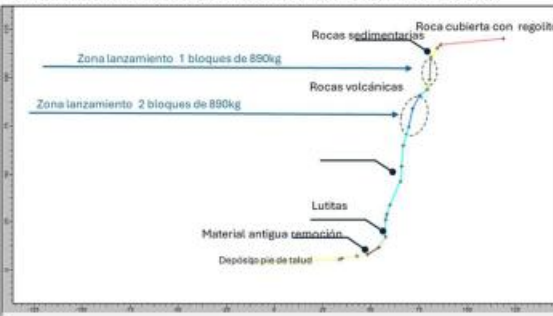
RESULTADOS OBTENIDOS Caso Vh = 0 m/s



Los bloques se desprenden y caen, rebotando y rodando desde el material de remoción. Por la geometría del talud, bloques caen en zanja y alguno traspasan hacia asfalto.

Figura 3-30 Ejemplo de análisis de caídas de material Sección 6 Sector actual zanja y muro de roca.

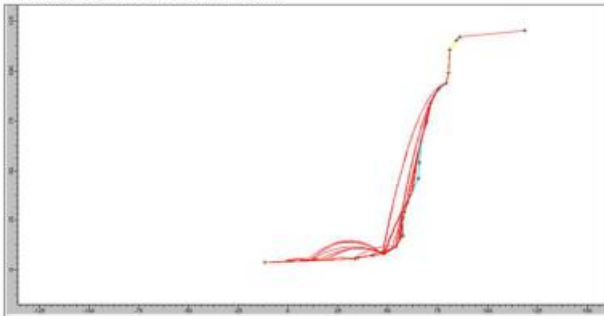
MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 9 – POSTAL TURÍSTICA DEL MORRO



Consideraciones:

- Dos zonas de lanzamiento a partir de zonas agrietadas
- 40 bloques de tamaños 0,4m diámetro (densidad roca 2700 Kg/m³). Peso 890 Kg
- Velocidad inicial horizontal (Vh) 0m/s; 0,2 m/s; 1,5m/s. Velocidad vertical (Vy = 0m/s)

RESULTADOS OBTENIDOS Caso Vh = 0,2m/s



Los bloques se desprenden y por rodamiento y caída descienden. Por la geometría del talud (tipo trampolín) y presencia de roca volcánica rígida, los bloques saltan. Caen al pie de talud, rebotando nuevamente hasta proyectarse en zona de pasto, sin protección.

Figura 3-31 Ejemplo de análisis de caídas de material Sección 9 postal turística del Morro.

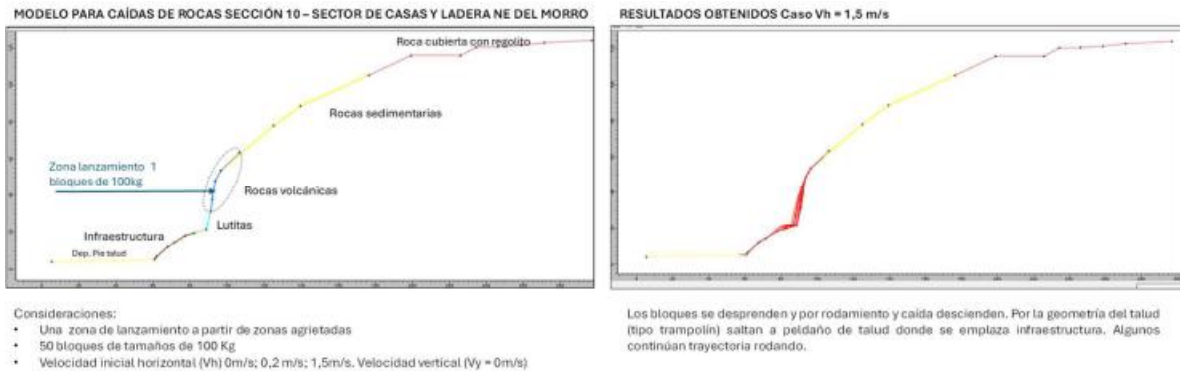


Figura 3-32 Ejemplo de análisis de caídas de material Sección 10 sector de casas ladera NE del Morro.

En el caso de la Figura 3-29, representa la sección que atraviesa la zona de afloramiento de lavas en almohadillas. Esta área no cuenta con protección y tiene acceso permanente de personas. Los resultados muestran que las rocas ruedan desde la parte superior, y la geometría del perfil favorece que las rocas salten y alcancen la ruta, por lo que es necesario colocar protección.

La Figura 3-30 muestra la zona con una zanja y un muro de roca existentes. Esta estructura parece ser efectiva, ya que la mayoría de las rocas que caen quedan retenidas por esta estructura. No obstante, si hay personas viviendo en la zanja, esta situación representa un alto riesgo para sus vidas. Algunas de las rocas podrían rebotar en la zanja y traspasar el muro de roca, especialmente si la zanja no se mantiene adecuadamente.

En el caso de la caída de bloques de roca en la zona de la costanera y la vista de la postal turística del Morro (Figura 3-31) los bloques caen alcanzando mayor distancia producto de la geometría de la ladera. Esta zona cuenta con un cierre de acceso (reja) y pasto, las rocas potencialmente inestables alcanzarían la ruta por lo que debería complementarse la contención (por ejemplo, con muro y zanja).

En el caso de la Sección 10, que representa la ladera NE del Morro donde se encuentran casas en la zona turística llamada Av. Héroes del Morro, los techos y patios de las casas tienen evidencias de caídas de rocas, las que si bien son de menor tamaño caen sobre las casas debido a la configuración de la ladera y la ubicación de las viviendas (Figura 3-32).

4 CONCLUSIONES

A modo de síntesis, los resultados del análisis de estabilidad realizado permitieron identificar zonas dentro del área de estudio que actualmente están en condición de equilibrio límite, es decir, presentan una estabilidad marginal dada por factores de seguridad cercanos a 1,0 los cuales se reducen ($FS < 1,0$) al considerar las grietas del terreno y un eventual sismo, siendo **zonas potencialmente inestables**. El análisis de los deslizamientos revela la existencia de zonas potencialmente inestables, las cuales, en caso de ocurrir remociones en masa, podrían afectar la plataforma superior del Morro de Arica, donde se encuentran los paseos, así como infraestructura patrimonial y turística. Esta pérdida de plataforma (o retroceso) es desde el borde del talud (escarpe) hacia la zona donde transitan personas o se encuentra la infraestructura del Museo. Las distancias definidas como potencialmente afectadas varían entre 20 y 50 metros.

Para el análisis de caídas, se identificaron bloques que pueden desprenderse desde las laderas, alcanzando distintas trayectorias y distancias variables dependiendo de la sección analizada. Los resultados de los casos modelados para las distintas secciones de análisis permitieron identificar zonas de generación, trayectoria y alcance de los bloques. En su mayoría, estos bloques quedan retenidos en la ladera o en la zona que actualmente cuenta con una zanja de protección. Estas áreas coinciden con las zonas potencialmente inestables de las laderas. No obstante, existen bloques que eventualmente pueden superar esta barrera y alcanzar la costanera, especialmente en los casos en que no hay zanja o hacia zonas sin protección.

La Figura 4-1 presenta los resultados obtenidos, a partir de los cuales se definen **zonas críticas** para el área del Morro de Arica, y donde además se destaca el catastro de remociones en masa. En la imagen, las zonas achuradas corresponden a las **zonas críticas** del área del Mapa 5 definidas a partir del análisis de susceptibilidad, peligro y estabilidad realizados a escala 1:1.000, e incluyen zonas potencialmente inestables o cercanas a la condición de equilibrio límite, especialmente ante un sismo, vibraciones o intervenciones antrópicas o zonas de generación o caídas de material.

Los resultados obtenidos permitieron además definir recomendaciones incluyendo las zonas de alcance en la proyección de los bloques en el caso de las caídas y las zonas afectadas por potenciales deslizamientos. A partir de lo anterior se definió definir una franja o **zona de restricción y seguridad**.

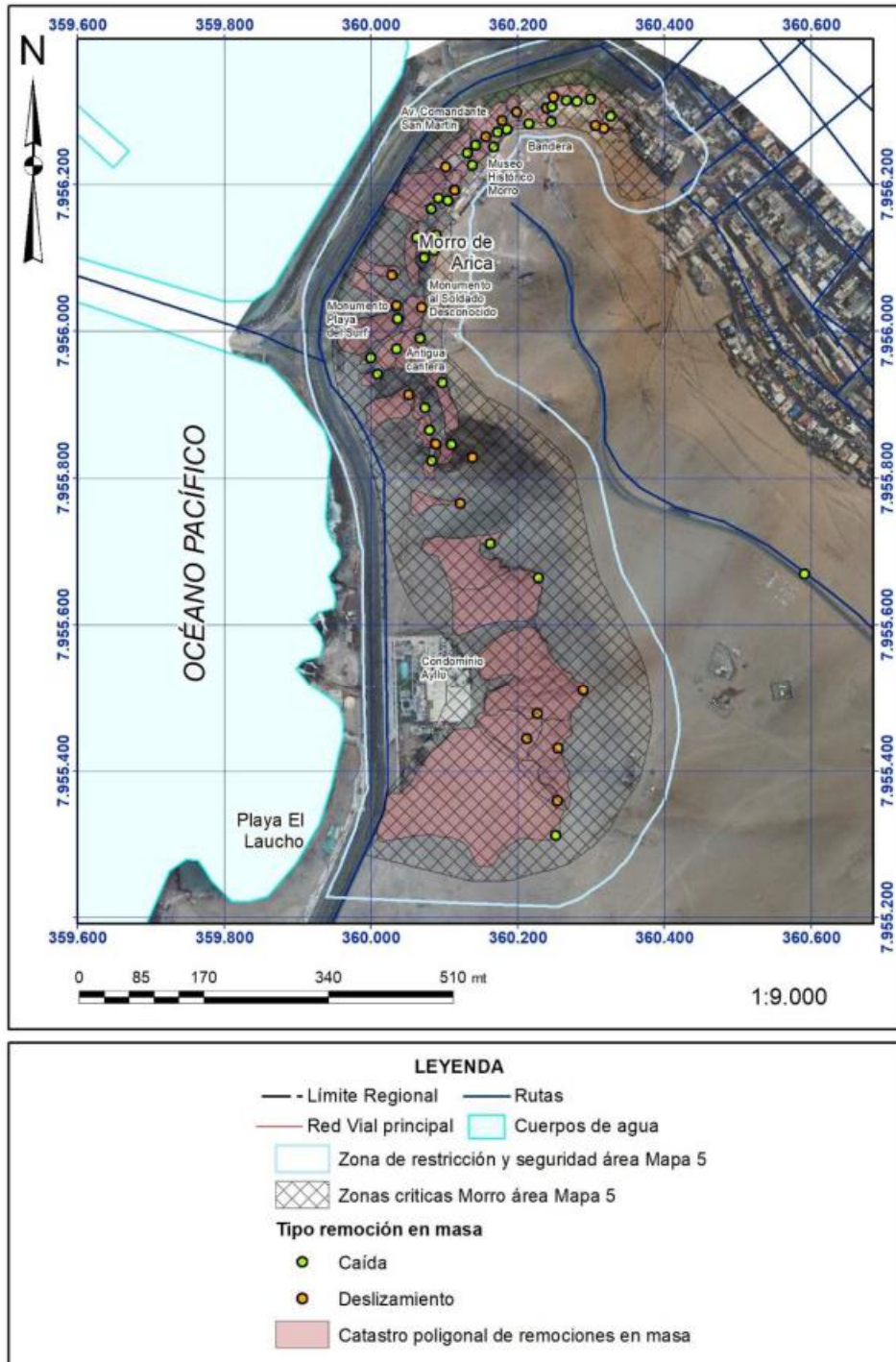


Figura 4-1 Resultados y definición de zonas críticas, de restricción y seguridad escala 1:1.000 del área del Mapa 5.

Las zonas achuradas (**zonas críticas**) tienen una alta probabilidad de presentar deslizamientos (rotacionales y traslacionales) y caídas de rocas desde las laderas del Morro, así como desde el escarpe y las cornisas superiores. Estos deslizamientos y caídas de rocas provienen de áreas actualmente agrietadas, con bloques sueltos o limitadas por estructuras con rellenos de baja calidad geotécnica. Estas zonas se definieron a partir de los resultados de cada perfil y no deben ser intervenidas, ya que sufren un deterioro progresivo debido a las fracturas, grietas, rellenos, condiciones climáticas y erosión en el Morro, entre otros factores. Estas zonas deben estar restringidas a todo tipo de acceso e intervención.

También se define un área llamada **zona de restricción y seguridad** (línea color celeste de Figura 4-1), la cual cubre una franja por la parte inferior del Morro (bordeando el macizo por Av. Comandante San Martín) y cubre aquellas áreas que podrían ser alcanzadas eventualmente por bloques o deslizamientos en las laderas orientadas al oeste, norte y noroeste. Por la planicie superior (desde el borde del escarpe hacia la zona de infraestructura patrimonial), esta franja define una zona de restricción y seguridad para evitar que las personas construyan, intervengan, se acerquen al borde de la ladera o se aglomeren en grupos. Tanto las zonas críticas como la zona de restricción y seguridad fueron definidas como un perímetro a partir de los resultados del análisis de estabilidad para cada perfil, considerando en la parte superior, una distancia desde el escarpe el doble de la definida como zona crítica, pero incluyendo además intervenciones, monumentos y paseos. En la parte inferior del Morro, está asociada al máximo alcance potencial de rocas y bloques en caso de remociones en masa de mayor volumen.

De acuerdo con los resultados, en el área del Mapa 5 (que incluye el Morro de Arica) existen zonas inestables y otras que podrían desestabilizarse ante sismos, vibraciones, lluvias u otro tipo de intervenciones. Las zonas potencialmente inestables o **zonas críticas** del Morro podrían ser contenidas o mitigadas con obras de ingeniería, como la instalación de mallas, pernos, cemento proyectado u otra medida que ya en el pasado se evaluó y recomendó. Sin embargo, hay que recordar que históricamente existen estudios específicos de los cuales surgieron recomendaciones geotécnicas como soporte, fortificación, monitoreo y seguridad, y de las cuales a la fecha ninguna ha sido efectivamente implementada. También se debe recordar el estado de la única señalética que advierte el peligro del Morro y la ocupación por parte de personas, lo que finalmente orienta las recomendaciones emitidas por el presente estudio.

5 RECOMENDACIONES

En ingeniería geológica, existen varias alternativas para afrontar zonas potencialmente inestables, dentro de las cuales se mencionan:

- Eliminar la zona o el volumen potencialmente inestable. Es decir, descargar de manera artificial las zonas inestables, mediante acuñadura dirigida u otros procesos que permitan eliminar las zonas inestables o agrietadas. La factibilidad de realizar esta operación dependerá del tipo de remoción en masa, el volumen involucrado y factibilidad real de descargar el cerro desde arriba hacia abajo, incluyendo colocar infraestructura por arriba y poder disponer de espacio y tiempo por abajo sin tránsito para realizar labores.
- Implementar medidas de sostenimiento. En este caso, se sugiere mejorar la estabilidad aumentando las propiedades del macizo rocoso. Es decir, se interviene el macizo rocoso mediante la instalación de cables, fierros, pernos, cemento proyectado, resinas u otro sistema de fortificación. Esta opción dependerá principalmente del tipo de remoción, el volumen involucrado y recursos disponibles para implementar estas medidas que por lo general son de alto costo.
- Implementar medidas de seguridad. Adoptar medidas para minimizar el riesgo a la población, tales como la instalación de gaviones, mallas, enrocados, zanjas u otros sistemas que retengan el material inestable y proteger el talud (como geotextiles o mallas bizcocho). La elección de las medidas específicas dependerá del tipo de remoción y del volumen involucrado. Si existe la posibilidad de que estas soluciones fallen, se deben adoptar precauciones adicionales, como la colocación de señalización adecuada y la elaboración de planes de difusión del riesgo por remociones en masa.
- Implementar medidas de monitoreo, seguimiento y planificación. En este caso, una vez identificado el tipo de remoción en masa, se debe estudiar y comprender su comportamiento (por ejemplo, en el caso del bloque agrietado al oeste del Museo), se deben hacer mediciones y seguimiento de parámetros que permitan entender cómo y cuánto se mueve. Esto se puede hacer con simples implementos (como un extensómetro de huincha para medir la apertura de las grietas) o con herramientas tecnológicas de alta precisión (como levantamientos fotogramétricos, tomas con dron, LiDAR u otras). Una vez comprendido el comportamiento de la remoción en masa a analizar, es posible definir umbrales – ya sea de movimiento o en los desencadenantes – que permitan tomar decisiones en la población. Dependerá del tipo de remoción, volumen involucrado, vulnerabilidad y costos.



A partir de los resultados obtenidos y considerando del carácter patrimonial y turístico del Morro, sumado a los costos, tiempos y efectividad de las medidas de sostenimiento, se optó en el presente estudio entregar recomendaciones orientadas principalmente a seguridad.

Para definir las recomendaciones, se utilizaron los mismos escenarios que en el modelamiento de deslizamientos y caídas de material, considerando 3 casos definidos a partir de todos los antecedentes del estudio, incluyendo los antecedentes aportados por personas descrito en el capítulo 2.6 de Otros antecedentes. Los casos analizados se describen en tres, mostrados en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1 Casos analizados para definir recomendaciones área de estudio del Mapa 5.

Caso	Características	Probabilidad de ocurrencia	Impactos	Recomendaciones emitidas
Caso 1 Caída de bloques puntuales	Este caso se asocia a la caída puntual de bloques pequeños (< 40 cm de diámetro aproximadamente) desde las laderas del Morro. El tamaño está definido a partir de los antecedentes de las personas entrevistadas y de todos los antecedentes del estudio. Estos eventos puntuales son captados sólo por personas muy ligadas al Morro (como personal de mantención de jardines, vecinos o personas que habitan el lugar). El peso estimado de los bloques es menos a 1 tonelada (< 0,9 ton).	Alta , ya que a partir de los antecedentes de los habitantes y de las evidencias de terreno, desde las laderas del Morro siempre se está desprendiendo material.	Moderado . Si bien se tienen pocos registros de daños a personas o bienes a partir de esta caída puntual de bloques, el hecho es que personas transitan, trabajan, viven o pernoctan en el lugar. Por lo tanto, hay personas expuestas a la caída de estos bloques.	<ul style="list-style-type: none"> • Prohibir accesos por parte superior e inferior. Para eso, se recomienda el cierre de la zona crítica mediante una reja perimetral. • Para contener bloques < 1 ton, se suelen usar gaviones, enrocados, zanjas, camellones y muro de rocas. Se recomienda extender la construcción de la zanja y muro de enrocado o sistema similar hacia las zonas donde actualmente no existe (Secciones 2, 3, 4, 8 y 9). • Instalar señalética advirtiendo riesgo y peligro por la parte superior e inferior. • Se sugiere colocar mallas en Sección 10 en zona de casas. • Erradicar a las personas que se encuentran habitando en la zanja.
Caso 2 Caídas y deslizamientos de varios bloques en conjunto	Este caso se asocia a remociones en masa como las ocurridas el 2014 o el 2021, en las cuales varios bloques se desprenden y/o se deslizan por las laderas del Morro. Estos eventos suelen llamar la atención de más personas (por el volumen involucrado y polvo levantado) y causan conmoción en la población. El tamaño definido para los bloques en este caso es entre 0,4 y 1 m de diámetro (es decir, bloques individuales menores a 5 ton pero que en conjunto pueden sumar más volumen movilizado).	Alta , ya que a partir de los antecedentes y de las evidencias de terreno indican que las laderas del Morro han sido en parte modeladas producto de eventos de remoción en masa que han dejado cicatrices, zonas colgadas o bloques abiertos sensibles a deslizarse o caer.	Alto . Los registros de este tipo de eventos dan cuenta de daños a la infraestructura y dejan una condición favorable a nuevas remociones. Estas zonas alcanzarían parte de la costanera turística, en la que hay personas que transitan, trabajan, viven o pernoctan en el lugar expuestas al impacto de estos bloques.	<ul style="list-style-type: none"> • Prohibir accesos por parte superior e inferior mediante el cierre de la zona crítica mediante una reja perimetral. • Para contener bloques < 5 ton, se suelen usar gaviones, enrocados, zanjas, camellones y muro de roca o mallas de acero dinámicas. Se recomienda extender la construcción de la zanja y muro de enrocado o sistema similar hacia las zonas donde actualmente no existe (igual caso anterior). • Instalar señalética advirtiendo riesgo y peligro por la parte superior e inferior.
Caso 3 Fallamiento mayor de la ladera	Este caso se asocia a un potencial fallamiento profundo o a mayor escala del talud, mediante una remoción en masa de importante volumen, como por ejemplo que deslizara la parte posterior del condominio Ayllu de manera rotacional o colapsara el bloque detrás del Museo de manera traslacional. En este caso, se consideran bloques de más de 2 m de diámetro con más de 5 ton de peso.	Moderada , ya que no existen evidencias recientes de estos eventos, pero se sabe que han ocurrido por la variación histórica en la geometría del Morro y por la presencia de zonas agrietadas y con evidencias claras de deformación.	Alto . En caso de ocurrir este tipo de proceso, tendría alto volumen involucrado (miles de m ³) el cual podría movilizarse a alta velocidad, siendo un evento potencialmente muy catastrófico y con alto grado de pérdidas.	<ul style="list-style-type: none"> • En este caso se recomienda realizar un estudio de monitoreo que permita conocer el comportamiento de las zonas potencialmente inestables que abarcan mayor volumen (zona posterior a condominio Ayllu y zona de bloques agrietadas en la ladera este del Morro). Lo anterior se puede aplicar mediante InSAR, radar, prismas topográficos, sistemas LiDAR o extensómetros en el caso de grietas. • Instalar señalética advirtiendo el riesgo y peligro por la parte superior e inferior del Morro.

La Figura 5-1 presenta los casos en una matriz de riesgos por remociones en masa, donde se representa la probabilidad de ocurrencia en el eje vertical y el impacto en el eje horizontal. La probabilidad de ocurrencia se estima a partir de los resultados de los análisis y de la información expuesta en la tabla anterior. La nomenclatura utilizada clasifica los escenarios como alto, moderado y bajo. Los resultados de este estudio se ubican numeradas en dicha matriz de riesgos en categorías alta y moderada.

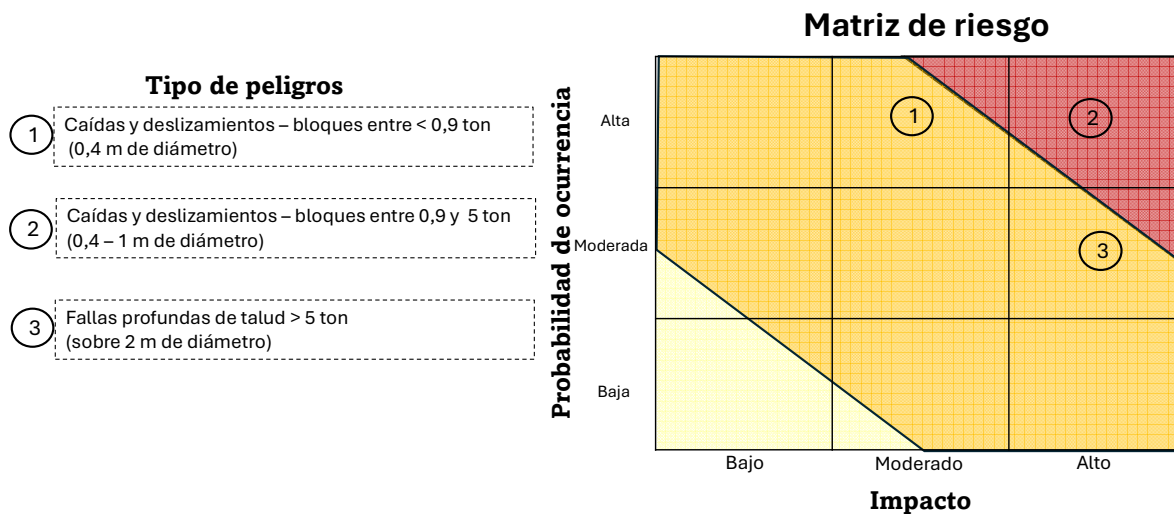


Figura 5-1 Matriz de riesgo para el análisis de casos de peligros del área del Mapa 5.

A partir de las conclusiones se entregan recomendaciones específicas para el área del Mapa 5 y mostradas en la Figura 5-3.

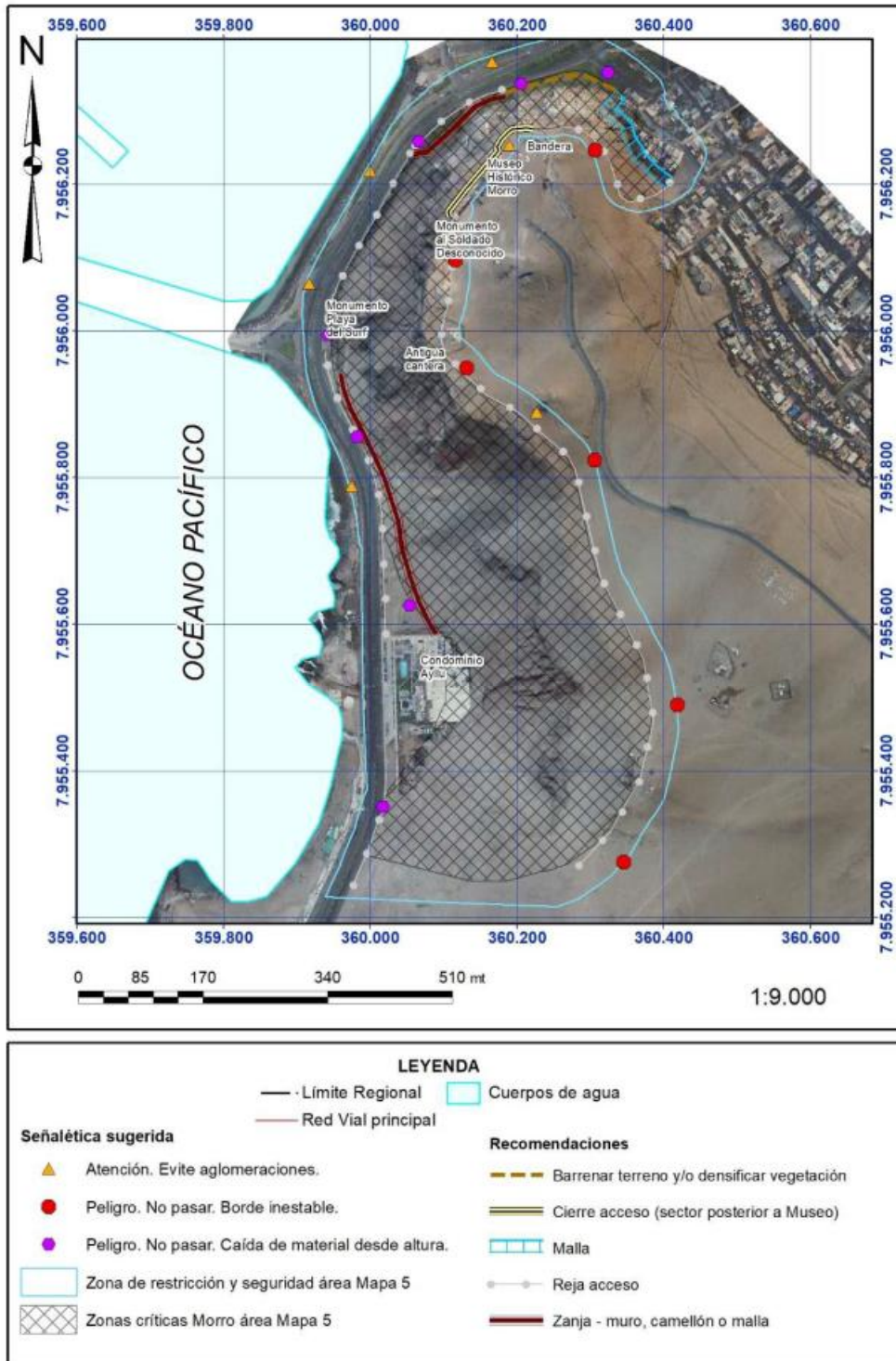


Figura 5-2 Recomendaciones zonas críticas y de seguridad del área del Mapa 5, escala 1:1.000.

En general, las recomendaciones tienen por objetivo prohibir o impedir el acceso a las zonas potencialmente inestables, instalar señalética acorde a la condición y proteger las zonas de tránsito ante caídas y deslizamientos de material mediante barreras, como el actual muro de roca y la zanja que se ubica a los pies del Morro de Arica.

Las actuales señaléticas que indican la peligrosidad de las laderas del Morro se encuentran en mal estado y la información es deficiente. La zanja y el muro de roca implementados como medidas de seguridad están en vías de colmatarse, es decir, parcialmente relleno con material, perdiendo efectividad en su capacidad de almacenaje y contención. Además, como se ha señalado a lo largo de este informe, existen personas habitando en este sector y, a su vez, también se ha usado como lugar de acopio de escombros.

Por su parte, en la zona del condominio Ayllu ha sido señalada como área de alto peligro por remoción en masa en estudios anteriores. Sin embargo, el desarrollo inmobiliario en este sector ha ido en avance, donde actualmente se encuentran construidas dos torres y se avizoran nuevas construcciones.

Finalmente, el relleno y monitoreo de las grietas ubicadas y visibles en la parte superior del Morro se encuentran aparentemente sin seguimiento, por lo que su condición actual puede considerarse como abandonada.

En función de lo descrito anteriormente, se establecen una serie de recomendaciones de modo que se evite la exposición al peligro.

Específicamente se recomienda (ver Figura 5-3):

- Cierre perimetral para impedir el acceso por la parte inferior y superior de las laderas del Morro. Esto implica bloquear el acceso a parte de la infraestructura del borde superior en la zona crítica (zona achurada de Figura 5-3).
- Realizar mantención de la actual zanja y muro, limpiando y barrenando el terreno de la zanja, y buscar la reubicación de las personas que habitan el sector.
- Continuar la zanja y muro de roca hacia el sur (hasta Condominio Ayllu) y hacia el norte, hasta el límite de la actual reja y pasto. Figura 5-3. La zanja debiese tener mínimo 2 metros de arena en la base en contrapendiente.
- En la zona en que actualmente hay pasto, se debe mantener el cierre perimetral, densificar la vegetación y/o barrenar (arar) el terreno
- En la zona en que hay casas en la base de la ladera (cara N y NE del Morro), se sugiere instalar mallas dinámicas en la base de la ladera, antes de las casas, las que deben ser definidas a partir de un estudio de ingeniería de detalle de la ladera.
- Complementar el cierre perimetral con señalética adecuada al escenario real y en buen estado. En Figura 5-3 se representa la ubicación sugerida para las señaléticas y lo que debiesen transmitir. La misma figura muestra ejemplos de estas señaléticas.
- A estos resultados, se debe incluir una franja o faja de seguridad, la que debe quedar expresamente establecida que se eviten aglomeraciones de personas y que no se

deben realizar intervenciones antrópicas de ningún tipo en el Morro de Arica, incluyendo evitar vibraciones, como fuegos artificiales, explosiones o vibraciones sonoras.

- En el caso de la parte posterior del condominio Ayllu, se debe instar a la comunidad del edificio a aumentar la altura y resistencia del muro posterior a los estacionamientos. Esta recomendación debe tratarse directamente con la comunidad legal del condominio.

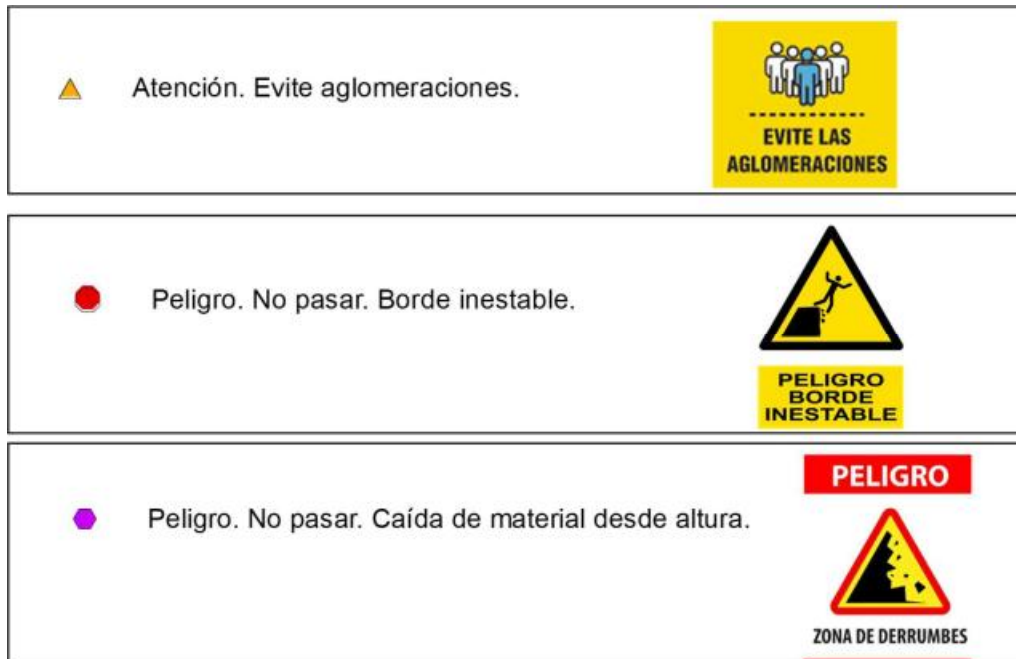


Figura 5-3 Señalética sugerida para zona crítica y de seguridad del área del Mapa 5 - Morro de Arica.

La Figura 5-4 muestra la línea de tiempo de estudios en el Morro de Arica indicando el presente estudio. La Figura 5-5 muestra ejemplos de las recomendaciones emitidas.

Historia estudios del Morro, últimos 70 años

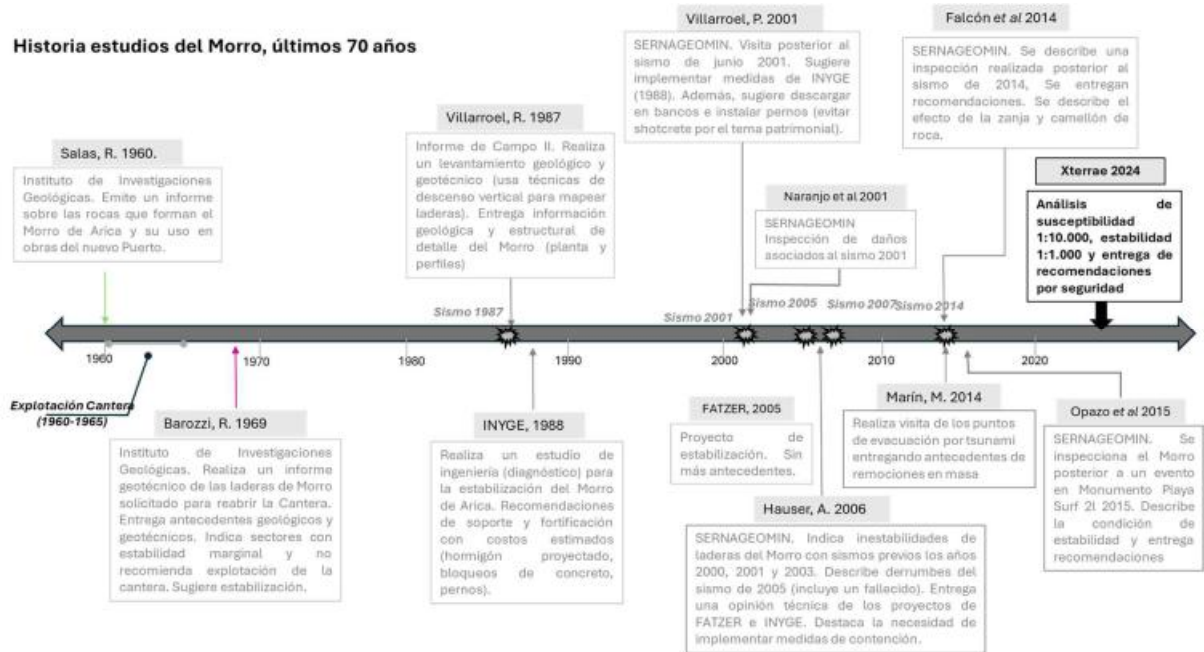


Figura 5-4 Resumen estudios Morro de Arica 1960 – 2024.

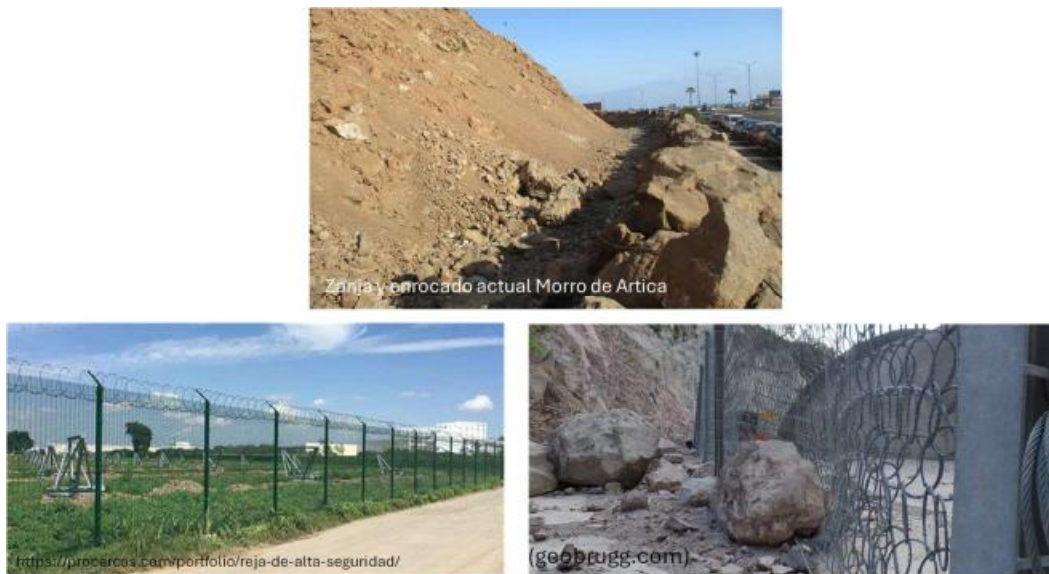


Figura 5-5 Ejemplo de recomendaciones para el área del Mapa 5 - Morro de Arica.

6 BIBLIOGRAFÍA

Barozzi, R., 1969. *Informe geotécnico de los taludes del Morro de Arica y su relación con la factibilidad de continuar explotando la Cantera*, Santiago de Chile: s.n.

Becerra, A., 2014. *Seismic microzoning of Arica and Iquique, Chile*. Tesis para el grado de Master of Science in Engineering. Pontificia Universidad Católica de Chile. ed. Arica e Iquique. : s.n.

Lara, M., 2007. *Metodología para la evaluación y zonificación de Peligro de Remociones en Masa con Aplicación en la Quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana*, s.l.: s.n.

Muñoz, E., 2013. *Susceptibilidad de remociones en masa y de respuesta sísmica asociada a fallas mayores en áreas urbanas. Estudio de caso Viña del Mar, V región*, s.l.: s.n.

Salas, R., 1960. *Breve informe preliminar sobre las rocas que forman el Morro de Arica, y que serán empleadas en la construcción del nuevo Puerto*, Santiago de Chile: s.n.

Tapia, P., Roldán, G. & Villacis, C., 2002. *Vulnerabilidad sísmica de las ciudades del norte de Chile: Arica, Antofagasta y Copiapó*. s.l., ACHISINA.

Villaruel, R., 1987. *Características del Morro de Arica después del terremoto de agosto de 1987*, s.l.: s.n.



ANEXO A.1 Cartillas de mapeo Morro de Arica

MAPEO DE CELDAS

MAPEO CARACTERIZACIÓN DE ESTRUCTURAS MAYORES

CARTILLA DE MAPEO DE CELDAS O VENTANAS GEOTÉCNICAS

IDENTIFICACIÓN CELDA (ID):	4 Trincheras	FECHA:	29/9/29	MAPEADO POR:	GA / MS	MANTEN DEL TALUD / LADERA:	50° S										
COORDENADAS PUNTO CONTROL INICIO:	(1804) 18° 28, 865'		70° 19, 437'	COTA MAPEO:	134 mt	RUMBO TALUD / LADERA:	NS										
COORDENADAS PUNTO CONTROL FIN:	(1805) 18° 28, 868'		70° 19, 436'	ANCHO CELDA:	4,5 mt	ALTO CELDA:	3 mt										
MANTEN MÍNIMO CELDA:								0°									
LARGO MÍNIMO FRACTURA:								15 cm									
CARACTERÍSTICAS CELDAS																	
Tipo Discontinuidad	Abertura Discontinuidad (cm)	Longitud Línea Costeo (m)	Nº Fracturas	SD	Longitud Media (m)	Longitud Máxima (m)	Nº Discont. con Longitud Máxima	Terminación	DIR/RUMBO	DIP/MANTEN	Mantén Mínimo MD	Relevo			Condición Agua	Rugosidad	OBSERVACIONES
												Tipo	Esesor	Calidad			
✓ SJ	2 cm	0,2 m	1	H	2 mt	2 mt	1	S	N20E	72° 30'	50° W	Cal	0,5 cm	D	S	L	en 0,2 mt
✓ SJ	18 cm	1,7-3,7	7	H	1,0 mt	1,5 mt	2	S	N80W	70° N	50° N	Y	1 cm	S	S	LR	
✓ ZF	20 cm	2,6-2,7	1	H	3,5	3,5	2	S	N80W	70° N	65° N	OxFe	1 cm	S	S	LR	Zona Falla?
✓ SJ	1 cm	H	7	H	1 mt	1,2 mt	1	T	N20E	65° S	60° S	-	< 1 cm	D	S	LR	
Fotos. S127 S126																	

IDENTIFICACIÓN CELDA (ID):	Plaza Surf.	FECHA:	29-9-23	MAPEADO POR:	MS - GA	MANTEN DEL TALUD / LADERA:	05° W											
COORDENADAS PUNTO CONTROL INICIO:	(1807) 18° 28, 932'		70° 19, 595'	COTA MAPEO:	12 m	RUMBO TALUD / LADERA:	NSW											
COORDENADAS PUNTO CONTROL FIN:	(1808) 18° 28, 941'		70° 19, 594'	ANCHO CELDA:	24 m	ALTO CELDA:	1,7											
MANTEN MÍNIMO CELDA:								7° N										
LARGO MÍNIMO FRACTURA:								10 cm										
CARACTERÍSTICAS CELDAS																		
Tipo Discontinuidad	Abertura Discontinuidad (cm)	Longitud Línea Costeo (m)	Nº Fracturas	SD	Longitud Media (m)	Longitud Máxima (m)	Nº Discont. con Longitud Máxima	Terminación	DIR/RUMBO	DIP/MANTEN	Mantén Mínimo MD	Relevo			Condición Agua	Rugosidad	OBSERVACIONES	
												Tipo	Esesor	Calidad				
✓ SJ	0,5 cm	0-6	20	H	1,50	1,30	15	N	EW	90	82° S	Q20 cal	7 cm	D	S	LR		
✓ SJ	-	0-6	2	H	2 m	3 mt	1	T	N20E	40	82° E	Ox. Fe Patina	0,5 cm	D	S	LR		
✓ SJ	-	0-6	4	V	0,4 m	0,9 mt	1	T	N20E	45° W-8	0°	S/R	Cerrada	-	S	LR		
✓ SJ	2-3 mm	-11	14	H	1,5 m	1,7 mt	4	N	N50E	84° W-8	78° S	1,20	0,5 cm	S	S	LR		
✓ P	8 cm	11,20	1	H	1,2	1,2 m	1	N	N20E	80° N	74° N	9,7-200	4 cm	S	S	LR		
✓ SJ	-	16-19	3	H	1 mt	1,2 m	1	T	N30W	60° W	50° W	-	-	-	S	R		
✓ SJ	-	19,5-20	9	H	1,5	1,4 m	2	T	N45W	83° S	79° S	-	-	-	S	LR		
✓ SJ	-	20,5-24	6	H	0,5	1,4 m	2	S	N30E	78° W	60° W	-	-	-	S	LR		
✓ SJ	-	-	-	H	-	-	-	-	N50E	80° W	-	-	-	-	-	S	LR	

Unidad Litológica	
Lutitas	LUT
Areniscas	ARE
Píscas Lavas	PWL
Limoilitas	LML
Diques	DIQ
Andesitas	AND
Granitos	GRA
Calizas	CAL

Tipo Discontinuidad	
Diarclas	J
Sets de diarclas	SJ
Fractura	FT
Falla	F
Contacto por falla	CF
Contacto litológico	CL
Zona fracturada	ZF
Zona de cizalle	ZC
Estratificación	PE

SD (Spacing Direction)	
Horizontal	H
Vertical	V
Normal	T

Terminación	
No termina	N
Termina en lado	S
Termina dos lados	T

Esesor	
< 2 [mm]	D
2 - 5 [mm]	H
> 5 [mm]	G

Tipo Relevo	
Arcilla	Arc
Limonilla	Lim
Oxidos Fe	OxFe
Carilla	Cal
Selen	Sel
Brecha Falla	BuF
Schando	Sch
Oro	Or

Calidad	
Seve	S
Duro	D

Condición Agua	
Seco	S
Humedo	H
Gotoso	G
Flujo	F

Rugosidad	
Muy rugosa	MR
Rugosa	R
Levemente rugosa	LR
Lisa	L
Polida	P

3 Amchura (Trincheira caa 5)

CARTILLA DE MAPEO DE CELDAS O VENTANAS GEOTÉCNICAS

IDENTIFICACIÓN CELDA (ID):	0360205	FECHA:	29-09-23	MAPEADO POR:	Em. ms	MANTEO DEL TALUD / LADERA:	61°									
COORDENADAS PUNTO CONTROL INICIO:	7956066 (204)	COTA MAPEO:	131	RUMBO TALUD / LADERA:	N75°E	MANTEO MÍNIMO CELDA:										
COORDENADAS PUNTO CONTROL FIN:	7956066 (205)	ANCHO CELDA:	96,5 m	ALTO CELDA:	3,1 m	LARGO MÍNIMO FRACTURA:	3,7									
CARACTERÍSTICAS CELDAS																
Tipo Discontinuidad	Abertura Discontinuidad [cm]	Longitud Línea Corte [m]	Nº Fracturas	SD	Longitud Media [m]	Longitud Máxima [m]	Nº Discont. con Longitud Máxima	Terminación	DOR/RUMBO	DIP/MANTEO	Manteo Mínimo MD	Relleno		Condición Agua	Rugosidad	OBSERVACIONES
												Tipo	Espesor			
JS	1,5	12	20	H	3,0	3,1	18	N	N40W	80°E	65°E	cal	1mm	S	S	LR
JS	1,5	15,5	25	H	2,8	3,1	16	N	N45E	70°NW	60°NW	cal	1mm	S	S	LR
JS	3,0	19,3	3	V	7,6	19,3	1	S	N80E	11°S	9°S	cal	2mm	S	S	MR

IDENTIFICACIÓN CELDA (ID):	Accesor con inicio 0360258	FECHA:	29-09-23	MAPEADO POR:	Em. ms	MANTEO DEL TALUD / LADERA:	80°*									
COORDENADAS PUNTO CONTROL INICIO:	7956101 (209)	COTA MAPEO:	125	RUMBO TALUD / LADERA:	N25W	MANTEO MÍNIMO CELDA:										
COORDENADAS PUNTO CONTROL FIN:	7956095 (210)	ANCHO CELDA:	8 m	ALTO CELDA:	1,8	LARGO MÍNIMO FRACTURA:										
CARACTERÍSTICAS CELDAS																
Tipo Discontinuidad	Abertura Discontinuidad [cm]	Longitud Línea Corte [m]	Nº Fracturas	SD	Longitud Media [m]	Longitud Máxima [m]	Nº Discont. con Longitud Máxima	Terminación	DOR/RUMBO	DIP/MANTEO	Manteo Mínimo MD	Relleno		Condición Agua	Rugosidad	OBSERVACIONES
												Tipo	Espesor			
SJ	1cm	8m	5	H	1,8	2,4	1	S	N70W	68°S	58°S	cal	3mm	S	S	LR
SJ	1cm	8m	6	H	1,6	7,7	1	S	NS	88°W	86°W	cal	3mm	S	S	LR
SJ	3cm	4m	9	V	1,6	7,7	1	S	NS	15°E	9°E	cal	2mm	S	S	MR

Unidad Litológica	
Lutitas	LUT
Areniscas	ARE
Pebón Livos	PWL
Limonitas	LML
Diques	DIQ
Andesitas	AND
Gneiss	GLA
Caleos	CAL

Tipo Discontinuidad	
Dioclasa	J
Sets de dioclasas	SJ
Fractura	FT
Falla	F
Contacto por falla	CF
Contacto litológico	CL
Zona fracturada	ZF
Zona de cisalle	ZC
Estratificación	FE

SD (Spacing Direction)	
Horizontal	H
Vertical	V
Normal	T

Terminación	
No termina	R
Termina un lado	S
Termina dos lados	T

Espesor	
< 2 [mm]	D
2 - 5 [mm]	H
> 5 [mm]	G

Tipo Relleno	
Arcilla	Arc
Limonita	Lim
Oxidos Fe	OxFe
Caliza	Cal
Salos	Sal
Brecha Falla	BuF
Sabanda	Sab
Otro	Ot

Calidad	
Suave	S
Duro	D

Condición Agua	
Seco	S
Humedo	H
Goteo	G
Filjo	F

Rugosidad	
Muy rugosa	MR
Rugosa	R
Levemente rugosa	LR
Lisa	L
Pulida	P

* talud artificial (corte de talud)

CARTILLA DE MAPEO DE CELDAS O VENTANAS GEOTÉCNICAS

IDENTIFICACIÓN CELDA (ID): ① Espalera Planchón
FECHA: 29/07/23
MAPEADO POR: ns/en
MANTENIMIENTO DEL TALUD / LADERA: 87°W

COORDENADAS PUNTO CONTROL INICIO: (1600) 18°28' 814 70°19' 487
COTA MAPEO: 110 msnm
ANCHO CELDA: 2 m
ALTO CELDA: 3 m
MANTENIMIENTO MÍNIMO CELDA: 0°
LARGO MÍNIMO FRACTURA: < 3 cm

CARACTERÍSTICAS CELDAS														OBSERVACIONES			
Tipo Discontinuidad	Abertura Discontinuidad (cm)	Longitud Línea Corteo (m)	Nº Fracturas	SD	Longitud Media (m)	Longitud Máxima (m)	Nº Discot. con Longitud Máxima	Terminación	DCR/RUMBO	DIP/MANTO	Manteno Mínimo MD	Reteno Tipo	Reteno Espesor		Calidad	Condición Agua	Rugosidad
PE	0,1	V	14	V	0,8	2-10	3	T	N40E	10E	0°	SS	0,5 a.	S	S	LR	TODA LA CELDA
V	10 cm	V	1	H	1,7	1,7 mt	1	T	N60E	10E	0°	SS	7 cm	S	S	R	2 a 3,7 mt
V	4 cm	H	1	H	3 mt	3 mt	1	N	NS	90	40°	SS	4 cm	S	S	LR	3,90 mt
V	8 cm	H	5	H	0,7	1, mt	1	T	N60E	60°S	45°S	SS	3 mt	S	S	LR	4,4 - 6 mt
V	4 cm	V	4	V	2,5	2 mt	1	T	N40E	7°E	0°	SS/SAL	3 mt	S	S	LR	4,70 mt
GR	10 mt	H	26	H	0,02	0,50 a	2	T	NS°E	07°S	04°S	SS	0,10 mt	S	S	LR	4 a E, 1 C mt

F = 5123
5122
5121

IDENTIFICACIÓN CELDA (ID): ② Trinchera
FECHA: 28-9-23
MAPEADO POR: en/ns
MANTENIMIENTO DEL TALUD / LADERA: 80°N

COORDENADAS PUNTO CONTROL INICIO: (1602) 18°28' 868 70°19' 445
COTA MAPEO: 131 msnm
ANCHO CELDA: 16,5
ALTO CELDA: 3,2 mt
MANTENIMIENTO MÍNIMO CELDA: 0°
LARGO MÍNIMO FRACTURA: 1,5 mt 10 cm

CARACTERÍSTICAS CELDAS														OBSERVACIONES			
Tipo Discontinuidad	Abertura Discontinuidad (cm)	Longitud Línea Corteo (m)	Nº Fracturas	SD	Longitud Media (m)	Longitud Máxima (m)	Nº Discot. con Longitud Máxima	Terminación	DCR/RUMBO	DIP/MANTO	Manteno Mínimo MD	Reteno Tipo	Reteno Espesor		Calidad	Condición Agua	Rugosidad
ST	1 cm	H	7	H	3 mt	6 mt	2	N	N80°W	60°S	48°S	SS	2 mt	S	S	LR	0 - 8 mt
SJ	2 cm	V	4	V	2,7 mt	3-10 mt	2	T	N30W	17°E	5°E	Y	3 mt	S	S	LR	4 - 8-4 mt
F	10 mt	H	1	H	3 mt	3 mt	1	N	N°00W	86°S	70°S	SALB	3 cm	S	S	LR	5-7 mt
V	5 mt	H	1	V	3-7	3-7	1	T	N70E	N70E	51°N	cal	3 cm	S	S	R	5-11 mt
SJ	1 mt	H	15	H	2 mt	3 mt	10	S	N80W	86°W	80°W	cal	1 cm	S	S	L	5-12 mt
SJ	10 mt	H	9	H	3,5	3,5	1	N	NS°E	80°E	65°E	Y	0,5 mt	S	S	L	3-12, 4 mt
SJ	3 mt	H	1	H	3	3	1	N	N10E	81°S	78°S	Y	10 mt	S	S	LR	1 mt
SJ	3 mt	H	5	H	3	3,6	3	S	U20W	40	85°S	Y	0,5	S	S	L	11,5 - 16
SJ	1 mt	V	4	V	4,6	3,9	4	T	N15E	21°E	15°E	Y	4 m mm	S	S	LR	11 - 16

F = (5125)
5124

Unidad Litológica	
Lutitas	LUT
Areniscas	ARE
Flecos Leves	PWL
Litofitas	LML
Diques	DIQ
Andesitas	AND
Gravas	GRA
Calizas	CAL

Tipo Discontinuidad	
Diaclasis	J
Seto de diaclasis	SJ
Fractura	FT
Falla	F
Contacto por falla	CF
Contacto litológico	CL
Zona fracturada	ZF
Zona de coales	ZC
Extruficación	FE

SD (Spacing Direction)	
Horizontal	H
Vertical	V
Normal	T

Terminación	
No termina	N
Termina un lado	S
Termina dos lados	T

Espesor	
< 3 [mm]	D
2 - 5 [mm]	M
> 5 [mm]	G

Tipo Reteno	
Arcilla	Arc
Limonita	Lim
Oxidos Fe	OxFe
Caliza	Cal
Sales	Sal
Srecha Falla	BuF
Sabandía	Sab
Otro	Ot

Calidad	
Suave	S
Duro	D

Condición Agua	
Seco	S
Húmedo	H
Goteo	G
Filto	F

Rugosidad	
Muy rugosa	MR
Rugosa	R
Levemente rugosa	LR
Lisa	L
Pulida	P

veta V
Grutas GR

Sales Solubles SS
yeso (Y)

④ 181
⑤ 182
⑥ 179

CARTILLA DE MAPEO Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE DISCONTINUIDADES MAYORES									
UBICACIÓN, FECHA Y RESPONSABLES									
Mapeado por: 175/ET		Ubicación referencial: Zona Sector turístico			Coordenadas GPS: 1598 (1595)				
Fecha: 28/9/23		Unidad (es) que atraviesa discontinuidad: U-6			Precisión coordenadas: Exactas [] Aproximadas [x]				
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA DISCONTINUIDAD									
TIPO DISCONTINUIDAD		POSICIÓN / ACTITUD 4 5			ESQUEMA U-6				
Falla mayor		Rumbo 1	NS N10W	N65W N50E					
Grieta	X	Manteo 1	30 76S	90 75 N					
Contacto estratigráfico	X	Rumbo 2	N10W N20W						
Dique		Manteo 2	90 68S	30W					
Plano de estratificación	X	Rumbo 3		10E					
Otro: diaclasa	X	Manteo 3							
SINUOSIDAD 2 3 4 5		ESPAESOR Y HALO DE FRACTURAMIENTO			<p>ESCALA 1:500</p>				
Sinuosa varias direcciones	X	Espesor mínimo discontinuidad [cm]							
Sinuosa una dirección		Espesor máximo discontinuidad [cm]							
Curva		Zona fracturada asociada [cm]							
Ligeramente ondulada		Espesor halo fracturado bloque colgante [cm]							
Recta	X	Espesor halo fracturado bloque yacente [cm]							
APERTURA									
Zig-zag o dentada regular		Apertura [cm]							
Dentada irregular	X	Espesor del relleno [cm]							
Otro:									
ALTERACIÓN DE LAS PAREDES		TIPO DE RELLENO (S) 4 5 6			<p>OBSERVACIONES</p>				
No alterada	X	Salbanda							
Levemente alterada	X	Brecha de falla							
Moderadamente alterada	X	Arcillas							
Altamente alterada	X	Cuarzo							
Completamente alterada	X	Calotta							
CONDICIÓN DE AGUA					<p>REGISTRO FOTOGRÁFICO 9117 5116 5115 5118 5119 5120</p>				
Completamente seca	X	Relleno artificial							
Completamente húmeda		Gravas:							
Humedad parcial		Otro: S/R							
<p>① N40E/88°S. Diaclasa continua contra P.110w. Recta, Curvada.</p> <p>② N20W/78°S Fractura abierta (110cm) tipo grieta. Dentada.</p> <p>③ Grieta discontinua que se abre en varias direcciones. NS/85W</p> <p>④ Diaclasa recta continua N40E/75°N. Límite U-6 - U7. Poco continua hacia CUTERAS</p> <p>⑤ Estratificación subhorizontal.</p> <p>⑥ Fractura que abre sobre veses. EW/30 mismo nivel</p>									

GPS dirección
 ① 188
 ② 186
 ③ 187
 ④ 189
 ⑤ 190
 ⑥ 184 / 185

TIPO DISCONTINUIDAD		DISPOSICIÓN / ACITUD		5		6	
Falla mayor		Rumbo 1	N 55 W	N 15 E	N 20 E	80 W	10 E
Grieta	X	Manteo 1	80 N	90	80 S	75 N	90
Contacto estratigráfico		Rumbo 2	N 60 W	N 20 E	85	EW	N 10 E
Dique		Manteo 2	60 N	85 W	90	60 N	80 S
Plano de estratificación		Rumbo 3					
Otro:	Diabasa continua X	Manteo 3					
SINUOSIDAD		ESPESOR Y HALO DE FRACTURAMIENTO					
Sinuosa varias direcciones		Espesor mínimo discontinuidad [cm]					
Sinuosa una dirección		Espesor máximo discontinuidad [cm]					
Curva		Zona fracturada asociada [cm]					
Ligeramente ondulada		Espesor halo fracturado bloque colgante [cm]					
Recta		Espesor halo fracturado bloque vacante [cm]					
Zig-zag o dentada regular		APERTURA					
Dentada irregular		Apertura [cm]					
Otro:		Espesor del relleno [cm]					
ALTERACIÓN DE LAS PAREDES		TIPO DE RELLENO (S)					
No alterada		Salbando					
Levemente alterada		Brecha de falla					
Moderadamente alterada		Arcillas					
Altamente alterada		Cuarzo					
Completamente alterada		Calcita					
CONDICIÓN DE AGUA		TIPO DE RELLENO (S)					
Completamente seca		Sales solubles patinos X					
Completamente húmeda		Relleno artificial					
Humedad parcial		Gravas					
Otro:		Evaporación X					

OBSERVACIONES	
①	Grieta - fractura. Continua. A biesta. Tiene sistema paralelo. N 15 E / 90. Irregular. Abierta.
②	N 55 W / 80 N Grieta. Dentada. Abierta. Continua. Con Llutitas y pilas (N 60 W / 60 N)
③	N 30 E / 78 S. Diabasa continua. Recta y con bloques abiertos. Límite N de arena. Levemente sinuosa. (Tb N 5 / 90)

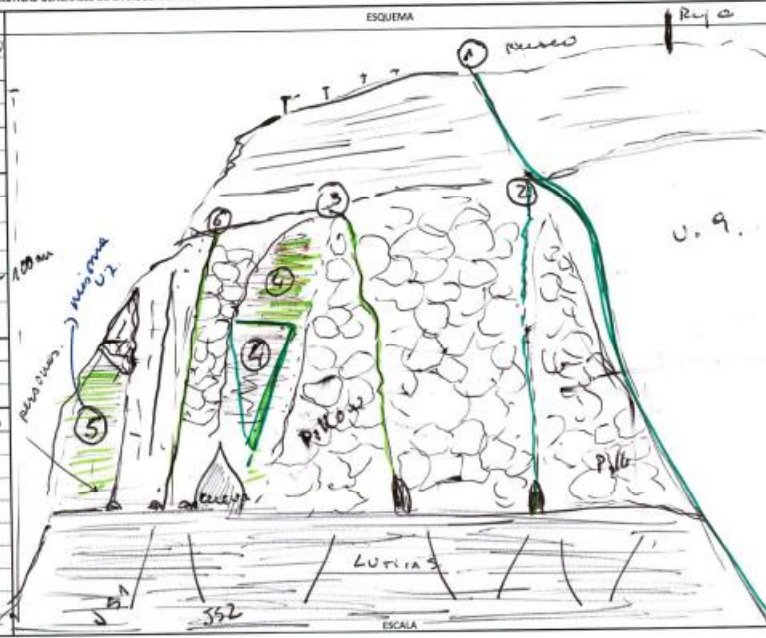
REGISTRO FOTOGRÁFICO	
5114 / 5113 / 5112 / 5111	5110 (U.B. + RUCA)

①	Fractura continua, sinuosa e irregular. Límite curva. N 70 W / 60 N Patinos solos y guano.
②	N 5 / 90 - 80 S. Fractura sinuosa. continua caverna. Semi sinuosa. " " "
③	N 70 W / 80 N Diabasa continua. Límite bloques abiertos.
④	Grieta N 60 E / 50 N Dentada. Con Llutitas y solo medio lecho pilas

CARTILLA DE MAPEO Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE DISCONTINUIDADES MAYORES					
UBICACIÓN, FECHA Y RESPONSABLES (1586)					
Mapeado por: EN.MS	Ubicación referencial: Morro Morro	Coordenadas GPS: 18°28,807		70°19,495	
Fecha: 27.9.23	Unidad (es) que atraviesa discontinuidad: 8	Precisión coordenadas: Exactas (X)		Aproximadas (.....)	
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA DISCONTINUIDAD					
TIPO DISCONTINUIDAD	DISPOSICIÓN / ACTITUD		ESQUEMA		
Falla mayor	X	Rumbo 1: N50E			
Grieta		Manteo 1: 30			
Contacto estratigráfico		Rumbo 2: N60E			
Dique		Manteo 2: 30			
Plano de estratificación		Rumbo 3:			
Otro:		Manteo 3:			
SINUOSIDAD	ESPESOR Y HALO DE FRACTURAMIENTO		ESCALA		
Sinuosas varias direcciones	X	Esesor mínimo discontinuidad [cm]: 10cm	<p>largo de discontinuidad 6,5 m en superficie</p>		
Sinuosas una dirección		Esesor máximo discontinuidad [cm]: 10cm			
Curva		Zona fracturada asociada [cm]: 20cm			
Ligeramente ondulada		Esesor halo fracturado bloque colgante [cm]:			
Recta		Esesor halo fracturado bloque yacente [cm]:			
Zig-zag o dentado regular		APERTURA			
Dentado irregular	X	Apertura [cm]: -			
Otro:		Esesor del relleno [cm]:			
ALTERACIÓN DE LAS PAREDES	TIPO DE RELLENO (S)				
No alterada		Sabánas			
Levemente alterada	X	Brecha de falla			
Moderadamente alterada		Arcillas			
Altamente alterada		Cuarzo			
Completamente alterada		Calcita			
CONDICIÓN DE AGUA					
Completamente seca	X	Sales solubles			
Completamente húmeda		Relleno artificial			
Humedad parcial		Gravas:			
		Otro: ox. Fe. limo.			
OBSERVACIONES					
Plano continuo, sinuoso, con escape de 10 cm hacia com. zona de grietas. El plano tiene relleno sales solubles, calcita y ox. Fe. limo. U.B.					
REGISTRO FOTOGRAFICO	9054	9053	9052	9051	9050

(605) ① 194 ④ 191
 ② 193 ⑤
 ③ 195 ⑥ 192

CARTILLA DE MAPEO Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE DISCONTINUIDADES MAYORES											
UBICACIÓN, FECHA Y RESPONSABLES (1546)											
Mapeado por: <u>EN / MS</u>		Ubicación referencial: <u>Unidad B - Costanera</u>		Coordenadas GPS: <u>18°28'750</u> , <u>70°19'536</u>							
Fecha: <u>28.9.23</u>		Unidad (es) que atraviesa discontinuidades: <u>Unidad B (frente Puerto)</u>		Precisión coordenadas: Exactas (.....) Aproximadas (X)							
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA DISCONTINUIDAD											
TIPO DISCONTINUIDAD		A		Z		DISPOSICIÓN / ACTUAD		S		G	
Falla mayor	X	Rumbo 1	N5	N 10° N40W	N5°E	N20°	N55W				
Grieta	X	Manteo 1	80°S	85°S	80°S	90°	85°S	70°W			
Contacto estratigráfico	X	Rumbo 2									
Dique		Manteo 2									
Plano de estratificación	X	Rumbo 3									
Otro:	<u>planchas / fract.</u>	Manteo 3									
SINUSIDAD		ESPAZOR Y HALO DE FRACTURAMIENTO		APERTURA		ALTERACIÓN DE LAS PAREDES		CONDICIÓN DE AGUA		OTRO	
Sinuosas varias direcciones	X	Esesor mínimo discontinuidad [cm]		Apertura [cm]		No alterada		Completamente seca	X		
Sinuosas una dirección		Esesor máximo discontinuidad [cm]		Esesor del relleno [cm]		Levemente alterada		Completamente húmeda			
Curva		Zona fracturada asociada [cm]				Moderadamente alterada		Humedad parcial			
Ligeramente ondulada		Esesor halo fracturado bloque colgante [cm]				Altamente alterada					
Recta		Esesor halo fracturado bloque vacante [cm]				Completamente alterada					
Zig-zag o dentada regular	X										
Dentada irregular	X										
Otro:											



① Falla mayor con grieta. Limita U. B y 9. Continúa como grieta en cima (Rusco). Sinuosa. N5/60°S
 ② Diaclasa larga que corta 90° pilas. Rugosa. N70W/85°S
 ③ Fractura rellena con limo. Corta hasta Pilas. N40W/80°S. Relleno 20 cm. sales.

REGISTRO FOTOGRÁFICO: 5102 - 5102 / 5103 - 5104 5105 5106

④ Falla (plano limpio) continuo. N15E/90
 ⑤ Plano (diaclasa continua) limpio recto N20E/85°S. } Lutitas
 ⑥ Diaclasas largas N55W/70°N
 551 = N20E/85°S
 552 = N20W/90°

CARTILLA DE MAPEO Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE DISCONTINUIDADES MAYORES			
UBICACIÓN, FECHA Y RESPONSABLES			
Mapeado por: EN - NS.	Ubicación referencial: Plano Tuzeso	1587	
Fecha: 27-9-23	Unidad (es) que atraviesa discontinuidad: U8	Coordenadas GPS: 18° 28,800'	70° 19,490'
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA DISCONTINUIDAD		Precisión coordenadas: Exactas <input checked="" type="checkbox"/> Aproximadas (.....)	
TIPO DISCONTINUIDAD	DISPOSICIÓN / ACTITUD		ESQUEMA
Falla mayor	Rumbo 1	N70E	<p>Continuidad en superficie. 4m.</p>
Grieta	Manteo 1	N70E N90E	
Contacto estratigráfico	Rumbo 2		
Dique	Manteo 2		
Plano de estratificación	Rumbo 3	N80W	
Otro:	Manteo 3		
SINUOSIDAD		ESPESOR Y HALO DE FRACTURAMIENTO	
Sinuosa varias direcciones		Espesor mínimo discontinuidad [cm]	
Sinuosa una dirección		Espesor máximo discontinuidad [cm]	
Curva		Zona fracturada asociada [cm]	
Ligeramente ondulada		Espesor halo fracturado bloque coligante [cm]	
Recta		Espesor halo fracturado bloque yacente [cm]	
Zig-zag o dentada regular		APERTURA	
Dentada irregular	<input checked="" type="checkbox"/>	Apertura (cm)	6 cm 3 cm
Otro:		Espesor del relleno [cm]	S/R
ALTERACIÓN DE LAS PAREDES		TIPO DE RELLENO (S)	
No alterada		Salbands	
Ligeramente alterada	<input checked="" type="checkbox"/>	Brecha de falla	
Moderadamente alterada		Arcillas	
Altamente alterada		Cuarzo	
Completamente alterada		Calcita	
CONDICIÓN DE AGUA			
Completamente seca	<input checked="" type="checkbox"/>	Sales solubles	<input checked="" type="checkbox"/>
Completamente húmeda		Relleno artificial	
Humedad parcial		Gravas:	
		Otro:	algo de sales que si molleó
OBSERVACIONES			
<p>Zona de grietas abiertas debidas del Tuzeso. Grietas profundas (> 60 cm) cubiertas en parte, pero se conectan entre si. Zona crítica. Grietas // a sistemas de diaclasas. F3 5059 - 5055 la zona de grietas combinadas se extiende hasta 1588 (GPS)</p>			
REGISTRO FOTOGRAFICO			

CARTILLA DE MAPEO Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE DISCONTINUIDADES MAYORES					
UBICACIÓN, FECHA Y RESPONSABLES					
Mapeado por: <i>cm, MS</i>		Ubicación referencial: <i>Puerto Muñoz M. Litor</i>		Coordenadas GPS: <i>0360121, 7956195 (457)</i>	
Fecha: <i>12.09.23</i>		Unidad (es) que atraviesa discontinuidad: <i>a la v8</i>		Precisión coordenadas: Exactas <input checked="" type="checkbox"/> Aproximadas (.....)	
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA DISCONTINUIDAD					
TIPO DISCONTINUIDAD	DISPOSICIÓN / ACTIVIDAD		ESQUEMA		
Falla mayor		Rumbo 1: <i>N18°E</i>			
Orleta	<input checked="" type="checkbox"/>	Manteo 1			
Contacto estratigráfico		Rumbo 2			
Dique		Manteo 2			
Plano de estratificación		Rumbo 3			
Otro:		Manteo 3			
SINUOSIDAD	ESPESOR Y HALO DE FRACTURAMIENTO				
Sinuosa varias direcciones		Espesor mínimo discontinuidad [cm]			
Sinuosa una dirección		Espesor máximo discontinuidad [cm]			
Curva		Zona fracturada asociada [cm]			
Ligeramente ondulada	<input checked="" type="checkbox"/>	Espesor halo fracturado bloque colgante [cm]			
Recta		Espesor halo fracturado bloque yacente [cm]			
Zig-zag o dentada regular	APERTURA				
Dentada irregular		Apertura [cm]	<i>35</i>		
Otro:		Espesor del relleno [cm]	<i>510</i>		
ALTERACIÓN DE LAS PAREDES	TIPO DE RELLENO (S)				
No alterada		Sabanda			
Levemente alterada	<input checked="" type="checkbox"/>	Brecha de falla			
Moderadamente alterada		Arenillas			
Altamente alterada		Cuarzo			
Completamente alterada		Caliza			
CONDICIÓN DE AGUA	TIPO DE RELLENO (S)				
Completamente seca	<input checked="" type="checkbox"/>	Sales solubles			
Completamente húmeda		Relleno artificial			
Humedad parcial		Gravas:			
		Otro:			
OBSERVACIONES					
<p><i>- Sist. de diacloros paralelos a las fracturas.</i></p> <p><i>- Sist. de fracturas forman bloques preformados. No sabemos montos desde la superficie</i></p>					
REGISTRO FOTOGRÁFICO	<i>400</i>	<i>500</i>	<i>501</i>	<i>102</i>	<i>503</i>

GPS estructuras
 ① 200 ④ 197
 ② 199 ⑤ pared (noa noja)
 ③ 196 ⑥ 198

TIPO DISCONTINUIDAD		DISPOSICIÓN / ACTITUD			ESQUEMA
1	2	3	4		
Falla mayor		N70E	N70W	N20E	
Grieta	X	Manteo 1	88W	80S	
Contacto estratigráfico		Rumbo 2	N85E	N95E	
Dique	X	Manteo 2	55W	97W	
Plano de estratificación		Rumbo 3			
Otro: fractura	X	Manteo 3			
SINUSOIDAL		ESPESOR Y HALO DE FRACTURAMIENTO			
Sinuada varias direcciones	X	Espesor mínimo discontinuidad [cm]			
Sinuada una dirección		Espesor máximo discontinuidad [cm]			
Curva		Zona fracturada asociada [cm]			
Ligeramente ondulada		Espesor halo fracturado bloque colgante [cm]			
Recta	X	Espesor halo fracturado bloque yacente [cm]			
Zig-zag o dentado regular		APERTURA			
Dentada irregular	X	Apertura [cm]		(6) 0,5 mt	
Otro:		Espesor del relleno [cm]			
ALTERACIÓN DE LAS PAREDES		TIPO DE RELLENO (S)			
No alterada		Salbanda			
Ligeramente alterada	X	Brecha de falla			
Moderadamente alterada	X	Arcillas			
Altamente alterada	X	Cuarzo			
Completamente alterada	X	Calcita			
CONDICIÓN DE AGUA		Sales solubles			
Completamente seca	X	Relleno artificial			
Completamente húmeda		Gravas			
Humedad parcial		Otro:			

OBSERVACIONES

① Dique (límite U4-10) N70E/68W
 ② Diaclasta continua N75E/81S. Corte diques y secuencia superior
 ③ Fractura-grieta N70E/80S Hay mas de una = U9. F.-12
 ④ Falla. N5/65S/1

J51 - Grietas y diaclasas N95E/86S
 J52 - estratif.
 J53 - parcelito a casa NS/
 J54 -

⑤ Plano recto que limita parte superior alterado. Continuo. N5E/90

⑥ Grieta abierta continua hasta arriba N60W/80N Pto 170 GPS xterrae

CARTILLA DE MAPEO Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE DISCONTINUIDADES MAYORES			
UBICACIÓN, FECHA Y RESPONSABLES			
Mapeado por: EM - M.S	Ubicación referencial: al costado del busto militar	Coordenadas GPS: 360086	7956034 (155)
Fecha: 27.09.23	Unidad (es) que atraviesa discontinuidad: U-09	Precisión coordenadas: Exactas (<input checked="" type="checkbox"/>)	Aproximadas (.....)
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA DISCONTINUIDAD			
TIPO DISCONTINUIDAD	DISPOSICIÓN / ACTITUD		ESQUEMA
Falla mayor	Rumbo 1	NS	
Grieta	Manteco 1	87°	
Contacto estratigráfico	Rumbo 2		
Dique	Manteco 2		
Plano de estratificación	Rumbo 3		
Otro:	Manteco 3		
SINUOSIDAD	ESPESOR Y HALO DE FRACTURAMIENTO		
Sinuada varias direcciones	Espesor mínimo discontinuidad [cm]	60	
Sinuada una dirección	Espesor máximo discontinuidad [cm]	110	
Curva	Zona fracturada asociada [cm]	48	
Ligeramente ondulada	Espesor halo fracturado bloque coligante [cm]		
Recta	Espesor halo fracturado bloque yacente [cm]		
APERTURA			
Zip-zag o dentada regular	Apertura [cm]		
Dentada irregular	Apertura [cm]		
Otra:	Espesor del relleno [cm]		
ALTERACIÓN DE LAS PAREDES	TIPO DE RELLENO (S)		
No alterada	Sabanda		
Levemente alterada	Brecha de falla		
Moderadamente alterada	Arcillas		
Altamente alterada	Cuarzo		
Completamente alterada	Caliza		
CONDICIÓN DE AGUA			
Completamente seca	Sales solubles		
Completamente húmeda	Relleno artificial		
Humedad parcial	Gravas:		
Otro:			
OBSERVACIONES			
<p>- fractura rellena con cemento, casaca, alambres y goma (caudao) - Poca dirección NS y su manteco 87° - El relleno solo se encuentra en el inicio. Una vez se llega al cuerpo, este queda firme natural</p>			
REGISTRO FOTOGRÁFICO	488	489	490

CARTILLA DE MAPEO Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE DISCONTINUIDADES MAYORES				
UBICACIÓN, FECHA Y RESPONSABLES (1582)				
Mapeo por: EM - NS		Ubicación referencial: Cima Morro, al S Museo		
Fecha: 27-9-23		Coordenadas GPS: 18°28,842', 70°19,508' (a 2m del =)		
Unidad (es) que atraviesa discontinuidad: U-9		Precisión coordenadas: Exactas (.....) Aproximadas (X)		
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA DISCONTINUIDAD				
TIPO DISCONTINUIDAD	DISPOSICIÓN / ACTITUD		ESQUEMA	
Falla mayor	Rumbo 1: rumbo NS			
Grieta	Marteo 1: 80-75 W			
Contacto estratigráfico	Rumbo 2: grietas N20E			
Dique	Marteo 2:			
Plano de estratificación	Rumbo 3:			
Otro:	Marteo 3:			
SINUSIDAD		ESPESOR Y HALO DE FRACTURAMIENTO		
Sinúosa varias direcciones	X	Espesor mínimo discontinuidad [cm]	<p>abiertas W</p> <p>~ 70 cm. 1m</p> <p>abiertas</p>	
Sinúosa una dirección		Espesor máximo discontinuidad [cm]		
Curva		Zona fracturada asociada [cm]		
Ligeramente ondulada		Espesor halo fracturado bloque colgante [cm]		
Recta		Espesor halo fracturado bloque yacente [cm]		
Zig-zag o dentada regular	X	APERTURA		
Dentada irregular		Apertura [cm]		
Otro:		Espesor del relleno [cm]		
ALTERACIÓN DE LAS PAREDES		TIPO DE RELLENO (S)		
No alterada		Sabandía		
Levemente alterada		Brecha de falla		
Moderadamente alterada	X	Arcillas		
Altamente alterada		Cuarzo		
Completamente alterada		Calcita		
CONDICIÓN DE AGUA				
Completamente seca	X	Sales solubles		
Completamente húmeda		Relleno artificial		
Humedad parcial		Gravas:		
		Otro:		
OBSERVACIONES				
<p>Grieta de tensión en afloramiento rocoso en la cima del Morro, entre monumento Soldado y Museo, justo entre embos. El afloramiento (volcánico) tiene grietas abiertas (1 mt) activas pues monitores de rullero está abierto. Zona crítica</p>				
REGISTRO FOTOGRÁFICO				

GPS estructuras
① 202 ② 201
③ 200 ④ 4

CARTILLA DE MAPEO Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE DISCONTINUIDADES MAYORES			
UBICACIÓN, FECHA Y RESPONSABLES		1594 referencial!	
Mapeado por: EM - MS	Ubicación referencial: Detrás Monumento Playa Surf	Coordenadas GPS: 18° 28' 928"	70° 19' 617"
Fecha: 28.9.23	Unidad (es) que atraviesa discontinuidad: U-10	Precisión coordenadas: Exactas () Aproximadas (X) a distancia.	
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA DISCONTINUIDAD			
TIPO DISCONTINUIDAD 1 2	DISPOSICIÓN ① ②	ESQUEMA	
Falla mayor	Rumbo 1 N60E N40E		
Grieta	Manteo 1 73 N 58 SW		
Contacto estratigráfico	Rumbo 2 N65 E N35 E		
Dique	Manteo 2 70 N 78 W		
Plano de estratificación	Rumbo 3 N40E		
Otro: Diablosa larga x	Manteo 3 76 N		
SINUOSIDAD	ESPESOR Y HALO DE FRACTURAMIENTO 1 2	ESCALA	
Sinuosa varias direcciones	Espesor mínimo discontinuidad [cm]		
Sinuosa una dirección	Espesor máximo discontinuidad [cm]		
Curva	Zona fracturada asociada [cm]		
Ligeramente ondulada	Espesor halo fracturado bloque colgante [cm]		
Recta	Espesor halo fracturado bloque yacente [cm]		
Zig-zag o dentada regular	APERTURA 1 2		
Dentada irregular	Apertura [cm] 5 cm	OBSERVACIONES	
Otro: Diablosa larga x	Espesor del relleno [cm]		
ALTERACIÓN DE LAS PAREDES	TIPO DE RELLENO (S)		
No alterada	Selbando	<p>① Diablosa larga (Falla?) corta recurrente irregular. hasta RM. = U11-F4</p> <p>② Dique (límite U-10 - U-9) sinuoso. Muy fracturado.</p> <p>U-10 = U11-J53</p> <p>③ Diablosa recta con relleno sales solubles. tecto. EW/78 N</p>	
Levemente alterada	Brecha de falla		
Moderadamente alterada	Arcillas		
Altamente alterada	Cuarzo		
Completamente alterada	Calcita		
CONDICIÓN DE AGUA	Sales solubles		
Completamente seca	Relleno artificial	REGISTRO FOTOGRÁFICO	
Completamente húmeda	Gravas:	5040	5041
Humedad parcial	Otro: Relleno	5042	

④ Diablosa larga que corta dique. U11-J56 N80W/80S relleno sales solubles

① 204
② 205
③ 203

④ 202
⑤ 206

CARTILLA DE MAPEO Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE DISCONTINUIDADES MAYORES	
UBICACIÓN, FECHA Y RESPONSABLES	
Mapeo por: EM-M5	Ubicación referencial: Unidad 11 - al 5 Playa Surf
Fecha: 29-9-23	Coordenadas GPS: (14593) 18° 28,993 / 70° 19,590
Unidad (es) que atraviesa discontinuidades: U-11	
Precisión coordenadas: Exactas (.....) Aproximadas (X)	
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA DISCONTINUIDAD	
TIPO DISCONTINUIDAD ES	DISPOSICIÓN / ACTITUD
Falla mayor	Rumbo 1
Grieta	Manteo 1
Contacto estratigráfico	Rumbo 2
Dique	Manteo 2
Plano de estratificación	Rumbo 3
Otro:	Manteo 3
SINUOSIDAD	ESPAESOR Y HALO DE FRACTURAMIENTO
Sinuosa varias direcciones	Espesor mínimo discontinuidad [cm]
Sinuosa una dirección	Espesor máximo discontinuidad [cm]
Curva	Zona fracturada asociada [cm]
Ligeramente ondulada	Espesor halo fracturado bloque colgante [cm]
Recta	Espesor halo fracturado bloque yacente [cm]
Ogival o dentada regular	APERTURA
Dentada irregular	Apertura [cm]
Otro:	Espesor del relleno [cm]
ALTERACIÓN DE LAS PAREDES	TIPO DE RELLENO (S)
No alterada	Selbando
Ligeramente alterada	Brecha de falla
Moderadamente alterada	Arcillas
Altamente alterada	Cuarzo
Completamente alterada	Calcita
CONDICIÓN DE AGUA	
Completamente seca	Seles solubles
Completamente húmeda	Relleno artificial
Humedad parcial	Gravas
	Otro:
OBSERVACIONES	
<p>① Falla continua. Corta toda secuencia. Límite dominante. N 60W / 69W. Ondulosa. J5-1 = N 70W / 68W</p> <p>② Plano limpio (falla?) N 10W / 85W. Límite zona fracturada (uevas) - Plano recta. J5-2 = Paralelo a cara = N 30W / 85W</p> <p>③ Fractura continua. EW / 80N. Dentada. Límite Pillow y concavos. J5-3 = N 70W / 70N</p> <p>④ Diaclasa continua (falla?) N 75E / 76°N. Límite dominante del Surf. Corta toda la secuencia. J5-4 = N 35E / 90 (50m de largo)</p> <p>REGISTRO FOTOGRÁFICO: 5085, 5086, 5087, 5088, 5089</p> <p>J5-5 = ESTRATIF. N 15E / 10E</p>	
<p>⑤ Estratificación. N 40E / 15E. Planos de estratificación y sistema asociado.</p> <p>⑥ Diaclasa continua que limita dominante. EW / 65°S. Sinuosa.</p>	

CARTILLA DE MAPEO Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE DISCONTINUIDADES MAYORES			
UBICACIÓN, FECHA Y RESPONSABLES			
Mapeado por: EN MS	Ubicación referencial: Del S del Ojito, Cima Nono (1578)		
Fecha: 27.9.23	Unidad (es) que atraviesa discontinuidad: U-11	Coordenadas GPS: 18° 28' 966" , 70° 19' 486"	
		Precisión coordenadas: Exactas (X) Aproximadas (.....)	
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA DISCONTINUIDAD			
TIPO DISCONTINUIDAD	DISPOSICIÓN / ACTITUD		ESQUEMA
Falla mayor	Rumbo 1	NS	
Grieta	Manteo 1	N55E	
Contacto estratigráfico	Rumbo 2	N75W	
Dique	Manteo 2		
Plano de estratificación	Rumbo 3		
Otro: Veteo X	Manteo 3		
SINUSOIDAD	ESPESOR Y HALO DE FRACTURAMIENTO		
Sinusoia varias direcciones	Espeor mínimo discontinuidad [cm]	5 cm	
Sinusoia una dirección	Espeor máximo discontinuidad [cm]	12 cm	
Curva	Zona fracturada asociada [cm]	-	
Ligeramente ondulada	Espeor halo fracturado bloque colgante [cm]	-	
Recta	Espeor halo fracturado bloque yacente [cm]	-	
Zig-zag o dentada regular	APERTURA		
Dentada irregular	Apertura [cm]		
Otro:	Espeor del relleno [cm]	10 cm	
ALTERACIÓN DE LAS PAREDES	TIPO DE RELLENO (S)		
No alterada	Sabanda		
Levemente alterada	Brecha de falla		
Moderadamente alterada	Arcillas		
Altamente alterada	Cuarzo		
Completamente alterada	Calcita		
CONDICIÓN DE AGUA	Sales solubles		
Completamente seca	Relleno artificial	X	
Completamente húmeda	Gravas:		
Humedad parcial	Otro:		
OBSERVACIONES			ESCALA
<p>Cima Nono con red de fracturas rellenas con sal. Forman enrejado. Son aparentemente fracturas de deformación en el umbrales del Nono, con portales rellenos de sal. Al disolverse relleno, producen</p>			
REGISTRO FOTOGRÁFICO	5025	5030	



Falla 1
Pc: 2

CARTILLA DE MAPEO Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE DISCONTINUIDADES MAYORES					
UBICACIÓN, FECHA Y RESPONSABLES					
Mapeado por: EM: ms	Ubicación referencial: S-paya sulf. U12	Coordenadas GPS: 03559753, 7955839	(164)		
Fecha: 28.09.20	Unidad (es) que atraviesa discontinuidad: U12	Precisión coordenadas: Exactas (.....) Aproximadas (X)			
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA DISCONTINUIDAD					
TIPO DISCONTINUIDAD	DISPOSICIÓN / ACTITUD	ESQUEMA			
Falla mayor <input checked="" type="checkbox"/>	Rumbo 1: N70°W				
Grieta <input type="checkbox"/>	Manteo 1: 71° SW / 55° SW / 45° SW / 30° SW				
Contacto estratigráfico <input type="checkbox"/>	Rumbo 2: N70°W / 71° SW				
Dique <input type="checkbox"/>	Manteo 2: N70°W / 71° SW				
Plano de estratificación <input type="checkbox"/>	Rumbo 3: N70°W / 71° SW				
Otro: 3) Nudo E3	Manteo 3: N70°W / 71° SW				
SINUOSIDAD	ESPESOR Y HALO DE FRACTURAMIENTO				
Sinuosa varias direcciones <input checked="" type="checkbox"/>	Esesor mínimo discontinuidad (cm): 100				
Sinuosa una dirección <input type="checkbox"/>	Esesor máximo discontinuidad (cm): 30				
Curva <input type="checkbox"/>	Zona fracturada asociada (cm):				
Ligeramente ondulada <input type="checkbox"/>	Esesor halo fracturado bloque colgante (cm):				
Recta <input type="checkbox"/>	Esesor halo fracturado bloque yacente (cm):				
APERTURA					
Zig-zag o dentada regular <input type="checkbox"/>	Apertura (cm):				
Dentada irregular <input checked="" type="checkbox"/>	Esesor del relleno (cm): 402 (3) 414				
Otro:					
ALTERACIÓN DE LAS PAREDES	TIPO DE RELLENO (S)				
No alterada <input type="checkbox"/>	Salbanda <input type="checkbox"/>				
Levemente alterada <input type="checkbox"/>	Brecha de falla <input type="checkbox"/>				
Moderadamente alterada <input checked="" type="checkbox"/>	Arzillas <input type="checkbox"/>				
Altamente alterada <input checked="" type="checkbox"/>	Cuarzo <input type="checkbox"/>				
Completamente alterada <input type="checkbox"/>	Calcite <input type="checkbox"/>				
CONDICIÓN DE AGUA					
Completamente seca <input checked="" type="checkbox"/>	Sales solubles <input checked="" type="checkbox"/> X 65% dor				
Completamente húmeda <input type="checkbox"/>	Relleno artificial <input type="checkbox"/>				
Humedad parcial <input type="checkbox"/>	Gravas: <input type="checkbox"/>				
Otro: <input type="checkbox"/>					
OBSERVACIONES		ESCALA			
<p>F1: No se reconocen zonas de fractura asociadas a la falla</p> <p>F2: Plano de estratificación largo, ocupa todo el morro, es decir, mas 120 m de extensión. La fractura es armada, un sistema. No tiene zona de fractura</p>		<p>Plano 3: N70°W / 85° SW</p> <p>N70°W / 70° SW</p> <p>75° NE</p> <p>87° SW</p>			
REGISTRO FOTOGRAFICO					

CARTILLA DE MAPEO Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE DISCONTINUIDADES MAYORES			
UBICACIÓN, FECHA Y RESPONSABLES			
Mapeado por: GA MS	Ubicación referencial: Morro Cima (Expland)	Coordenadas GPS: 48° 29,017'	70° 19,417'
Fecha: 27.3.23	Unidad (es) que atraviesa discontinuidad: U 12	Precisión coordenadas: Exactas (<input checked="" type="checkbox"/>) Aproximadas (.....)	
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA DISCONTINUIDAD			
TIPO DISCONTINUIDAD	DISPOSICIÓN / ACTITUD		ESQUEMA
Falla mayor	Rumbo 1	N15W	<p>Continuidad traspasada en superficie 10 mt.</p> <p>Non varios vetos</p>
Grieta	Manteo 1		
Contacto estratigráfico	Rumbo 2	N30W	
Dique	Manteo 2		
Plano de estratificación	Rumbo 3	N35W	
Otro: Veto <input checked="" type="checkbox"/>	Manteo 3		
SINUSIDAD		ESPESOR Y HALO DE FRACTURAMIENTO	
Sinuosa varias direcciones	<input checked="" type="checkbox"/>	Espesor mínimo discontinuidad [cm]	2 cm
Sinuosa una dirección		Espesor máximo discontinuidad [cm]	10 cm
Curva		Zona fracturada asociada [cm]	± 2 cm
Ligeramente ondulada		Espesor halo fracturado bloque colgante [cm]	
Recta		Espesor halo fracturado bloque yacente [cm]	
APERTURA			
Zig-zag o dentada regular		Apertura [cm]	
Dentada irregular		Apertura [cm]	
Otro:		Espesor del relleno [cm]	
ALTERACIÓN DE LAS PAREDES		TIPO DE RELLENO (S)	
No alterada		Selbando	
Ligeramente alterada		Brecha de falla	
Moderadamente alterada		Arcillas	
Altamente alterada	<input checked="" type="checkbox"/>	Cuarzo	<input checked="" type="checkbox"/>
Completamente alterada		Calcita	<input checked="" type="checkbox"/>
CONDICIÓN DE AGUA			
Completamente seca	<input checked="" type="checkbox"/>	Salas solubles	<input checked="" type="checkbox"/>
Completamente húmeda		Relleno artificial	
Humedad parcial		Gravas:	
		Otro: Ox Fe	<input checked="" type="checkbox"/>
OBSERVACIONES			
<p>Veta (mas de una) con Ox. Fe. calcita, cuarzo. Sinuosas y con alteración.</p>			
REGISTRO FOTOGRAFICO			
<p>5023 5024 5025</p>			

CARTILLA DE MAPEO Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE DISCONTINUIDADES MAYORES			
UBICACIÓN, FECHA Y RESPONSABLES			
Mapeado por: EM - MS	Ubicación referencial: Nono Explanada	Coordenadas GPS: 18° 29,033', 70° 19,411'	(1575)
Fecha: 27.9.23	Unidad (es) que atraviesa discontinuidad: U12 - parte superior Nono	Precisión coordenadas: Exactas (X) Aproximadas (.....)	
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA DISCONTINUIDAD			
TIPO DISCONTINUIDAD	DISPOSICIÓN / ACTITUD		ESQUEMA
Falla mayor	Rumbo 1	NS	<p>Continuidad en superficie expuesta = 4-5 mt.</p>
Grieta	Manteo 1	85 W	
Contacto estratigráfico	Rumbo 2	N20W	
Dique	Manteo 2	?	
Plano de estratificación	Rumbo 3		
Otro: Veta	Manteo 3		
SINUOSIDAD	ESPESOR Y HALO DE FRACTURAMIENTO		
Sinuosa varias direcciones	<input checked="" type="checkbox"/>	Espesor mínimo discontinuidad (cm)	1 cm
Sinuosa una dirección		Espesor máximo discontinuidad (cm)	4 cm
Curva		Zona fracturada asociada (cm)	20 cm
Ligeramente ondulada		Espesor halo fracturado bloque colgante (cm)	12 cm
Recta		Espesor halo fracturado bloque yacente (cm)	8 cm
APERTURA			
Dentada irregular		Apertura (cm)	< 1 cm
Otro:		Espesor del relleno (cm)	2,5 mm
ALTERACIÓN DE LAS PAREDES	TIPO DE RELLENO (S)		
No alterada		Salbanda	
Ligeramente alterada		Brecha de falla	
Moderadamente alterada		Arétilas	.
Altamente alterada	<input checked="" type="checkbox"/>	Cuarzo	o
Completamente alterada		Calita	o
CONDICIÓN DE AGUA			
Completamente seca	<input checked="" type="checkbox"/>	Sales solubles	X
Completamente húmeda		Relleno artificial	
Humedad parcial		Gravas:	
		Otro:	Oxide X
OBSERVACIONES			
<p>Veta que atraviesa parte superior del Nono (corte aureolitas - ureolitas) rellenas con sales solubles, oxide</p>			
REGISTRO FOTOGRAFICO		5021	5022

CARTILLA DE MAPEO Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE DISCONTINUIDADES MAYORES				
UBICACIÓN, FECHA Y RESPONSABLES				
Mapeo por: EN / MS		Ubicación referencial: Morro Sup. la Cruz W. (A, W de N)		
Fecha: 27.9.23		Coordenadas GPS (1574) 18° 29, 045' 70" 19, 413		
Unidad (es) que atraviesa discontinuidad: U13 - Superior		Precisión coordenadas: Exactas (X) Aproximadas (.....)		
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA DISCONTINUIDAD				
TIPO DISCONTINUIDAD	DISPOSICIÓN / ACTITUD		ESQUEMA	
Falla mayor	Rumbo 1	N 80° W	<p>Continuidad visible en superficie = 4 mt</p>	
Grieta	Manteo 1	SV		
Contacto estratigráfico	Rumbo 2	N 65° W		
Dique	Manteo 2	SV		
Plano de estratificación	Rumbo 3	EW		
Otro: Veta X	Manteo 3	SV		
SINUOSIDAD		ESPESOR Y HALO DE FRACTURAMIENTO		
Sinuosas varias direcciones X	Esesor mínimo discontinuidad [cm]	9 cm		
Sinuosas una dirección	Esesor máximo discontinuidad [cm]	17 cm		
Curva	Zona fracturada asociada [cm]	2 cm		
Ligeramente ondulada	Esesor halo fracturado bloque colgante [cm]	65 cm TOTAL		
Recta	Esesor halo fracturado bloque vacante [cm]			
Zig-zag o dentada regular	APERTURA			
Dentada irregular	Apertura [cm]	1-2 cm		
Otro:	Esesor del relleno [cm]	5 cm		
ALTERACIÓN DE LAS PAREDES		TIPO DE RELLENO (S)		
No alterada	Salbando			
Levemente alterada	Brecha de falla			
Moderadamente alterada	Arcillas			
Alzamiento alterado X	Cuarzo			
Completamente alterada	Calcita			
CONDICIÓN DE AGUA				
Completamente seca X	Sales solubles	X		
Completamente húmeda	Relleno artificial			
Humedad parcial	Gravas:			
	Otro: yeso			
OBSERVACIONES				
<p>Vetas EW rellenas con sales, y con alteración a Ox Fe (paredes y halo) ± 1 mt Relleno medianamente ripido (R3) asimétricas</p>				
REGISTRO FOTOGRÁFICO		5018	5019	
			5020	

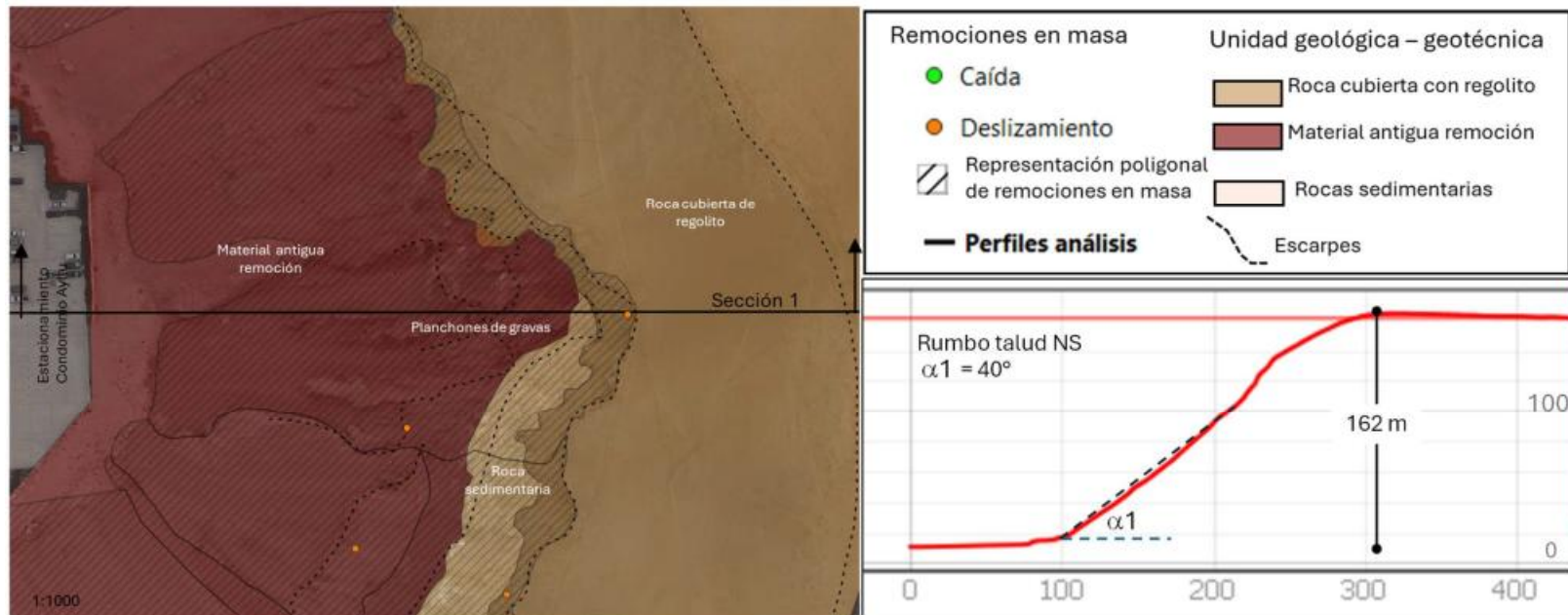
Fotos morro 5017-16



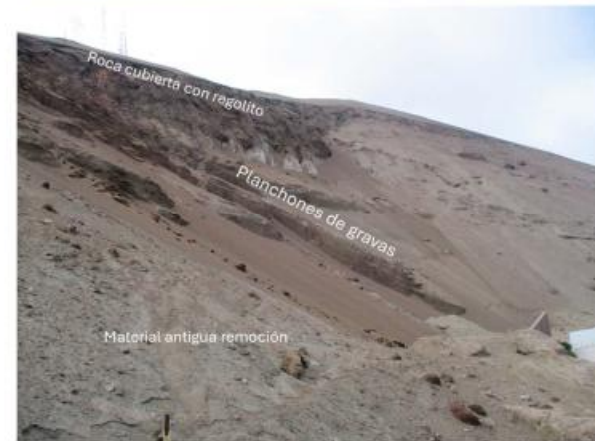
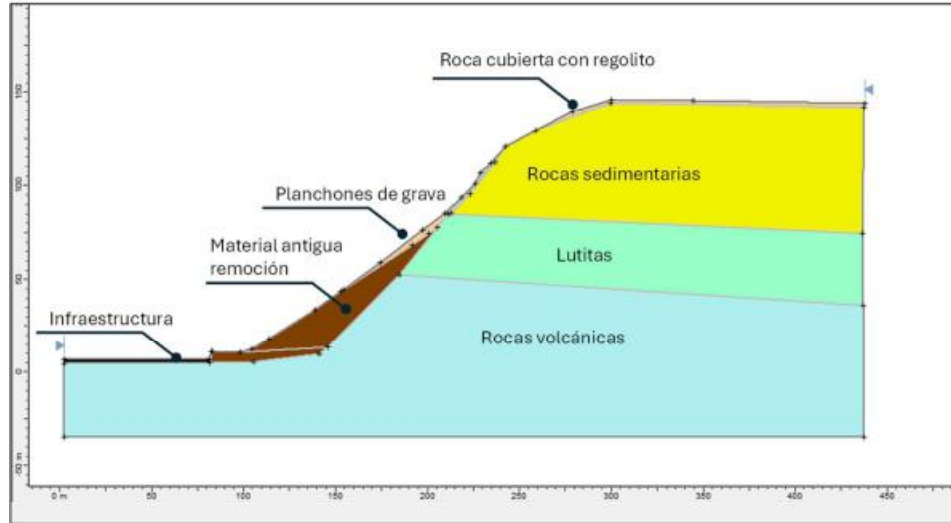
ANEXO A.2 Definición, justificación y características de perfiles de análisis

Sección 1
Perfil Ayllu_U14

Sección definida para evaluar la zona crítica asociada al **talud posterior del condominio Ayllu** con muy alta susceptibilidad a caídas, deslizamientos rotacionales y superficiales. Materiales en su mayoría menos consolidados. Se elabora modelo geotécnico local que incluye planchones de gravas y roca cubierta con guano (a partir de antecedentes de terreno e históricos).

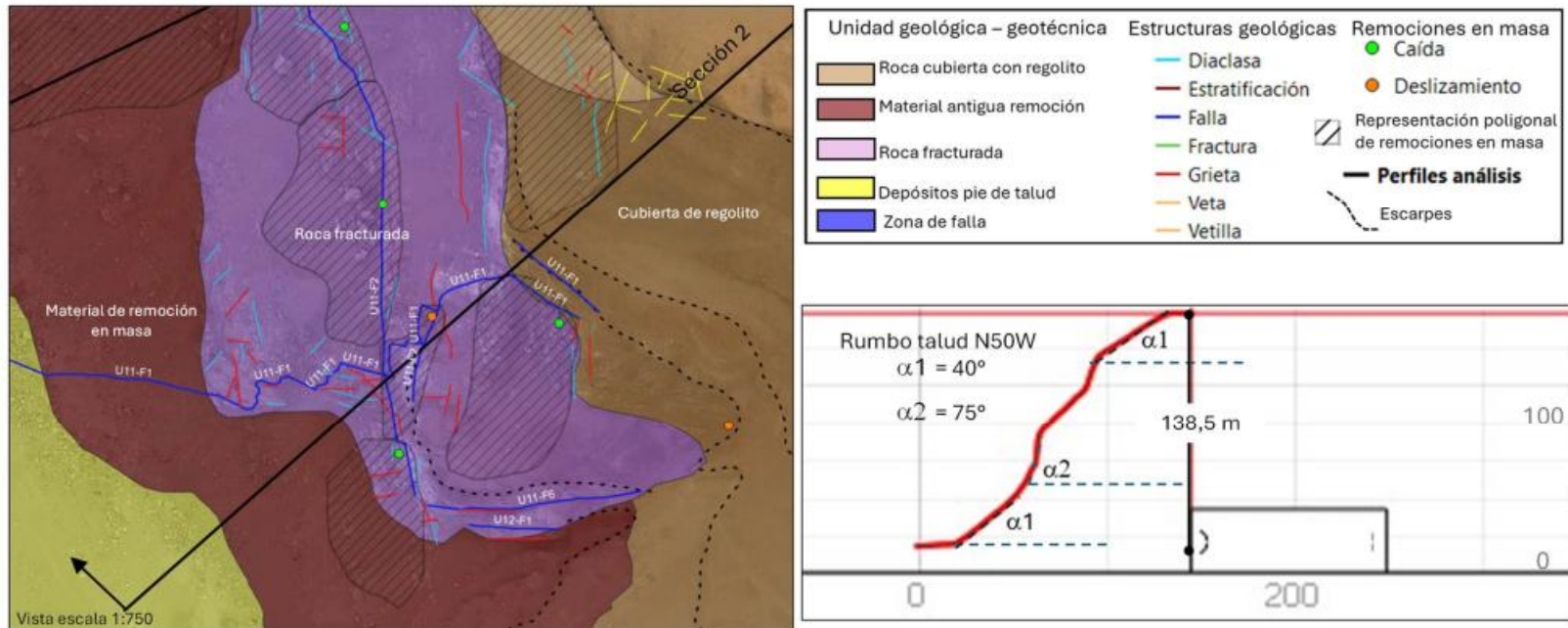


Sección 1
Perfil Ayllu_U14
MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO

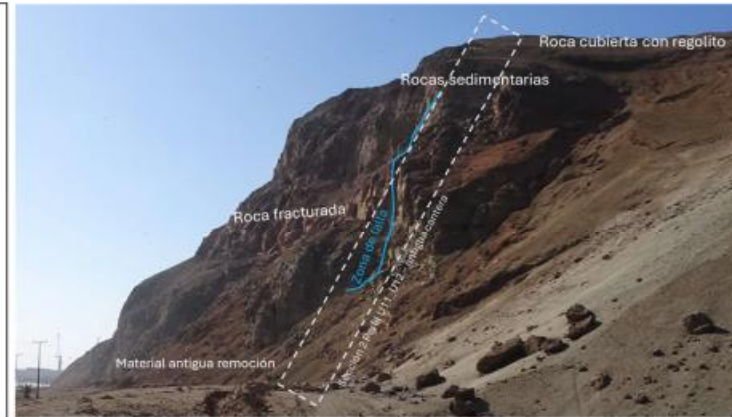
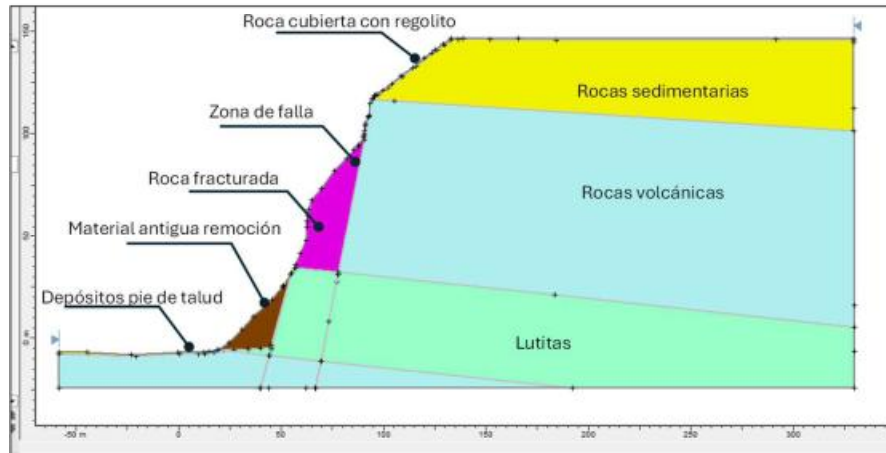


Sección 2
Perfil U11_U12 – antigua cantera

Sección definida en la transición entre cubierta de regolito y roca fracturada por **antigua cantera** (entre unidades 12 y 11). También existen cuevas en el talud. Es una zona **de acceso libre y sin protección, en la que además habitan personas en situación de calle y se usa como basural**. Presenta **fallas y grietas abiertas limitando bloques definiendo una zona crítica**. Presenta muy alta susceptibilidad para caídas, deslizamientos traslacionales y superficiales. Importante control de estructuras geológicas.

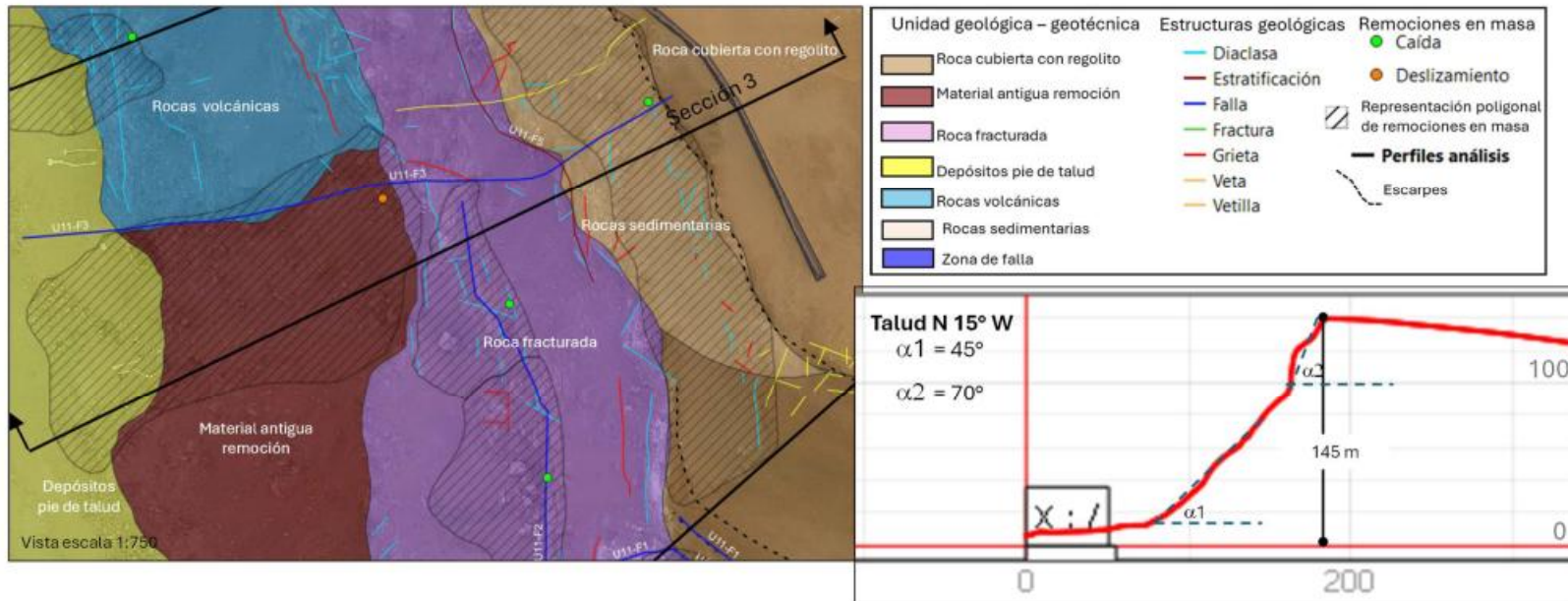


Sección 2
Perfil U11_U12 – antigua cantera
MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO



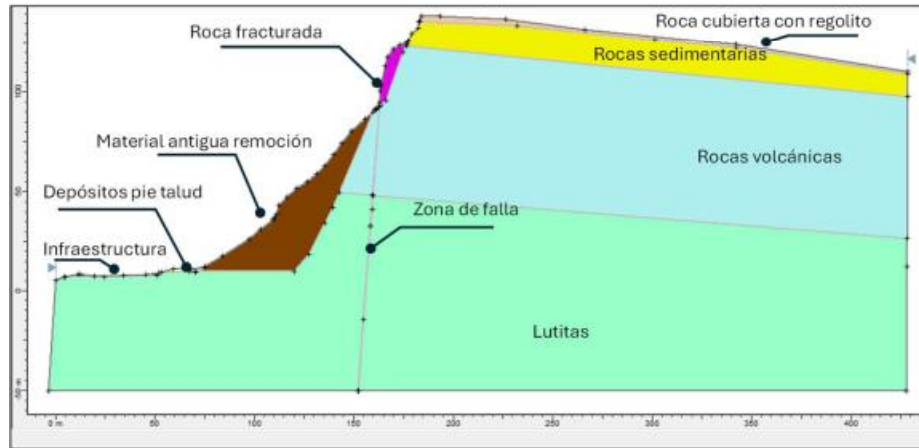
Sección 3
Perfil U11_ roca fracturada

Zona con **muro y señalética deficiente en la parte superior**. Alto tránsito - área de paseos y Monumentos. Ladera presenta antecedentes de ser una zona de **antigua cantera**, con presencia de roca fracturada. Además, el material de **remoción en masa en la parte inferior tiene evidencias de reactivación**. Zona inferior **sin protección, con acceso permanente de personas en tránsito y/o pernoctando**. La zanja y muro de roca no llegan a este sector.



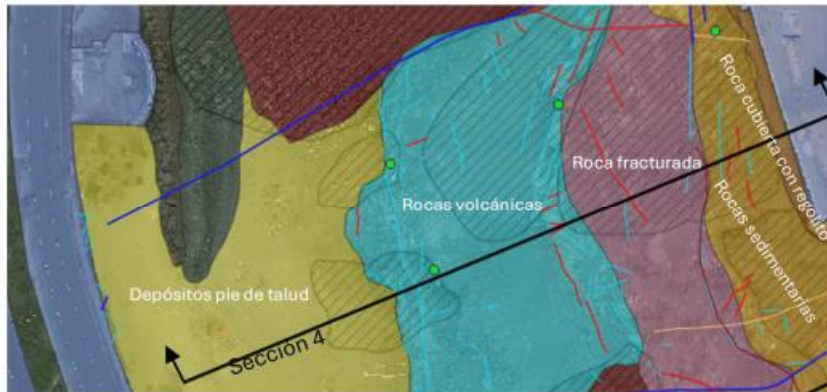
Sección 3
Perfil U11_ roca fracturada

MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO

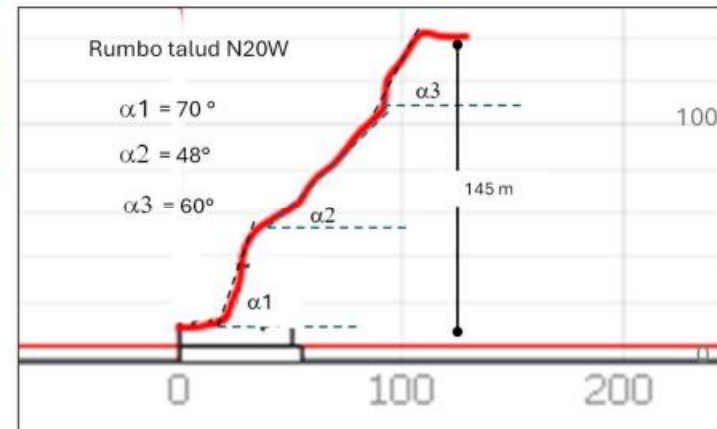


Sección 4
Perfil U_11 pillow y grietas

Sección definida principalmente por **presencia de grietas abiertas y activas**, afectando el borde y plataforma superior del Morro (patrimonial y turístico). La parte inferior son rocas macizas, pero con libre acceso hacia el talud. Evidencias de animitas con acceso de personas.

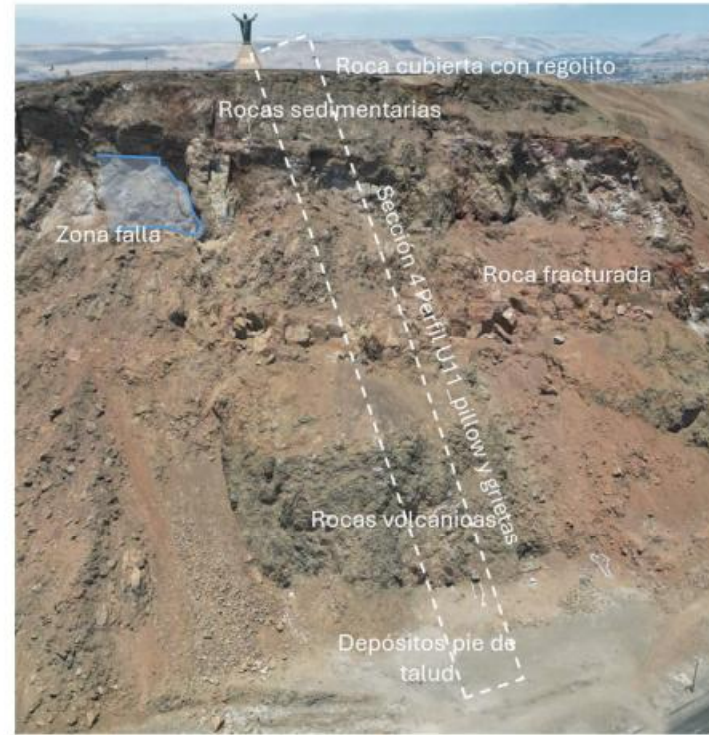
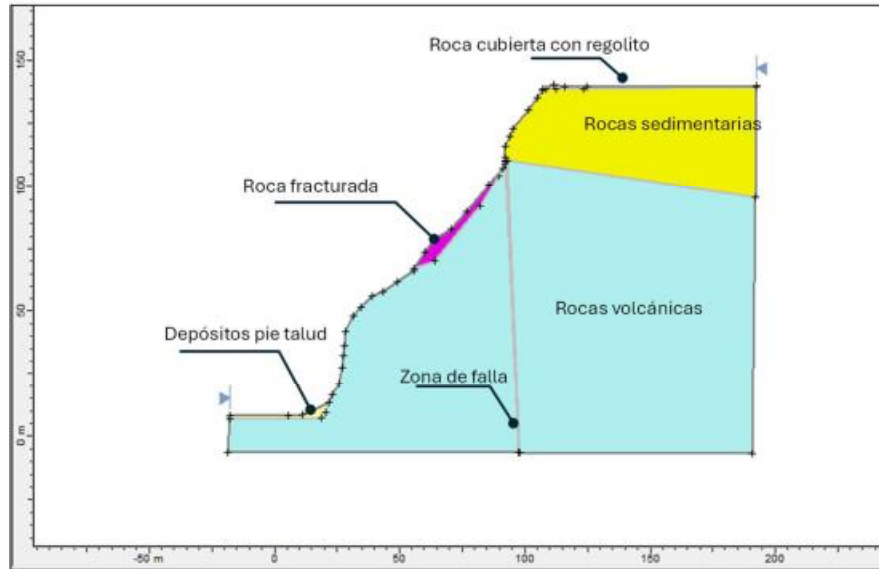


Unidad geológica - geotécnica	Estructuras geológicas	Remociones en masa
Roca cubierta con regolito	Diaclasa	Caída
Roca fracturada	Estratificación	Deslizamiento
Depósitos pie de talud	Falla	Representación poligonal de remociones en masa
Rocas volcánicas	Fractura	Perfiles análisis
Rocas sedimentarias	Grieta	Escarpes
Infraestructura	Veta	
	Vetilla	



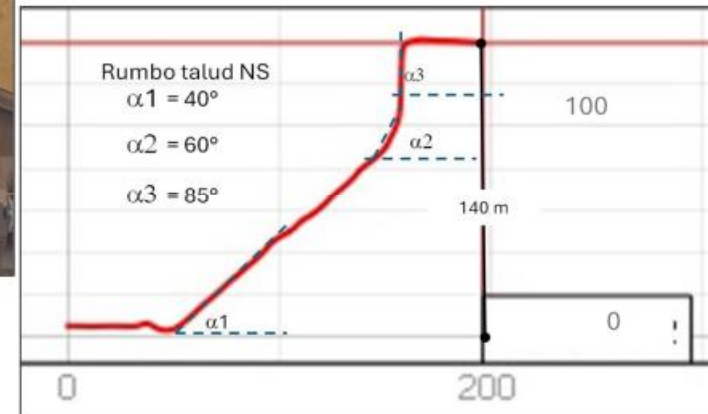
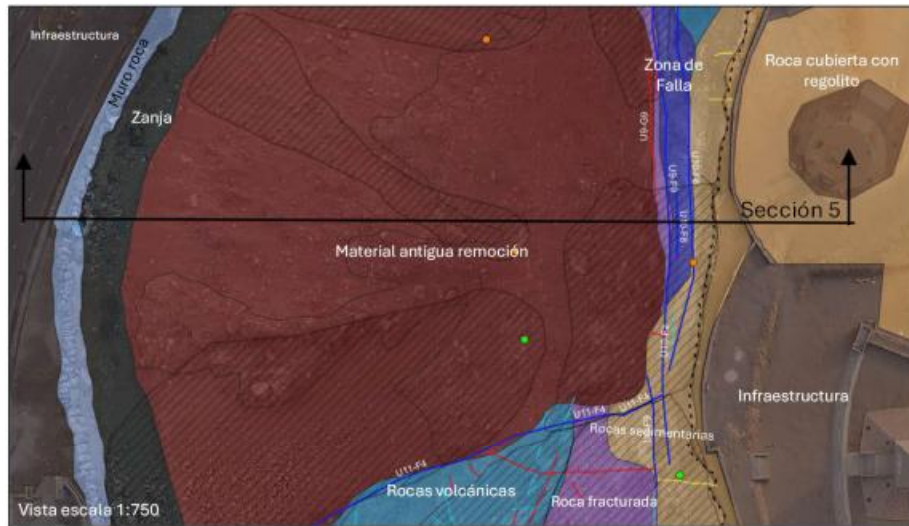
Sección 4
Perfil U_11 pillow y grietas

MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO



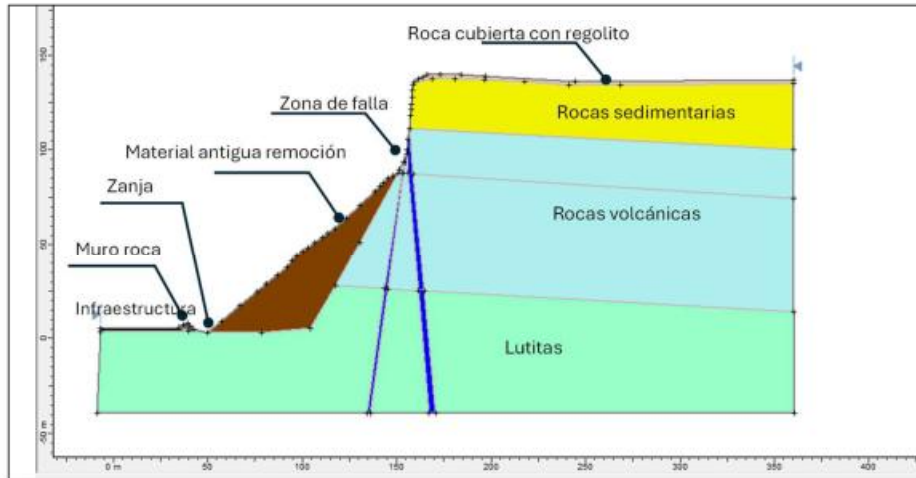
Sección 5
Perfil_U9_ remoción en masa y zanja

Sección definida por **reactivación de remociones en masa** en el 2014 (Playa Surf) sumado a la presencia de personas habitando en la zanja. **Zona superior agrietada y con señalética deficiente** (plano y zona de falla, con presencia de grietas). Extensión importante en la zona de costanera (300m).



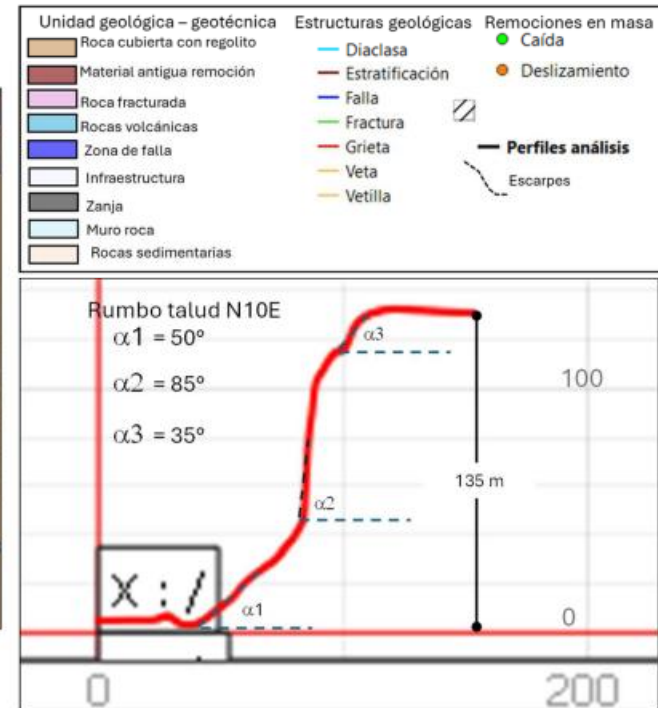
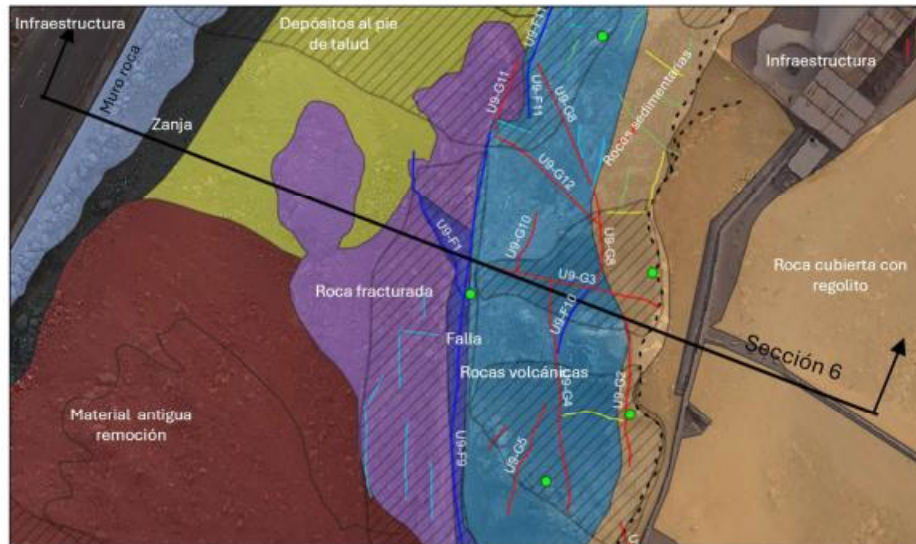
Sección 5
Perfil_U9_remoción en masa y zanja

MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO

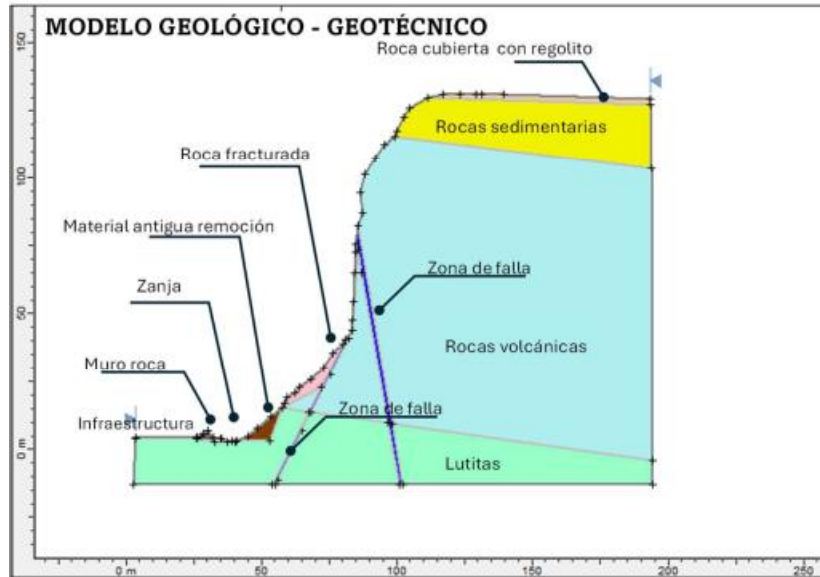


Sección 6
Perfil_U9_zonas grietas y paseo

Sección definida principalmente por la **zona superior, con grietas abiertas y activas**. Zona con acceso parcialmente restringido. La parte inferior son rocas fracturadas, con **presencia de zanja y muro**, pero con **libre acceso hacia el talud**. Presencia de personas habitando y con acceso permanente.

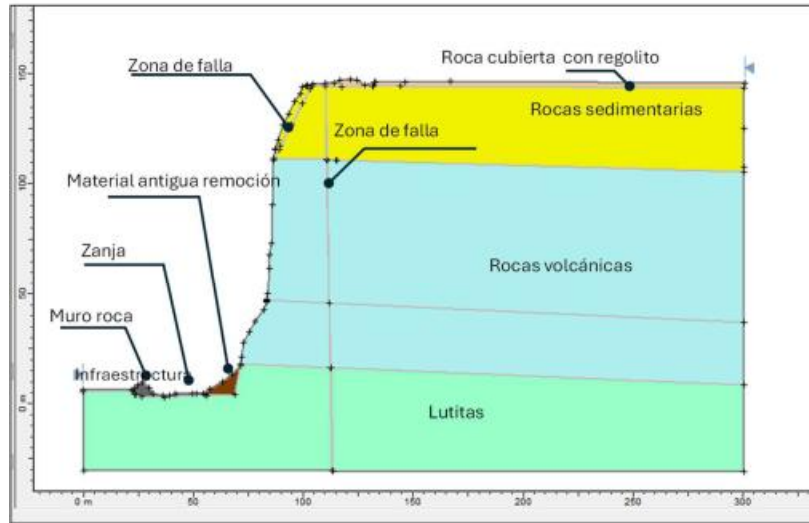


Sección 6 - Perfil_U9_zonas grietas y paseo



Sección 7
Perfil U8_bloque Museo

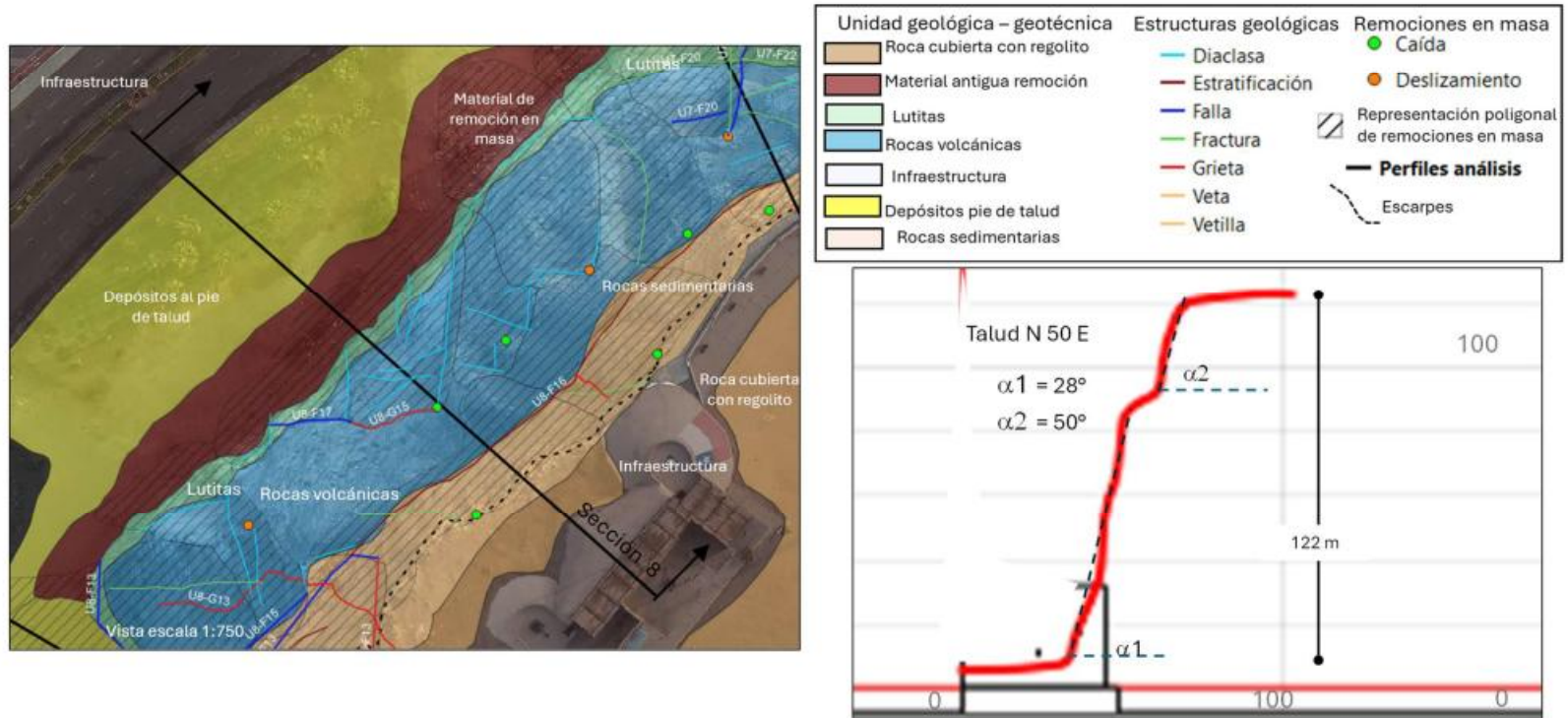
MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO



Sección 8

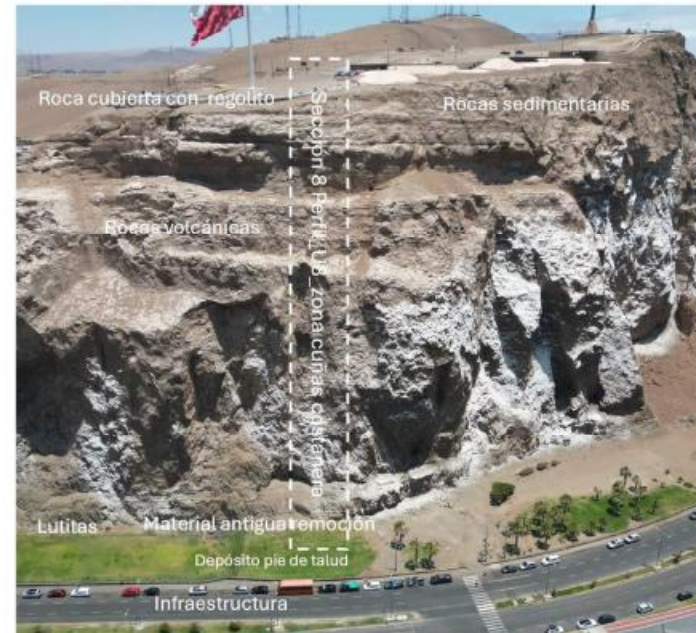
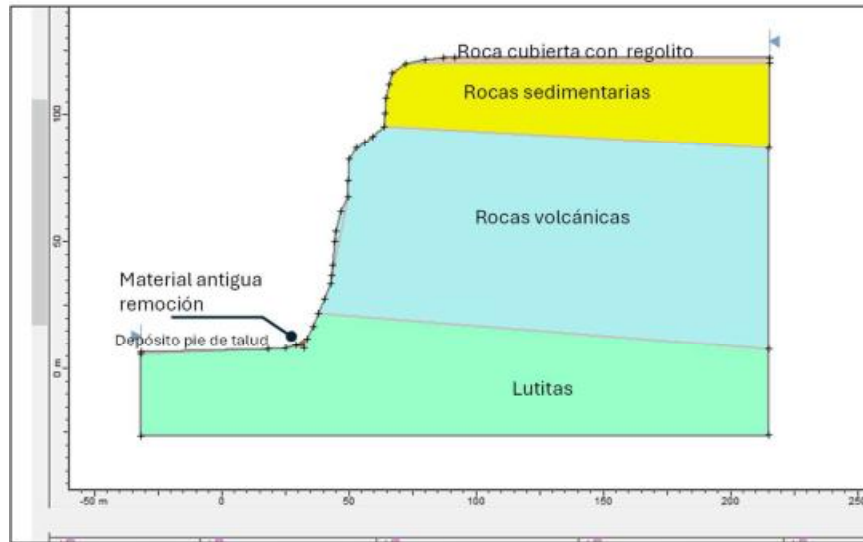
Perfil_U8_zona cuñas costanera

Sección definida por la presencia de **geometrías de cuñas con algunos bloques limitados por estructuras**. Presencia de algunas grietas. Perfil de Morro irregular. Existe pasto y reja perimetral. Zona postal turística del Morro.



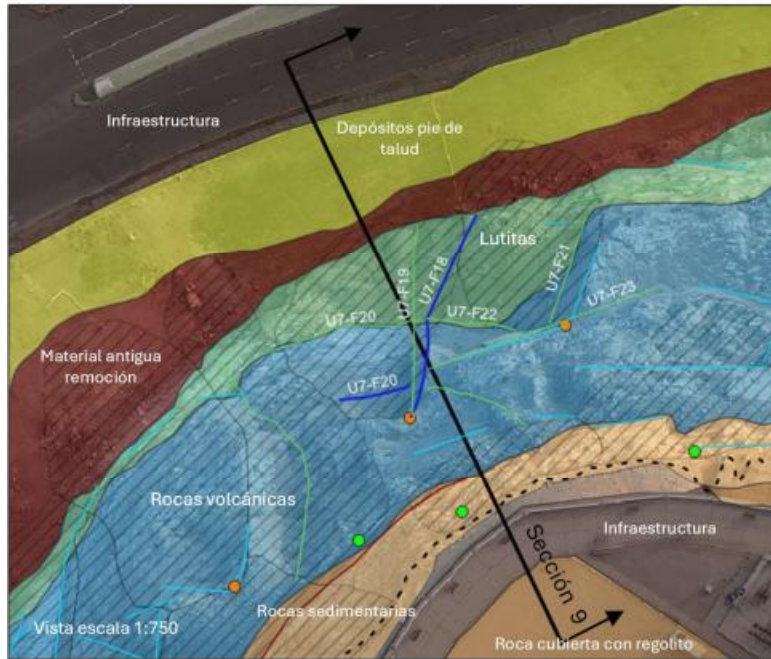
Sección 8
Perfil_U8_zona cuñas costanera

MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO

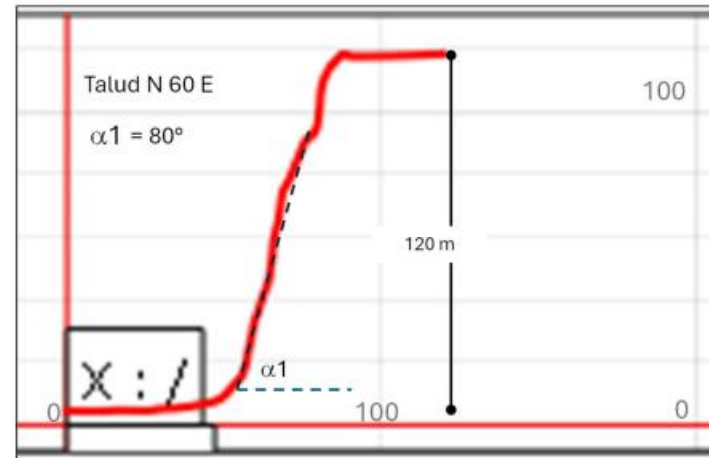


Sección 9
Perfil_U7 postal turística Morro

Sección definida por la representación una de las **caras turísticas del Morro, con fuerte pendiente y bloques con estructuras.** Parte inferior pasto y reja.

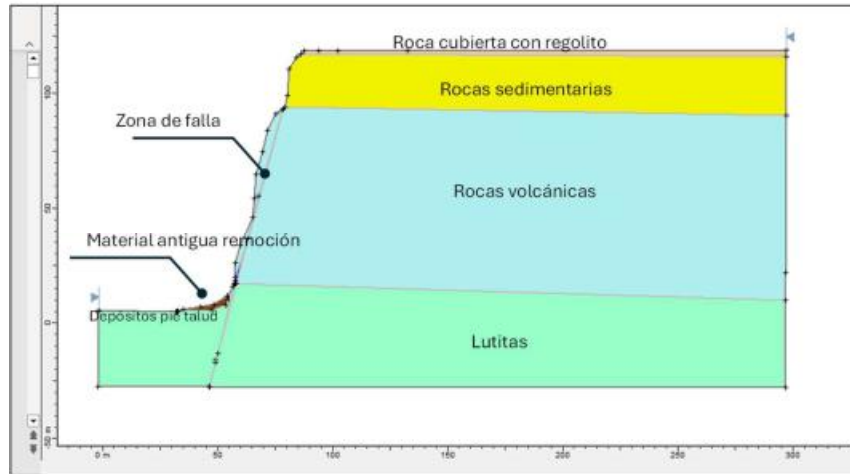


Unidad geológica – geotécnica	Estructuras geológicas	Remociones en masa
Roca cubierta con regolito	Diaclasa	Caída
Material antigua remoción	Estratificación	Deslizamiento
Lutitas	Falla	Representación poligonal de remociones en masa
Rocas volcánicas	Fractura	Perfiles análisis
Infraestructura	Grieta	Escarpes
Depósitos pie de talud	Veta	
Rocas sedimentarias	Vetilla	



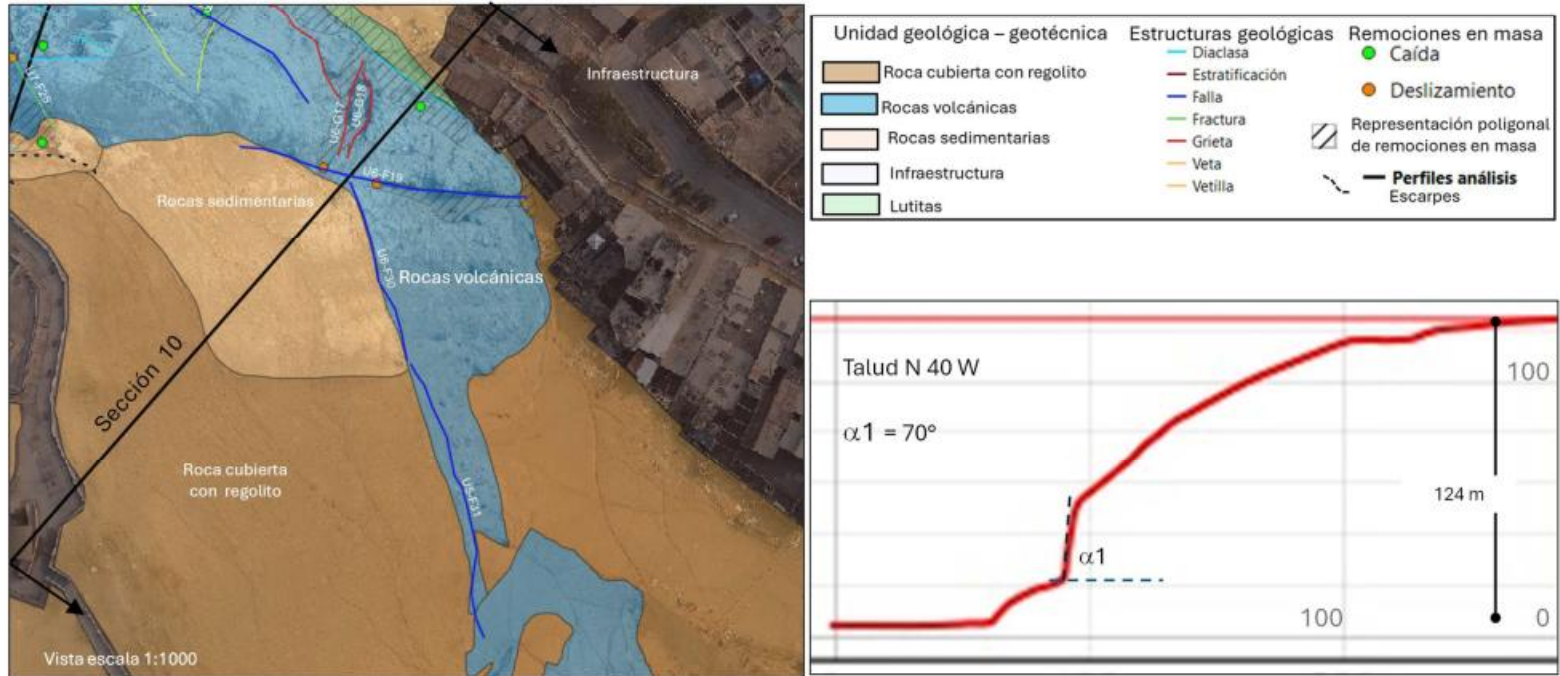
Sección 9
Perfil_U7 postal turística Morro

MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO



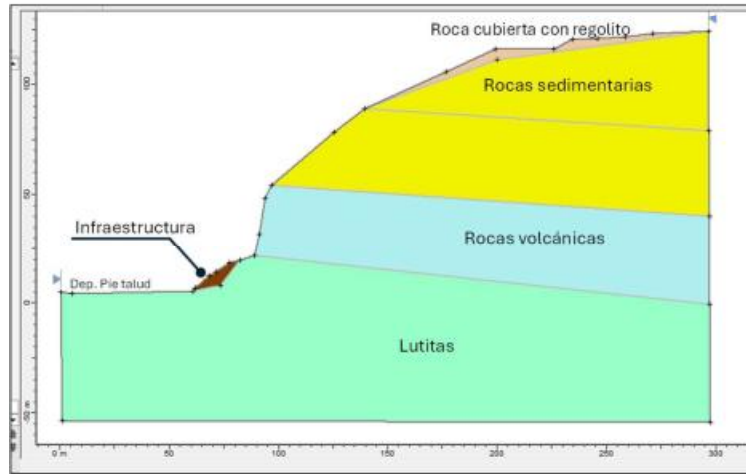
Sección 10
Perfil U5_Morro casas

Sección definida por la representación una de las **caras turísticas del Morro**, con zona de casas. Mucha cobertura y estructuras poco confiables. Se define por el potencial de caídas en casas.



Sección 10
Perfil U5_Morro casas

MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO

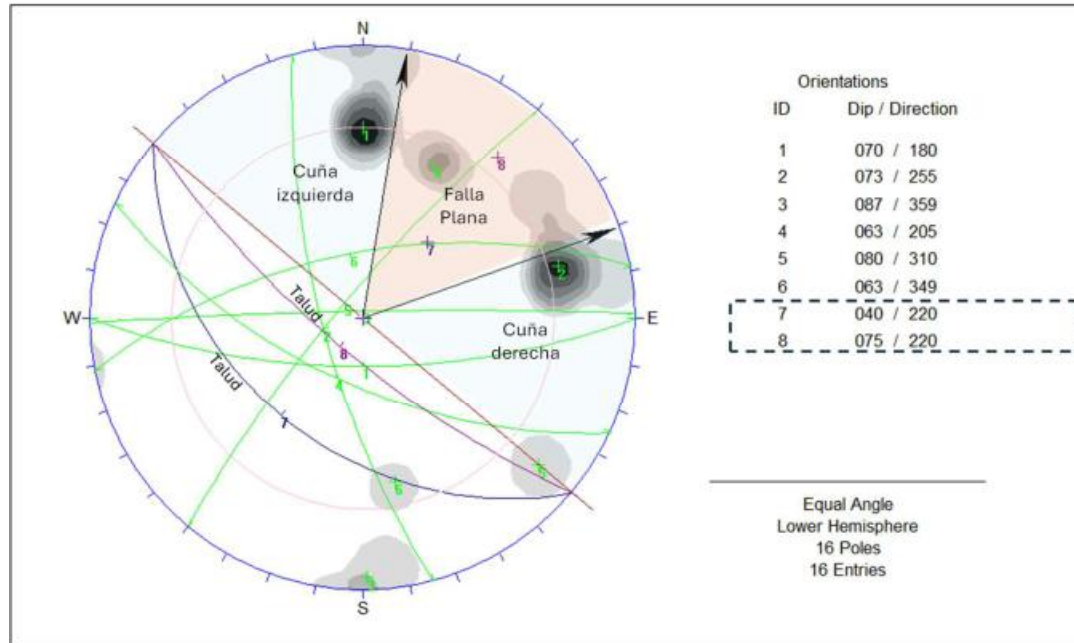




ANEXO A.3 Resultados análisis geométrico estructural con apoyo de proyección estereográfica por sección

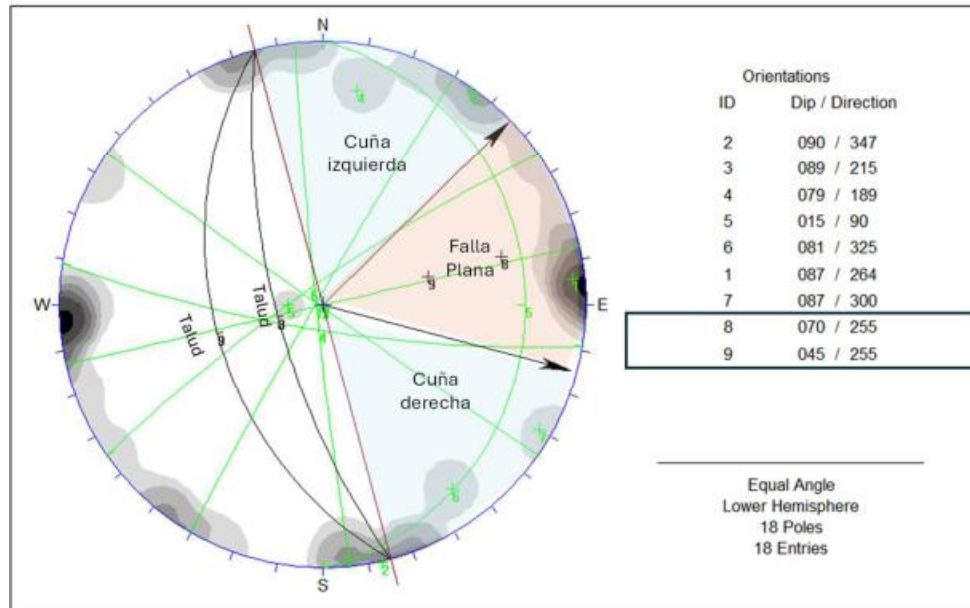
Sección 2 - Perfil U11_U12 – antigua cantera

Análisis estereográfico y geométrico estructural



- *Sistemas principales representados por planos 1 a 6*
- *Taludes representados por planos 7 y 8*
- *Falla plana generada por sistema 4 en talud 8*
- *Cuñas en talud 8 (entre sistemas 1 y 2)*
- *Cuñas en talud 8 (entre sistemas 4 y 2)*
- *Cuñas en taludes 8 y 4 cerradas (entre sistemas 7 y 1) en ambos taludes.*

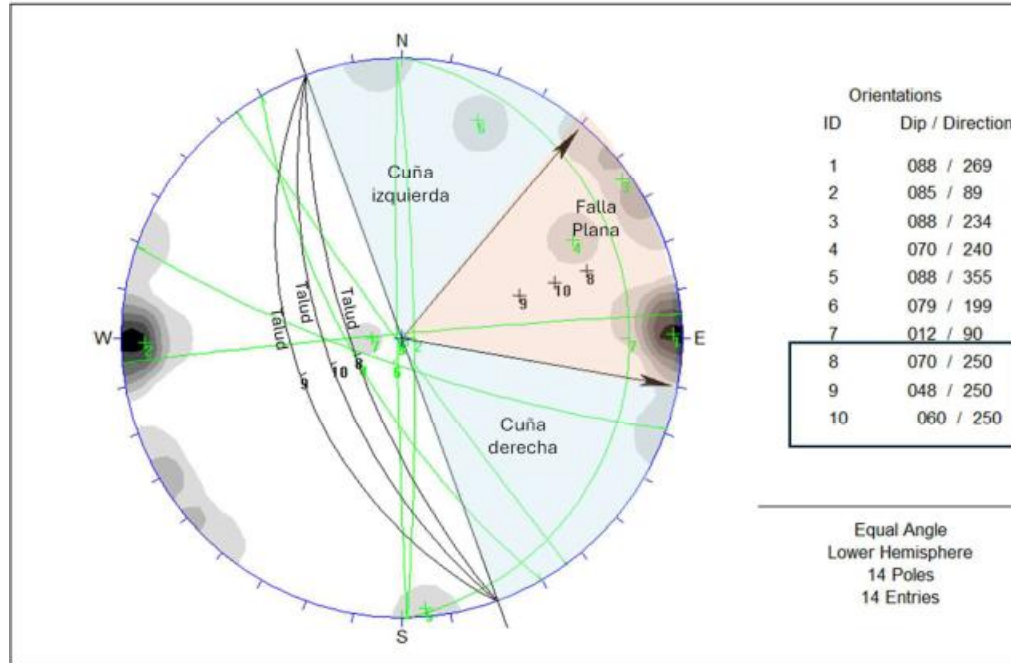
Sección 3 - Perfil U11_ roca fracturada



- *Sistemas principales representados por planos 1 a 7*
- *Taludes representados por planos 8 y 9*
- *Para talud 8, se forman cuñas que afloran entre 6 y 4; entre 4 y 7 cuña que no afloran y entre 3 y 7 cuñas cerradas que no aloran*
- *Pata talud 9, existe una falla que controla geoméricamente el talud*
- *El material depositado (talud de 45°) frena bloques y/o puede ser producto de cuñas que deslizaron de aportaron al depósito.*

Sección 4 - Perfil U_11 pillow y grietas

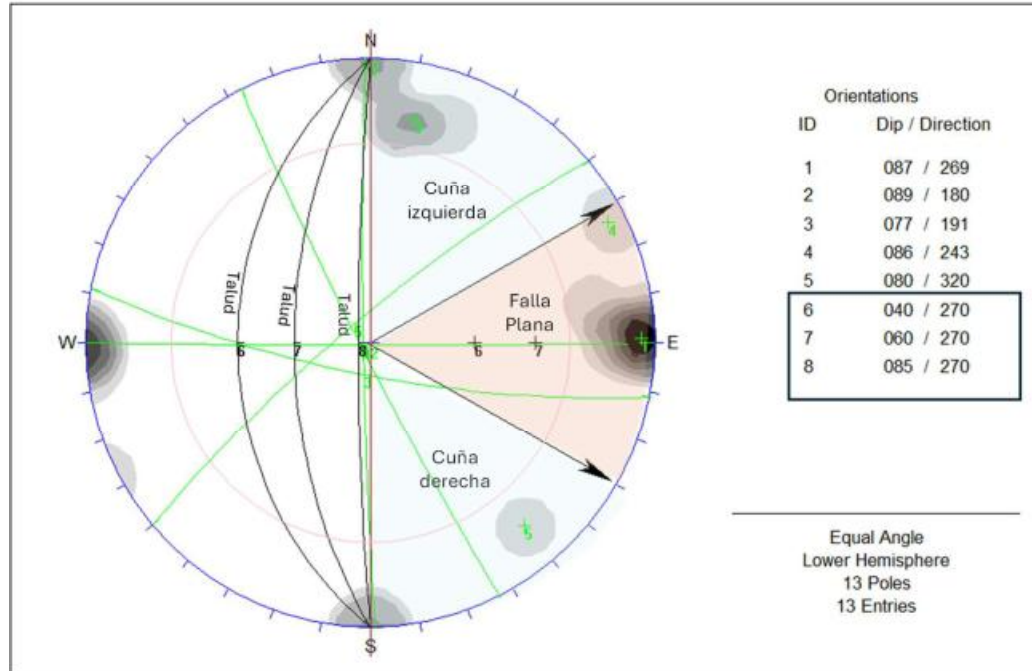
Análisis estereográfico y geométrico estructural



- *Sistemas principales representados por planos 1 a 7*
- *Taludes representados por planos 8, 9 y 10*
- *En general los sistemas 4, 3 y 1 están en condición de falla plana y/o controlan el talud (especialmente con 8).*
- *Sistemas son de alto ángulo (no afloran), lo que se ve reflejado en la geometría natural del Morro.*

Sección 5 - Perfil_U9_ remoción en masa y zanja

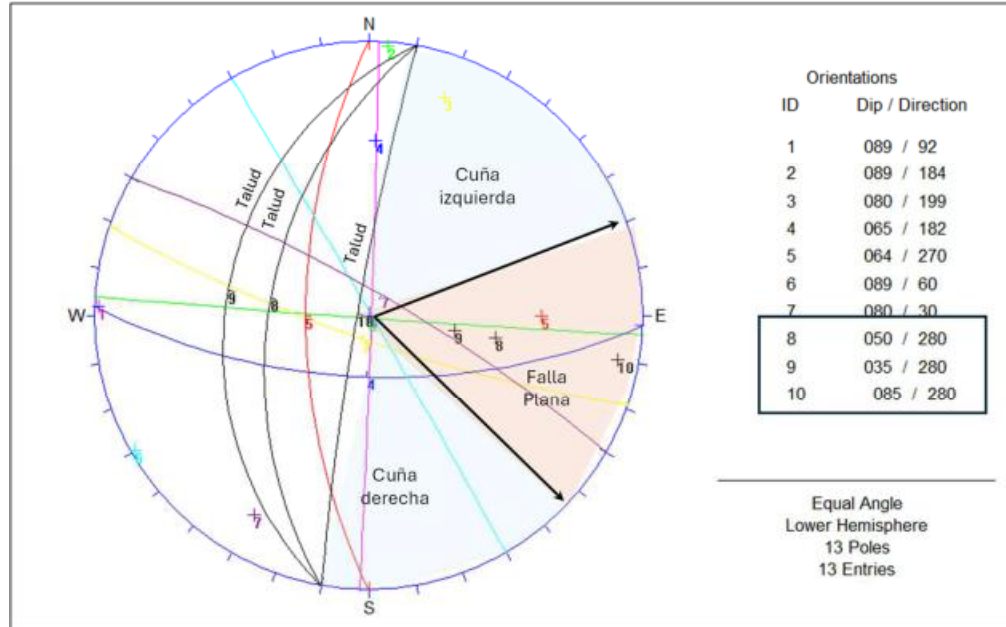
Análisis estereográfico y geométrico estructural



- *Sistemas principales representados por planos 1 a 5*
- *Taludes representados por planos 6, 7 y 8*
- *El sistema 1 controla la cara, sobre todo del talud superior*
- *Cuña 3 y 5 aflora en talud 8*
- *Cuña cerrada entre 2 y 5 aflora en talud 8*

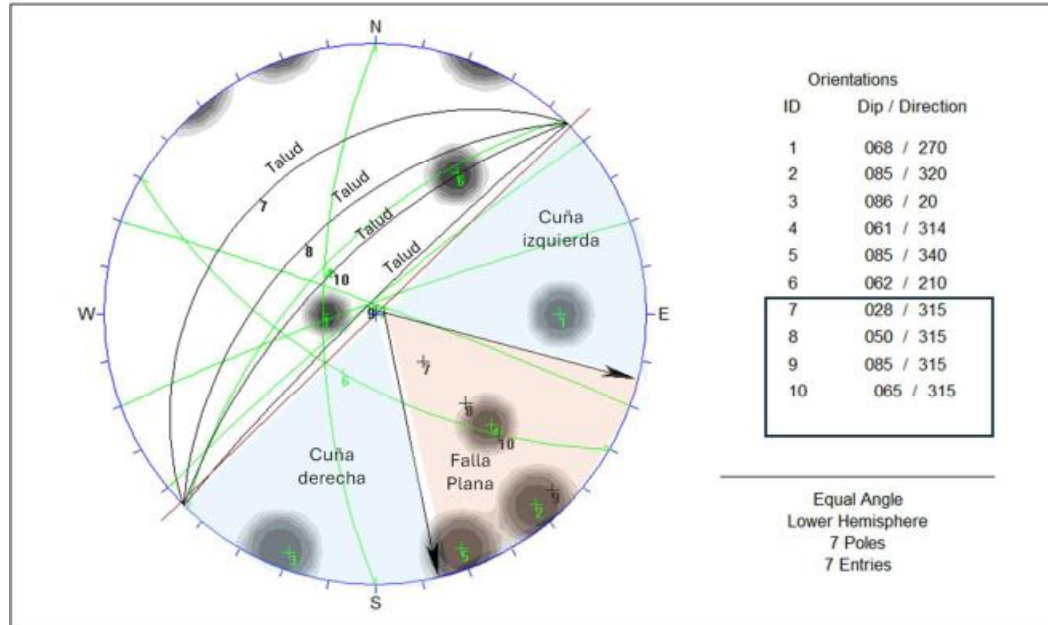
Sección 6 - Perfil_U9_zonas grietas paseo superior

Análisis estereográfico y geométrico estructural



- *Sistemas principales representados por planos 1 a 7*
- *Taludes representados por planos 8, 9 y 10.*
- *En el talud 8, 5 pasa por detrás del talud y 4 forma prismas con 2 pero no afloran.*
- *En el talud 9, 5 pasa por detrás y lo mismo 8.*
- *En el Talud 10, se genera falla plana con 5 y cuñas 5 con 4*

Sección 7 - Perfil U8_bloque agrietado Museo

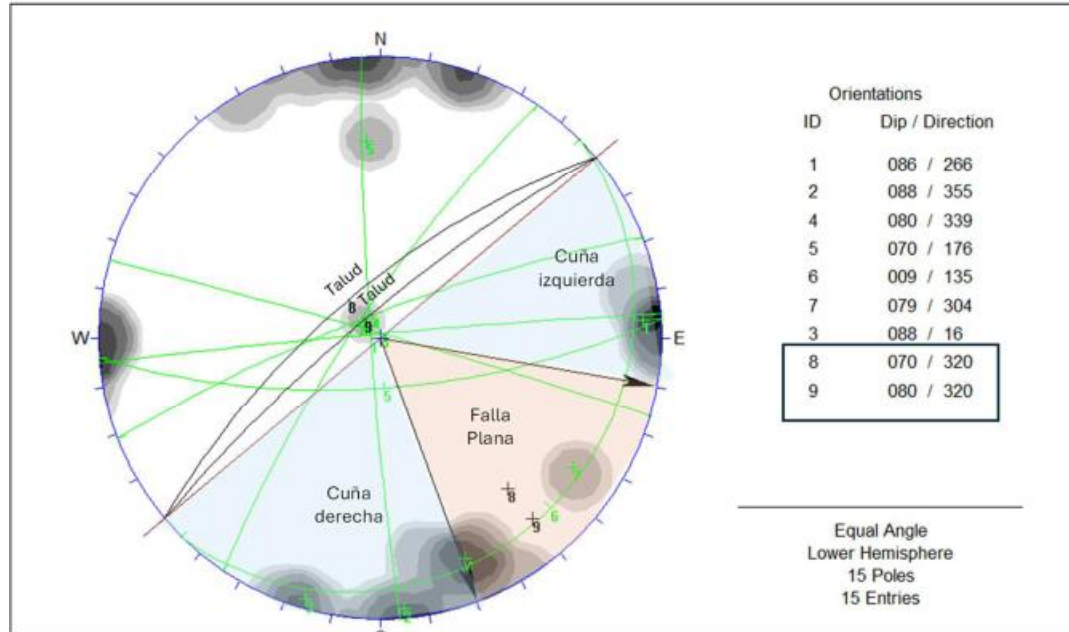


Análisis geométrico estructural

- *Sistemas principales representados por planos 1 a 6*
- *Taludes representados por planos 7, 8, 9 y 10.*
- *Sistema 4, 2 y 5 en condición de falla plana y/o controla talud.*
- *Sistemas 1 y 3 forman cuña*

Sección 8 - Perfil_U8_zona cuñas costanera

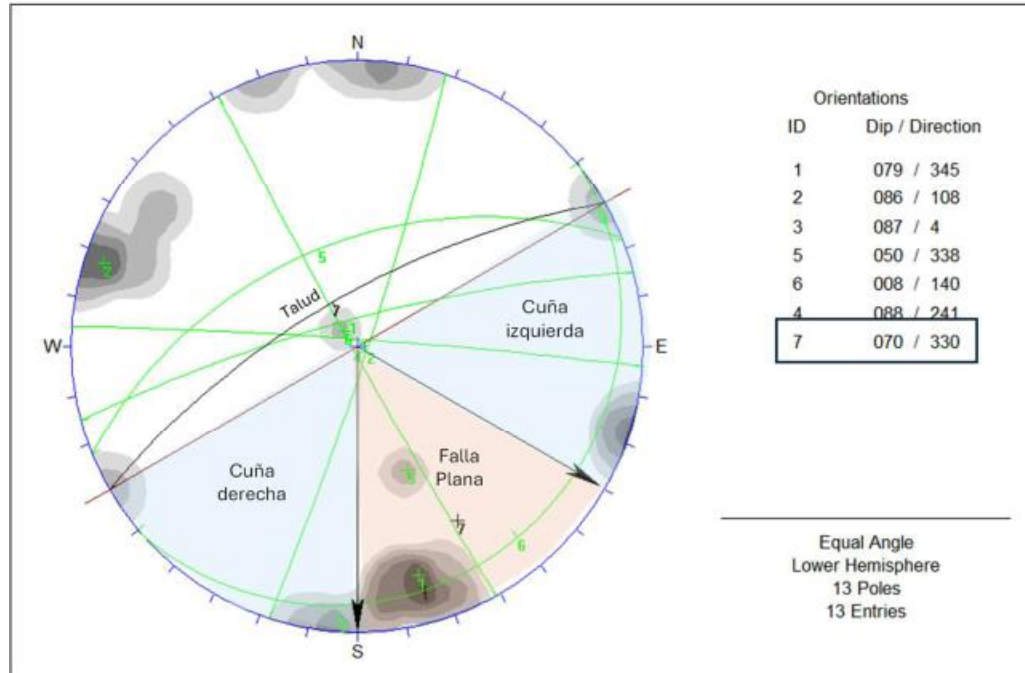
Análisis estereográfico y geométrico estructural



- *Sistemas principales representados por planos 1 a 7*
- *Taludes representados por planos 8 y 9*
- *Falla plana de 7 en talud 9*
- *Falla plana con 4 en 9 y 8*
- *3 y 1 cuña en talud 9*
- *Cuña 2 con 1 en talud 9*
- *Cuña 4 con 1 en talud 9*

Sección 9 - Perfil_U7 postal turística Morro

Análisis estereográfico y geométrico estructural



- Los sistemas principales están representados por 1 a 6
- Talud representado por 7
- El sistema 5 está en condición de falla plana
- Sistema 2 podría generar algo de volcamiento, pero bloques rígidos
- Sistemas 3 y 4 forma cuñas, pero quedan con el vector dentro

ANEXO A.4 Resultados análisis de deslizamientos (rotacionales y/o traslacionales) por sección

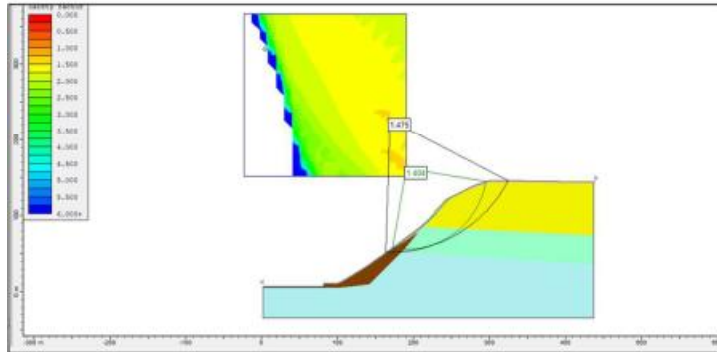
Materiales y propiedades Sección 1 - Perfil Ayllu_U14

Tipo de material	Características	Propiedades
Roca cubierta con regolito	Unidad compuesta por sedimentos y detritos semi compactados que se encuentran en la cima del Morro cubriendo las rocas. Los fragmentos son angulosos y su composición varía entre rocas sedimentarias y volcánicas, con tamaños de bloques menores a 20 cm. Espesor 2 m con geometría paralela a la topografía.	Dureza baja a media (compresión simple: 27,7 a 55 MPa) Cohesión C (kN/m ²) < 100. Se usa 90 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Peso Unitario de 18 kN/m ³ .
Rocas sedimentarias	Secuencia que agrupa a las rocas sedimentarias (indiferenciadas) en la parte superior del Morro, alcanzando 40m de potencia. Incluye areniscas, limolitas, lutitas de colores claros, con dureza media y poca presencia de estructuras geológicas, dispuestas con maneto sub horizontal bajo la roca cubierta con regolito.	Dureza media (compresión simple 55 MPa) Cohesión C (kN/m ²) 200-300. Se usa 300 kN/m ² Ángulo de fricción Phi (°) 25°-35°. Se usa 32°. Peso Unitario de 20 kN/m ³ . Geological Strength Index (GSI) 20-40 según datos de terreno (mala a regular calidad geotécnica)
Lutitas	Rocas sedimentarias de grano fino que se presentan estratificadas en la base y centro de la secuencia. En este perfil, el emplazamiento se proyecta a partir de un afloramiento contiguo al norte de la sección. Se presentan fracturadas por sistemas de diaclasas y planos de estratificación. La secuencia manta sub horizontal y presenta un espesor máximo de 20 m. Presencia de diaclasas cerradas o rellenas con sales solubles y cortas (1-3m) y espaciamientos < 50 cm que ocasionan que se rompan en bloques pequeños a través de estructuras. La resistencia al cizalle y calidad que presenta esta unidad es baja.	Dureza media a baja. Rango de resistencia a la compresión simple: 27,7 a 55 MPa. Cohesión C (kN/m ²) entre 100 y 200. Se usa mínimo del rango. Ángulo de fricción Phi (°) 15° - 25°. Se usa 18°. Peso Unitario de 18 kN/m ³ Geological Strength Index (GSI) 30 según datos de terreno (mala calidad geotécnica)
Rocas volcánicas	Unidad que agrupan todas las rocas volcánicas en la parte central y superior del Morro. Incluye pillow lavas, andesitas, brechas volcánicas. La secuencia alcanza potencias de 80m. Las rocas tienen alta dureza. Presentan diaclasas y fallas que atraviesan la secuencia, que incluyen largos métricos. Están abiertas o con rellenos de sales solubles.	Dureza alta a muy alta. Resistencia a la compresión simple: 100 MPa. Cohesión C (kN/m ²) entre 300 y 400. Se usa 350 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 35° - 45°. Se usa 40°. Peso Unitario de 20 kN/m ³ Geological Strength Index (GSI) 50-65 según datos de terreno (regular a buena calidad geotécnica)
Material antigua remoción	Unidad que agrupa depósitos de remoción en masa antiguos indiferenciados, incluyendo los grandes volúmenes en ladera posterior a Ayllu y depósito en la en la ladera del Morro en la actual zona de zanja. Compuesto por gravas (bloques centimétricos a métricos) con granulometría y composición variable.	Cohesión C (kN/m ²) entre 90 y 200. Se usa 90 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 30° - 32°. Se usa 30°. Peso Unitario de 18 kN/m ³
Infraestructura	Cubierta de asfalto asociada a estacionamientos de condominio Ayllu, espesor 50 cm	Cohesión C (kN/m ²) 250 kN/m ² Ángulo de fricción Phi (°) 40°. Peso Unitario de 20 kN/m ³
Planchones de grava (*)	Unidad local presente sobre las laderas del condominio Ayllu, cubriendo parte de las rocas sedimentarias y material de antigua remoción. Son capas de gravas de varios metros de espesor cubiertas con guano	Cohesión C (kN/m ²) 250 kN/m ² Ángulo de fricción Phi (°) 30°. Peso Unitario de 25 kN/m ³

(*) Unidad planchones de grava definida exclusivamente como una capa en esta sección de análisis y no forma parte del modelo geológico – geotécnico del Morro.

Sección 1 - Perfil Ayllu_U14

Resultados caso estático

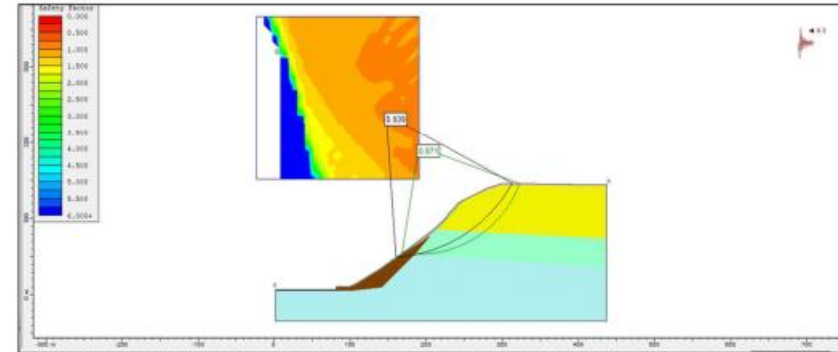


Caso	Factores de seguridad (mínimo)
Estático	1,404
Sísmico	0,871
Sísmico con grietas de tensión	0,871

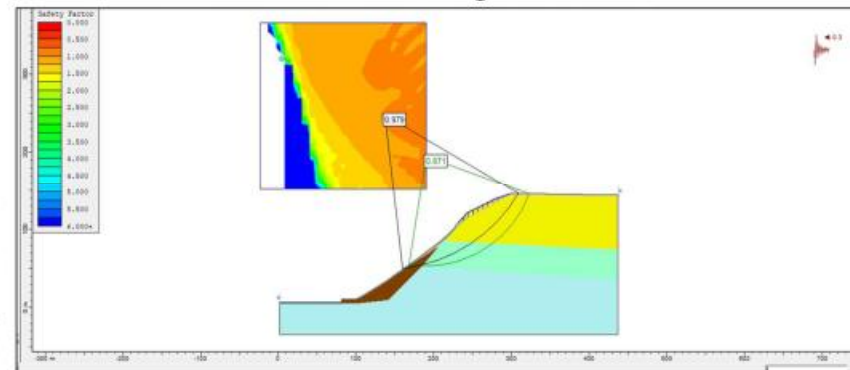
- Se evalúan 3 escenarios: estático; sísmico (0,3g) y sísmico más grietas de tensión.
- Zona crítica en caso de sismos ($FS < 1.0$) falla rotacional profunda abarca **30 m desde el escarpe**.
- Zona volumen máximo estimado in situ 1,500,000m³. Si se considera el Factor de esponjamiento (amplificar por 0,6 (valores de estándares mineros)

Análisis deslizamientos rotacionales

Resultados caso sísmico sin grietas de tensión



Resultados caso sísmico con grietas de tensión



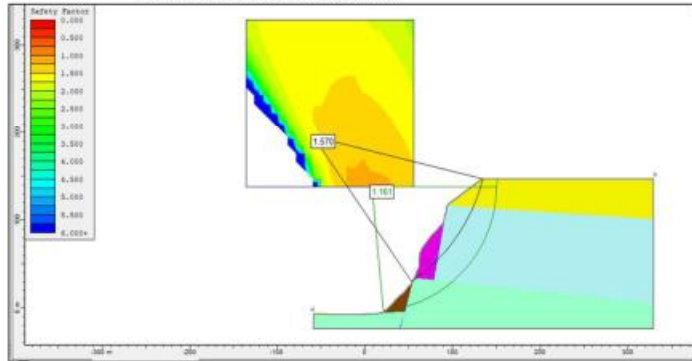
Materiales y propiedades Sección 2 - Perfil U11_U12 – antigua cantera

Tipo de material	Características	Propiedades
Roca cubierta con regolito	Unidad compuesta por sedimentos y detritos semi compactados que se encuentran en la cima del Morro cubriendo las rocas. Los fragmentos son angulosos y su composición varía entre rocas sedimentarias y volcánicas, con tamaños de bloques menores a 20 cm. Espesor 2 m con geometría paralela a la topografía.	Dureza baja a media (compresión simple: 27,7 a 55 MPa) Cohesión C (kN/m ²) < 100. Se usa 90 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Peso Unitario de 18 kN/m ³ .
Material antigua remoción	Unidad que agrupa depósitos de remoción en masa antiguos indiferenciados, incluyendo los grandes volúmenes en ladera posterior a Ayllu y depósito en la en la ladera del Morro en la actual zona de zanja. Compuesto por gravas (bloques centimétricos a métricos) con granulometría y composición variable.	Cohesión C (kN/m ²) entre 90 y 200. Se usa 90 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 30° - 32°. Se usa 30°. Peso Unitario de 18 kN/m ³
Roca fracturada	Unidad particular de litología no determinada (posiblemente volcánica) pero que se diferencia del resto por el grado de fracturas y agrietamiento que presenta. Se caracteriza por su mala calidad geotécnica (GSI 30 según datos de terreno)	Cohesión C (kN/m ²) entre 100 y 200. Se usa 150 kN/m ² Ángulo de fricción e15° - 25°. Se usa Phi (°) 25°. Peso Unitario de 18 kN/m ³ Geological Strength Index (GSI) 30 según datos de terreno (mala calidad geotécnica)
Depósitos al pie de talud	Unidad que agrupa a depósitos al pie del Morro cuyo origen no es determinado, incluye sedimentos removidos y arrastrados por viento.	Cohesión C (kN/m ²) < 100 kN/m ² Ángulo de fricción Phi (°) 20°. Peso Unitario de 20 kN/m ³
Zona de falla	Zona o área que incluye una zona asociada a una o varias trazas de fallas con espesor importante para la escala del mapeo (1:1.000) determinadas a partir del modelo estructural del estudio.	Cohesión C (kN/m ²) < 100 kN/m ² . Valor usado 90 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) ≤15° (se usa 15°) Peso Unitario de 15 kN/m ³

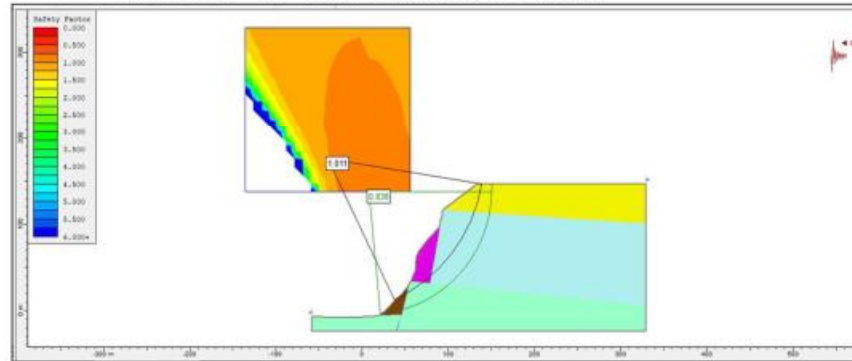
Sección 2 - Perfil U11_U12 - antigua cantera

Análisis deslizamientos rotacionales

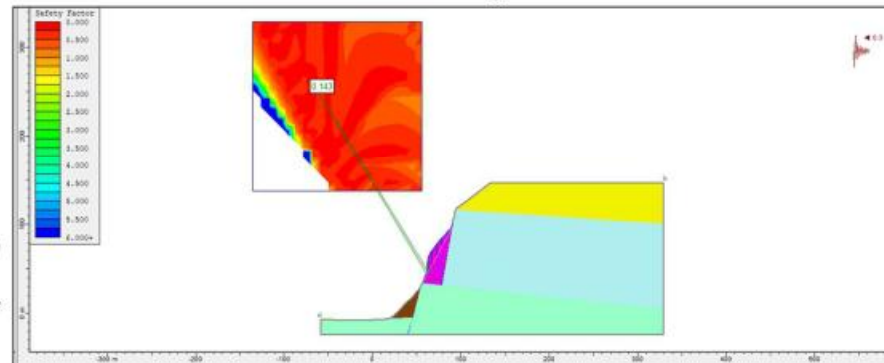
Resultados caso estático



Resultados caso sísmico sin grietas de tensión



Resultados caso sísmico con grietas de tensión



Caso	Factores de seguridad (mínimo)
Estático	1,161
Sísmico	0,838
Sísmico con grietas de tensión	0,143

- Zona crítica en caso de sismos ($FS < 1.0$) falla rotacional profunda que reduce **plataforma hasta 20 metros**.
- Con grietas, las zonas inestables ($FS < 1.0$) en el caso de sismos son los remanentes de roca fracturada por cantera.

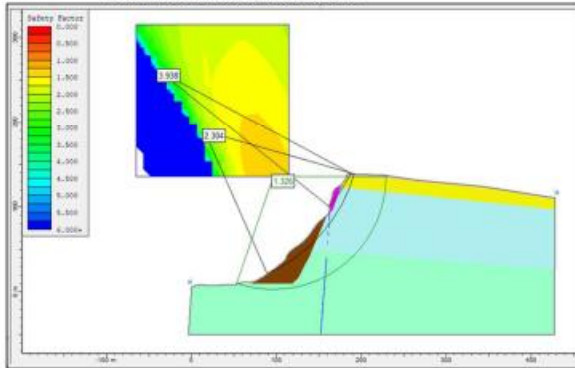
Materiales y propiedades Sección 3 - Perfil U11_ roca fracturada

Tipo de material	Características	Propiedades
Roca cubierta con regolito	Unidad compuesta por sedimentos y detritos semi compactados que se encuentran en la cima del Morro cubriendo las rocas. Los fragmentos son angulosos y su composición varía entre rocas sedimentarias y volcánicas, con tamaños de bloques menores a 20 cm. Espesor 2 m con geometría paralela a la topografía.	Dureza baja a media (compresión simple: 27,7 a 55 MPa) Cohesión C (kN/m ²) < 100. Se usa 90 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Peso Unitario de 18 kN/m ³ .
Material antigua remoción	Unidad que agrupa depósitos de remoción en masa antiguos indiferenciados, incluyendo los grandes volúmenes en ladera posterior a Ayllu y depósito en la en la ladera del Morro en la actual zona de zanja. Compuesto por gravas (bloques centimétricos a métricos) con granulometría y composición variable.	Cohesión C (kN/m ²) entre 90 y 200. Se usa 90 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 30° - 32°. Se usa 30°. Peso Unitario de 18 kN/m ³
Roca fracturada	Unidad particular de litología no determinada (posiblemente volcánica) pero que se diferencia del resto por el grado de fracturas y agrietamiento que presenta. Se caracteriza por su mala calidad geotécnica (GSI 30 según datos de terreno)	Cohesión C (kN/m ²) entre 100 y 200. Se usa 150 kN/m ² Ángulo de fricción e15° - 25°. Se usa Phi (°) 25°. Peso Unitario de 18 kN/m ³ Geological Strength Index (GSI) 30 según datos de terreno (mala calidad geotécnica)
Depósitos al pie de talud	Unidad que agrupa a depósitos al pie del Morro cuyo origen no es determinado, incluye sedimentos removidos y arrastrados por viento.	Cohesión C (kN/m ²) < 100 kN/m ² Ángulo de fricción Phi (°) 20°. Peso Unitario de 20 kN/m ³
Zona de falla	Zona o área que incluye una zona asociada a una o varias trazas de fallas con espesor importante para la escala del mapeo (1:1.000) determinadas a partir del modelo estructural del estudio.	Cohesión C (kN/m ²) < 100 kN/m ² . Valor usado 90 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) ≤15° (se usa 15°) Peso Unitario de 15 kN/m ³
Rocas sedimentarias	Secuencia que agrupa a las rocas sedimentarias (indiferenciadas) en la parte superior del Morro, alcanzando 40m de potencia. Incluye areniscas, limolitas, lutitas de colores claros, con dureza media y poca presencia de estructuras geológicas, dispuestas con maneto sub horizontal bajo la roca cubierta con regolito.	Dureza media (compresión simple 55 MPa) Cohesión C (kN/m ²) 200-300. Se usa 300 kN/m ² Ángulo de fricción Phi (°) 25°-35°. Se usa 32°. Peso Unitario de 20 kN/m ³ . Geological Strength Index (GSI) 20-40 según datos de terreno (mala a regular calidad geotécnica)
Rocas volcánicas	Unidad que agrupan todas las rocas volcánicas en la parte central y superior del Morro. Incluye pillow lavas, andesitas, brechas volcánicas. La secuencia alcanza potencias de 80m. Las rocas tienen alta dureza. Presentan diaclasas y fallas que atraviesan la secuencia, que incluyen largos métricos. Están abiertas o con rellenos de sales solubles.	Dureza alta a muy alta. Resistencia a la compresión simple: 100 MPa. Cohesión C (kN/m ²) entre 300 y 400. Se usa 350 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 35° - 45°. Se usa 40°. Peso Unitario de 20 kN/m ³ Geological Strength Index (GSI) 50-65 según datos de terreno (regular a buena calidad geotécnica)

Sección 3

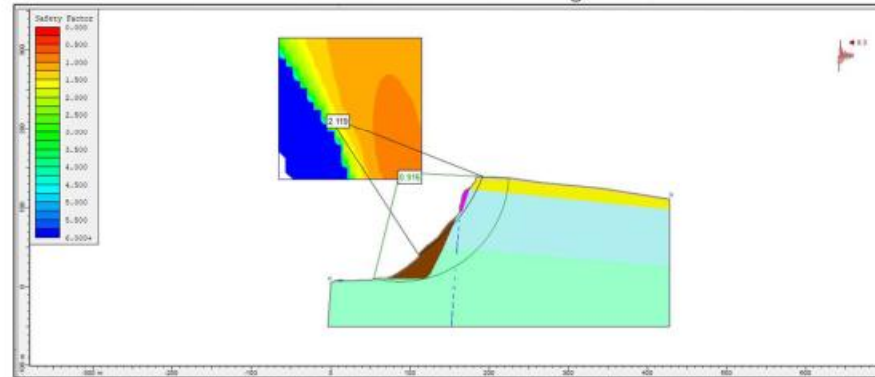
Perfil U11_ roca fracturada

Resultados caso estático



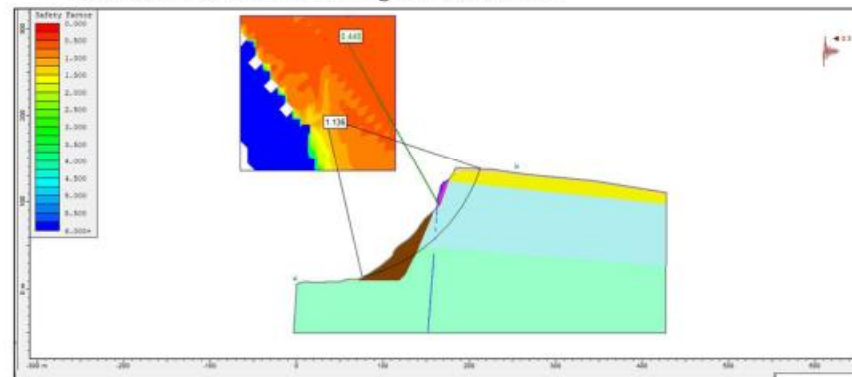
Análisis deslizamientos rotacionales

Resultados caso sísmico sin grietas de tensión



Caso	Factores de seguridad (mínimo)
Estático	1,326
Sísmico	0,916
Sísmico con grietas de tensión	0,448

Resultados caso sísmico con grietas de tensión



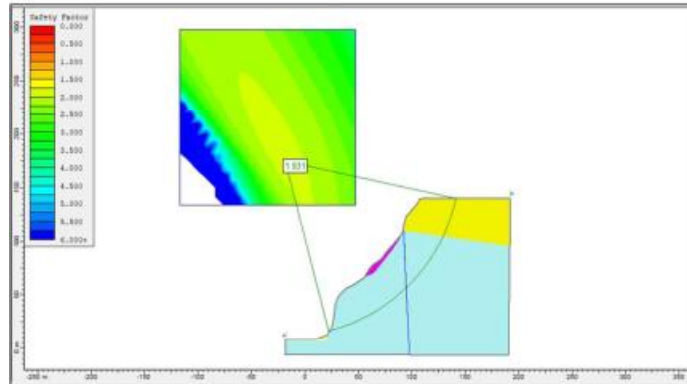
- o Zona crítica en caso de sismos ($FS < 1.0$) falla rotacional profunda que **reduce plataforma hasta 50 metros**.
- o Con grietas, las zonas inestables ($FS < 1.0$) en el caso de sismos son los remanentes de roca fracturada por cantera.

Materiales y propiedades Sección 4 - Perfil U_11 pillow y grietas

Tipo de material	Características	Propiedades
Roca cubierta con regolito	Unidad compuesta por sedimentos y detritos semi compactados que se encuentran en la cima del Morro cubriendo las rocas. Los fragmentos son angulosos y su composición varía entre rocas sedimentarias y volcánicas, con tamaños de bloques menores a 20 cm. Espesor 2 m con geometría paralela a la topografía.	Dureza baja a media (compresión simple: 27,7 a 55 MPa) Cohesión C (kN/m ²) < 100. Se usa 90 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Peso Unitario de 18 kN/m ³ .
Roca fracturada	Unidad particular de litología no determinada (posiblemente volcánica) pero que se diferencia del resto por el grado de fracturas y agrietamiento que presenta. Se caracteriza por su mala calidad geotécnica (GSI 30 según datos de terreno)	Cohesión C (kN/m ²) entre 100 y 200. Se usa 150 kN/m ² Ángulo de fricción e15° - 25°. Se usa Phi (°) 25°. Peso Unitario de 18 kN/m ³ Geological Strength Index (GSI) 30 según datos de terreno (mala calidad geotécnica)
Depósitos al pie de talud	Unidad que agrupa a depósitos al pie del Morro cuyo origen no es determinado, incluye sedimentos removidos y arrastrados por viento.	Cohesión C (kN/m ²) < 100 kN/m ² Ángulo de fricción Phi (°) 20°. Peso Unitario de 20 kN/m ³
Rocas sedimentarias	Secuencia que agrupa a las rocas sedimentarias (indiferenciadas) en la parte superior del Morro, alcanzando 40m de potencia. Incluye areniscas, limolitas, lutitas de colores claros, con dureza media y poca presencia de estructuras geológicas, dispuestas con maneto sub horizontal bajo la roca cubierta con regolito.	Dureza media (compresión simple 55 MPa) Cohesión C (kN/m ²) 200-300. Se usa 300 kN/m ² Ángulo de fricción Phi (°) 25°-35°. Se usa 32°. Peso Unitario de 20 kN/m ³ . Geological Strength Index (GSI) 20-40 según datos de terreno (mala a regular calidad geotécnica)
Rocas volcánicas	Unidad que agrupan todas las rocas volcánicas en la parte central y superior del Morro. Incluye pillow lavas, andesitas, brechas volcánicas. La secuencia alcanza potencias de 80m. Las rocas tienen alta dureza. Presentan diaclasas y fallas que atraviesan la secuencia, que incluyen largos métricos. Están abiertas o con rellenos de sales solubles.	Dureza alta a muy alta. Resistencia a la compresión simple: 100 MPa. Cohesión C (kN/m ²) entre 300 y 400. Se usa 350 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 35° - 45°. Se usa 40°. Peso Unitario de 20 kN/m ³ Geological Strength Index (GSI) 50-65 según datos de terreno (regular a buena calidad geotécnica)
Infraestructura	Cubierta de asfalto asociada a estacionamientos de condominio Ayllu, espesor 50 cm	Cohesión C (kN/m ²) 250 kN/m ² Ángulo de fricción Phi (°) 40°. Peso Unitario de 20 kN/m ³
Zona de falla	Zona o área que incluye una zona asociada a una o varias trazas de fallas con espesor importante para la escala del mapeo (1:1.000) determinadas a partir del modelo estructural del estudio.	Cohesión C (kN/m ²) < 100 kN/m ² . Valor usado 90 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) ≤15° (se usa 15°) Peso Unitario de 15 kN/m ³

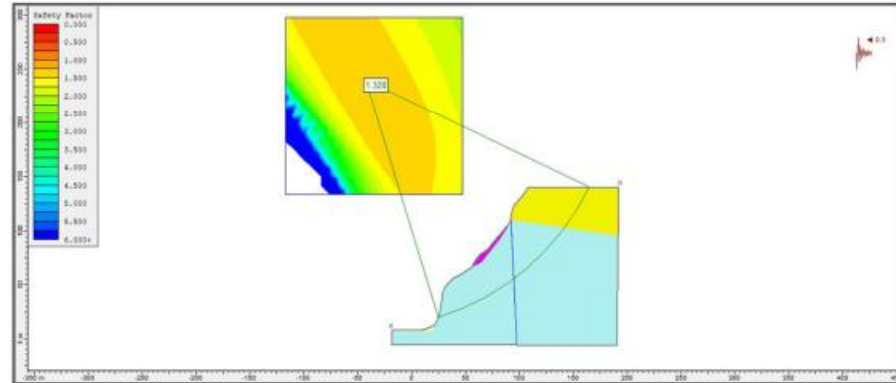
Sección 4
Perfil U_11 pillow y grietas

Resultados caso estático

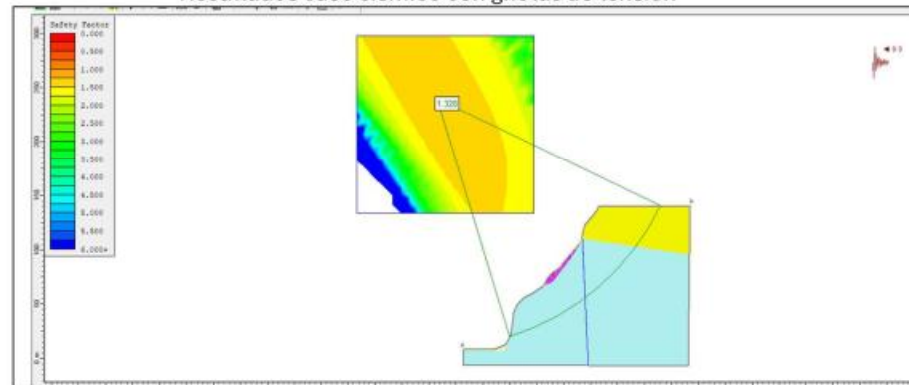


Análisis deslizamientos rotacionales

Resultados caso sísmico sin grietas de tensión



Resultados caso sísmico con grietas de tensión



Caso	Factores de seguridad (mínimo)
Estático	1,931
Sísmico	1,328
Sísmico con grietas de tensión	1,328

- Zona con posible falla rotacional profunda con FS 1,328. Se define zona de seguridad en monumento en la parte superior.
- Con grietas, las zonas inestables (FS < 1.0) en el caso de sismos son los remanentes de roca fracturada por cantera.

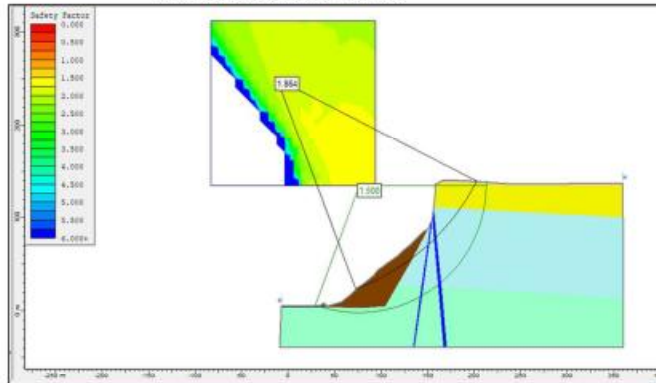
Materiales y propiedades Sección 5 - Perfil_U9_ remoción en masa y zanja

Tipo de material	Características	Propiedades
Roca cubierta con regolito	Unidad compuesta por sedimentos y detritos semi compactados que se encuentran en la cima del Morro cubriendo las rocas. Los fragmentos son angulosos y su composición varía entre rocas sedimentarias y volcánicas, con tamaños de bloques menores a 20 cm. Espesor 2 m con geometría paralela a la topografía.	Dureza baja a media (compresión simple: 27,7 a 55 MPa) Cohesión C (kN/m ²) < 100. Se usa 90 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Peso Unitario de 18 kN/m ³ .
Rocas sedimentarias	Secuencia que agrupa a las rocas sedimentarias (indiferenciadas) en la parte superior del Morro, alcanzando 40m de potencia. Incluye areniscas, limolitas, lutitas de colores claros, con dureza media y poca presencia de estructuras geológicas, dispuestas con maneto sub horizontal bajo la roca cubierta con regolito.	Dureza media (compresión simple 55 MPa) Cohesión C (kN/m ²) 200-300. Se usa 300 kN/m ² Ángulo de fricción Phi (°) 25°-35°. Se usa 32°. Peso Unitario de 20 kN/m ³ . Geological Strength Index (GSI) 20-40 según datos de terreno (mala a regular calidad geotécnica)
Rocas volcánicas	Unidad que agrupan todas las rocas volcánicas en la parte central y superior del Morro. Incluye pillow lavas, andesitas, brechas volcánicas. La secuencia alcanza potencias de 80m. Las rocas tienen alta dureza. Presentan diaclasas y fallas que atraviesan la secuencia, que incluyen largos métricos. Están abiertas o con rellenos de sales solubles.	Dureza alta a muy alta. Resistencia a la compresión simple: 100 MPa. Cohesión C (kN/m ²) entre 300 y 400. Se usa 350 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 35° - 45°. Se usa 40°. Peso Unitario de 20 kN/m ³ Geological Strength Index (GSI) 50-65 según datos de terreno (regular a buena calidad geotécnica)
Material antigua remoción	Unidad que agrupa depósitos de remoción en masa antiguos indiferenciados, incluyendo los grandes volúmenes en ladera posterior a Ayllo y depósito en la en la ladera del Morro en la actual zona de zanja. Compuesto por gravas (bloques centimétricos a métricos) con granulometría y composición variable.	Cohesión C (kN/m ²) entre 90 y 200. Se usa 90 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 30° - 32°. Se usa 30°. Peso Unitario de 18 kN/m ³
Zanja	Incluye zona de zanja artificial generada para contención de rocas. Actualmente se usa como basural y habitación personas en situación de calle.	Cohesión C (kN/m ²) entre 90 y 200. Se usa 100 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 20°. Peso Unitario de 18 kN/m ³
Muro de roca	Enrocado artificial compuesto de bloques de rocas métricos trenzados con cables de acero y anclajes fijos a las rocas. Alcanza una altura de hasta 5 metros y se construyó para retener rocas a continuación de la zanja y al borde de la calzada.	Cohesión C (kN/m ²) entre 200 y 300. Se usa 300 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 35° - 38°. Se usa 35°. Peso Unitario de 20 kN/m ³
Infraestructura	Cubierta de asfalto asociada a estacionamientos de condominio Ayllo, espesor 50 cm	Cohesión C (kN/m ²) 250 kN/m ² Ángulo de fricción Phi (°) 40°. Peso Unitario de 20 kN/m ³
Zona de falla	Zona o área que incluye una zona asociada a una o varias trazas de fallas con espesor importante para la escala del mapeo (1:1.000) determinadas a partir del modelo estructural del estudio.	Cohesión C (kN/m ²) < 100 kN/m ² . Valor usado 90 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) ≤15° (se usa 15°) Peso Unitario de 15 kN/m ³
Lutitas	Rocas sedimentarias de grano fino estratificadas en la base de la secuencia. Manteo sub horizontal y presenta un espesor máximo de 20 m. Presencia de diaclasas cerradas o rellenas con sales solubles y cortas (1-3m) y espaciamientos < 50 cm que ocasionan que se rompan en bloques pequeños a través de estructuras. La resistencia al cizalle y calidad que presenta esta unidad es baja.	Dureza media a baja. 27,7 a 55 MPa. Cohesión C (kN/m ²) entre 100 y 200. Se usa mínimo del rango. Ángulo de fricción Phi (°) 15° - 25°. Se usa 18°. Peso Unitario de 18 kN/m ³ Geological Strength Index (GSI) 30 según datos de terreno (mala calidad geotécnica)

Sección 5

Perfil_U9_ remoción en masa y zanja

Resultados caso estático

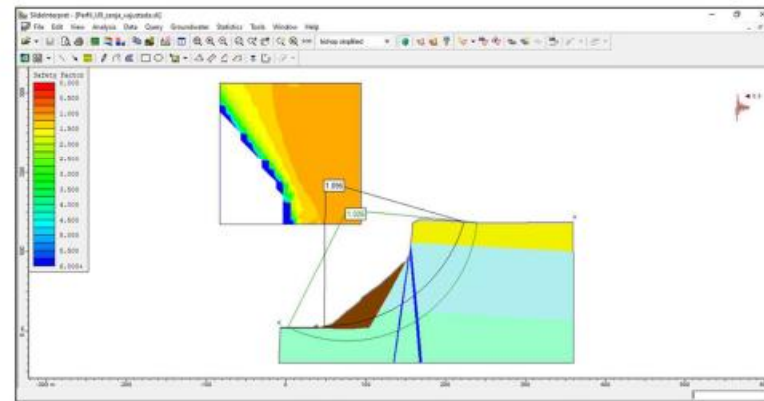


Caso	Factores de seguridad (mínimo)
Estático	1,500
Sísmico	1,026
Sísmico con grietas de tensión	0,014

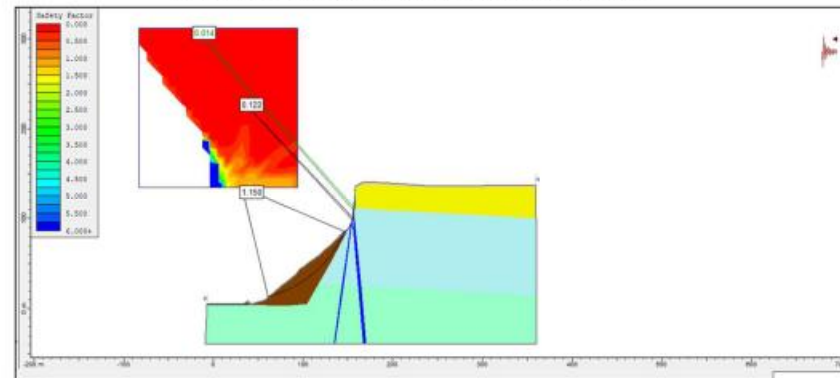
- En condiciones sísmicas, talud tiene equilibrio límite (FS cercanos a 1,0). Si bien el FS min es 1,026, se considera una zona potencialmente afectada de **50 metros** desde el borde (zona de infraestructura paseo y estatuas), con un FS de 1,095 en condición de equilibrio límite.
- Al agregar grietas de tensión, aparecen zonas potencialmente inestables con $FS < 1,0$ especialmente en zona de roca fracturada y falla. La zona de remoción en masa tiene valores cercanos al equilibrio límite.

Análisis deslizamientos rotacionales

Resultados caso sísmico sin grietas de tensión



Resultados caso sísmico con grietas de tensión

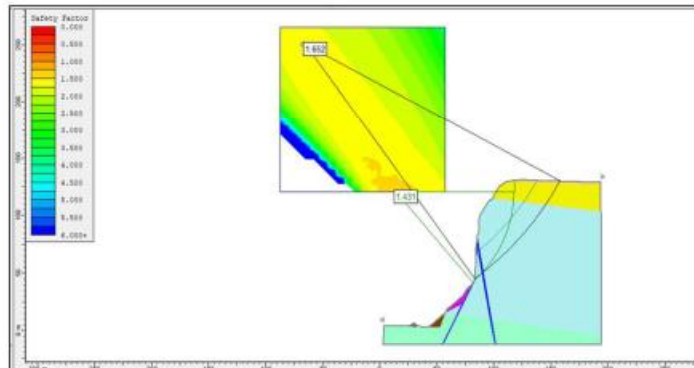


Materiales y propiedades Sección 6 - Perfil_U9_zonas grietas y paseo

Tipo de material	Características	Propiedades
Roca cubierta con regolito	Unidad compuesta por sedimentos y detritos semi compactados que se encuentran en la cima del Morro cubriendo las rocas. Los fragmentos son angulosos y su composición varía entre rocas sedimentarias y volcánicas, con tamaños de bloques menores a 20 cm. Espesor 2 m con geometría paralela a la topografía.	Dureza baja a media (compresión simple: 27,7 a 55 MPa) Cohesión C (kN/m ²) < 100. Se usa 90 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Peso Unitario de 18 kN/m ³ .
Rocas sedimentarias	Secuencia que agrupa a las rocas sedimentarias (indiferenciadas) en la parte superior del Morro, alcanzando 40m de potencia. Incluye areniscas, limolitas, lutitas de colores claros, con dureza media y poca presencia de estructuras geológicas, dispuestas con maneto sub horizontal bajo la roca cubierta con regolito.	Dureza media (compresión simple 55 MPa) Cohesión C (kN/m ²) 200-300. Se usa 300 kN/m ² Ángulo de fricción Phi (°) 25°-35°. Se usa 32°. Peso Unitario de 20 kN/m ³ . Geological Strength Index (GSI) 20-40 según datos de terreno (mala a regular calidad geotécnica)
Rocas volcánicas	Unidad que agrupan todas las rocas volcánicas en la parte central y superior del Morro. Incluye pillow lavas, andesitas, brechas volcánicas. La secuencia alcanza potencias de 80m. Las rocas tienen alta dureza. Presentan diaclasas y fallas que atraviesan la secuencia, que incluyen largos métricos. Están abiertas o con rellenos de sales solubles.	Dureza alta a muy alta. Resistencia a la compresión simple: 100 MPa. Cohesión C (kN/m ²) entre 300 y 400. Se usa 350 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 35° - 45°. Se usa 40°. Peso Unitario de 20 kN/m ³ Geological Strength Index (GSI) 50-65 según datos de terreno (regular a buena calidad geotécnica)
Material antigua remoción	Unidad que agrupa depósitos de remoción en masa antiguos indiferenciados, incluyendo los grandes volúmenes en ladera posterior a Ayllu y depósito en la en la ladera del Morro en la actual zona de zanja. Compuesto por gravas (bloques centimétricos a métricos) con granulometría y composición variable.	Cohesión C (kN/m ²) entre 90 y 200. Se usa 90 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 30° - 32°. Se usa 30°. Peso Unitario de 18 kN/m ³
Zanja	Incluye zona de zanja artificial generada para contención de rocas. Actualmente se usa como basural y habitación personas en situación de calle.	Cohesión C (kN/m ²) entre 90 y 200. Se usa 100 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 20°. Peso Unitario de 18 kN/m ³
Muro de roca	Enrocado artificial compuesto de bloques de rocas métricos trenzados con cables de acero y anclajes fijos a las rocas. Alcanza una altura de hasta 5 metros y se construyó para retener rocas a continuación de la zanja y al borde de la calzada.	Cohesión C (kN/m ²) entre 200 y 300. Se usa 300 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 35° - 38°. Se usa 35°. Peso Unitario de 20 kN/m ³
Infraestructura	Cubierta de asfalto asociada a estacionamientos de condominio Ayllu, espesor 50 cm	Cohesión C (kN/m ²) 250 kN/m ² Ángulo de fricción Phi (°) 40°. Peso Unitario de 20 kN/m ³
Zona de falla	Zona o área que incluye una zona asociada a una o varias trazas de fallas con espesor importante para la escala del mapeo (1:1.000) determinadas a partir del modelo estructural del estudio.	Cohesión C (kN/m ²) < 100 kN/m ² . Valor usado 90 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) ≤15° (se usa 15°) Peso Unitario de 15 kN/m ³
Lutitas	Rocas sedimentarias de grano fino estratificadas en la base de la secuencia. Manteo sub horizontal y presenta un espesor máximo de 20 m. Presencia de diaclasas cerradas o rellenas con sales solubles y cortas (1-3m) y espaciamientos < 50 cm que ocasionan que se rompan en bloques pequeños a través de estructuras. La resistencia al cizalle y calidad que presenta esta unidad es baja.	Dureza media a baja. 27,7 a 55 MPa. Cohesión C (kN/m ²) entre 100 y 200. Se usa mínimo del rango. Ángulo de fricción Phi (°) 15° - 25°. Se usa 18°. Peso Unitario de 18 kN/m ³ Geological Strength Index (GSI) 30 según datos de terreno (mala calidad geotécnica)

Sección 6

Perfil_U9_zonas grietas y paseo
Resultados caso estático

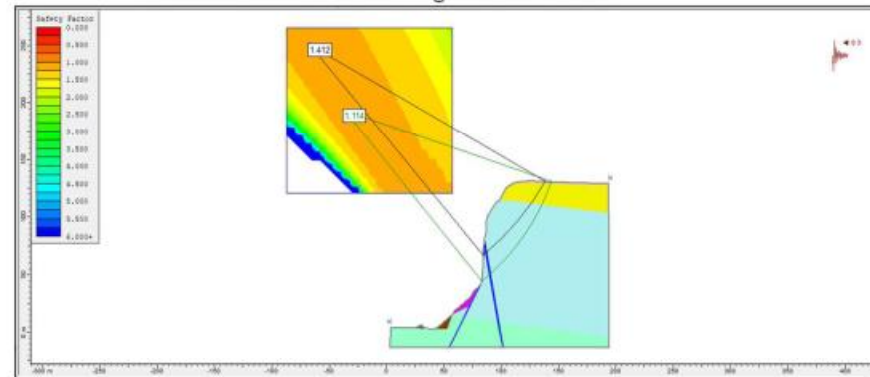


Caso	Factores de seguridad (mínimo)
Estático	1,431
Sísmico	1,114
Sísmico con grietas de tensión	0,016

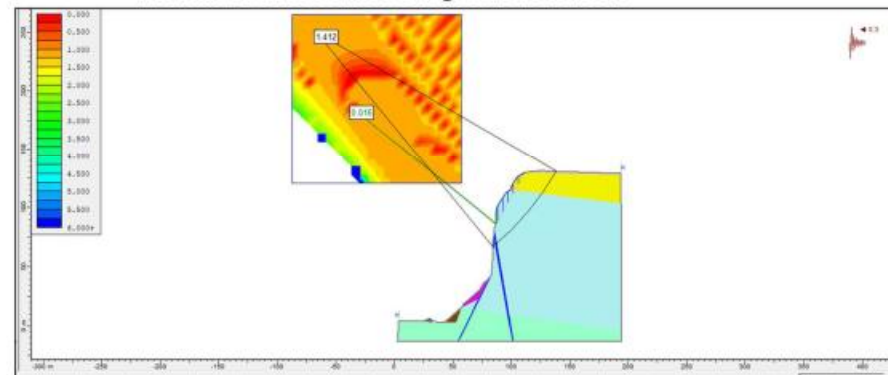
- En condiciones estáticas $FS > 1,0$ y ante condiciones sísmicas se acerca al equilibrio límite (con pérdida de rampa potencial de **30 metros desde el borde (zona de infraestructura paseo y estatuas).**
- Al agregar grietas de tensión, aparecen zonas potencialmente inestables con $FS <$ especialmente en zona de roca fracturada y falla. No cambia si hay lutitas o rocas volcánicas abajo

Análisis deslizamientos rotacionales

Resultados caso sísmico sin grietas de tensión



Resultados caso sísmico con grietas de tensión

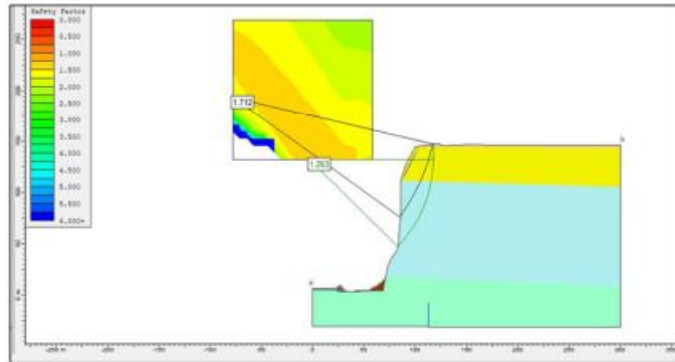


Materiales y propiedades Sección 7- Perfil U8_bloque Museo

Tipo de material	Características	Propiedades
Roca cubierta con regolito	Unidad compuesta por sedimentos y detritos semi compactados que se encuentran en la cima del Morro cubriendo las rocas. Los fragmentos son angulosos y su composición varía entre rocas sedimentarias y volcánicas, con tamaños de bloques menores a 20 cm. Espesor 2 m con geometría paralela a la topografía.	Dureza baja a media (compresión simple: 27,7 a 55 MPa) Cohesión C (kN/m ²) < 100. Se usa 90 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Peso Unitario de 18 kN/m ³ .
Rocas sedimentarias	Secuencia que agrupa a las rocas sedimentarias (indiferenciadas) en la parte superior del Morro, alcanzando 40m de potencia. Incluye areniscas, limolitas, lutitas de colores claros, con dureza media y poca presencia de estructuras geológicas, dispuestas con maneto sub horizontal bajo la roca cubierta con regolito.	Dureza media (compresión simple 55 MPa) Cohesión C (kN/m ²) 200-300. Se usa 300 kN/m ² Ángulo de fricción Phi (°) 25°-35°. Se usa 32°. Peso Unitario de 20 kN/m ³ . Geological Strength Index (GSI) 20-40 según datos de terreno (mala a regular calidad geotécnica)
Rocas volcánicas	Unidad que agrupan todas las rocas volcánicas en la parte central y superior del Morro. Incluye pillow lavas, andesitas, brechas volcánicas. La secuencia alcanza potencias de 80m. Las rocas tienen alta dureza. Presentan diaclasas y fallas que atraviesan la secuencia, que incluyen largos métricos. Están abiertas o con rellenos de sales solubles.	Dureza alta a muy alta. Resistencia a la compresión simple: 100 MPa. Cohesión C (kN/m ²) entre 300 y 400. Se usa 350 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 35° - 45°. Se usa 40°. Peso Unitario de 20 kN/m ³ Geological Strength Index (GSI) 50-65 según datos de terreno (regular a buena calidad geotécnica)
Material antigua remoción	Unidad que agrupa depósitos de remoción en masa antiguos indiferenciados, incluyendo los grandes volúmenes en ladera posterior a Ayllu y depósito en la en la ladera del Morro en la actual zona de zanja. Compuesto por gravas (bloques centimétricos a métricos) con granulometría y composición variable.	Cohesión C (kN/m ²) entre 90 y 200. Se usa 90 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 30° - 32°. Se usa 30°. Peso Unitario de 18 kN/m ³
Zanja	Incluye zona de zanja artificial generada para contención de rocas. Actualmente se usa como basural y habitación personas en situación de calle.	Cohesión C (kN/m ²) entre 90 y 200. Se usa 100 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 20°. Peso Unitario de 18 kN/m ³
Muro de roca	Enrocado artificial compuesto de bloques de rocas métricos trenzados con cables de acero y anclajes fijos a las rocas. Alcanza una altura de hasta 5 metros y se construyó para retener rocas a continuación de la zanja y al borde de la calzada.	Cohesión C (kN/m ²) entre 200 y 300. Se usa 300 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 35° - 38°. Se usa 35°. Peso Unitario de 20 kN/m ³
Infraestructura	Cubierta de asfalto asociada a estacionamientos de condominio Ayllu, espesor 50 cm	Cohesión C (kN/m ²) 250 kN/m ² Ángulo de fricción Phi (°) 40°. Peso Unitario de 20 kN/m ³
Zona de falla	Zona o área que incluye una zona asociada a una o varias trazas de fallas con espesor importante para la escata del mapeo (1:1.000) determinadas a partir del modelo estructural del estudio.	Cohesión C (kN/m ²) < 100 kN/m ² . Valor usado 50 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) ≤15° (se usa 15°) Peso Unitario de 15 kN/m ³
Lutitas	Rocas sedimentarias de grano fino estratificadas en la base de la secuencia. Manteo sub horizontal y presenta un espesor máximo de 20 m. Presencia de diaclasas cerradas o rellenas con sales solubles y cortas (1-3m) y espaciamientos < 50 cm que ocasionan que se rompan en bloques pequeños a través de estructuras. La resistencia al cizalle y calidad que presenta esta unidad es baja.	Dureza media a baja. 27,7 a 55 MPa. Cohesión C (kN/m ²) entre 100 y 200. Se usa mínimo del rango. Ángulo de fricción Phi (°) 15° - 25°. Se usa 18°. Peso Unitario de 18 kN/m ³ Geological Strength Index (GSI) 30 según datos de terreno (mala calidad geotécnica)

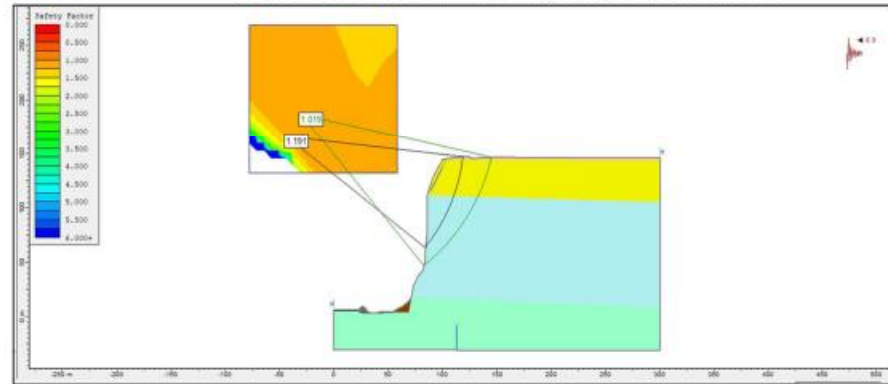
Sección 7
Perfil U8_bloque Museo

Resultados caso estático



Análisis deslizamientos rotacionales

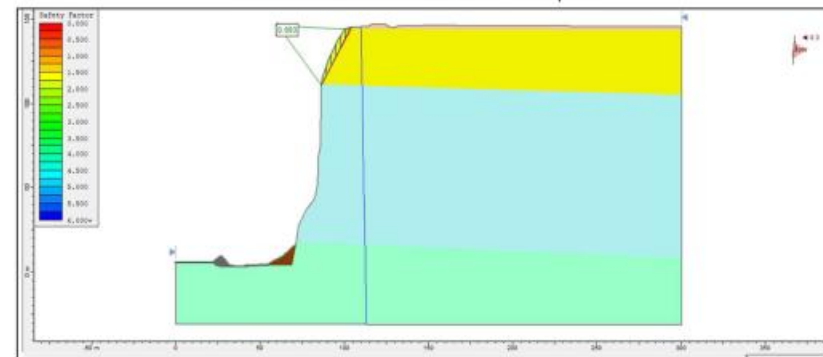
Resultados caso sísmico con y sin grietas de tensión



Caso	Factores de seguridad (mínimo)
Estático	1,263
Sísmico (con y sin grietas)	1,019
Sísmico bloque (grieta abierta o rellena con yeso)	0,993 (*)

Análisis deslizamientos traslacionales

Resultados caso sísmico – bloque.

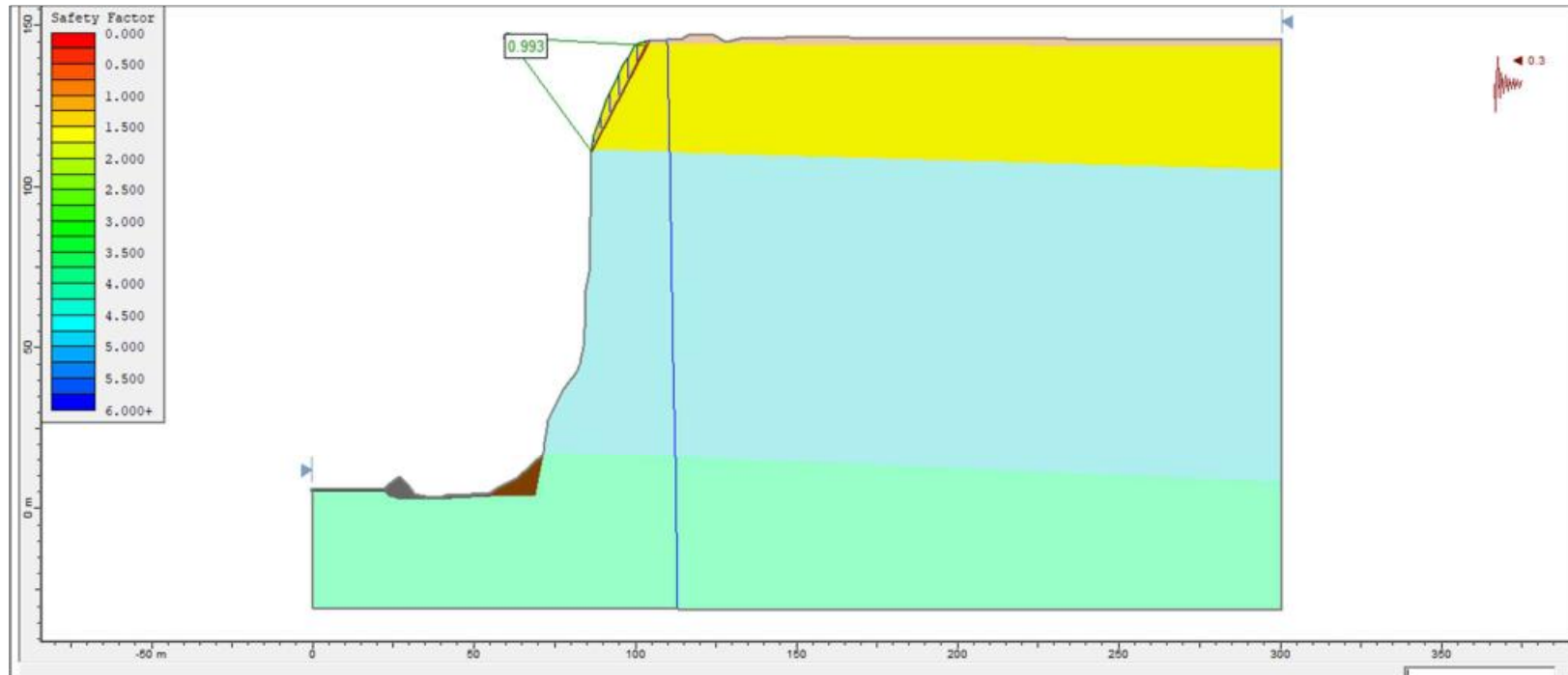


- En condiciones estáticas $FS > 1,0$ y ante condiciones sísmicas se acerca al equilibrio límite (con pérdida de rampa potencial).
- Al agregar grietas de tensión, se mantiene equilibrio límite. Caso particular cohesión 50 KN/m² y Phi 15° para zona de falla principal abierta.
- Se analiza FS de bloque (falla plana).

Sección 7
Perfil U8_bloque Museo

Análisis deslizamientos traslacionales

Resultados caso sísmico – bloque.



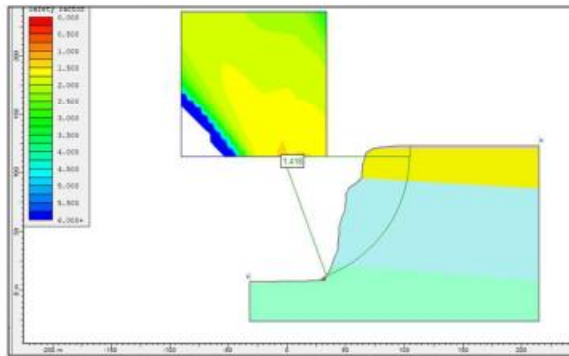
Materiales y propiedades Sección 8 - Perfil_U8_zona cuñas costanera

Tipo de material	Características	Propiedades
Roca cubierta con regolito	Unidad compuesta por sedimentos y detritos semi compactados que se encuentran en la cima del Morro cubriendo las rocas. Los fragmentos son angulosos y su composición varía entre rocas sedimentarias y volcánicas, con tamaños de bloques menores a 20 cm. Espesor 2 m con geometría paralela a la topografía.	Dureza baja a media (compresión simple: 27,7 a 55 MPa) Cohesión C (kN/m ²) < 100. Se usa 90 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Peso Unitario de 18 kN/m ³ .
Rocas sedimentarias	Secuencia que agrupa a las rocas sedimentarias (indiferenciadas) en la parte superior del Morro, alcanzando 40m de potencia. Incluye areniscas, limolitas, lutitas de colores claros, con dureza media y poca presencia de estructuras geológicas, dispuestas con maneto sub horizontal bajo la roca cubierta con regolito.	Dureza media (compresión simple 55 MPa) Cohesión C (kN/m ²) 200-300. Se usa 300 kN/m ² Ángulo de fricción Phi (°) 25°-35°. Se usa 32°. Peso Unitario de 20 kN/m ³ . Geological Strength Index (GSI) 20-40 según datos de terreno (mala a regular calidad geotécnica)
Rocas volcánicas	Unidad que agrupan todas las rocas volcánicas en la parte central y superior del Morro. Incluye pillow lavas, andesitas, brechas volcánicas. La secuencia alcanza potencias de 80m. Las rocas tienen alta dureza. Presentan diaclasas y fallas que atraviesan la secuencia, que incluyen largos métricos. Están abiertas o con rellenos de sales solubles.	Dureza alta a muy alta. Resistencia a la compresión simple: 100 MPa. Cohesión C (kN/m ²) entre 300 y 400. Se usa 350 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 35° - 45°. Se usa 40°. Peso Unitario de 20 kN/m ³ Geological Strength Index (GSI) 50-65 según datos de terreno (regular a buena calidad geotécnica)
Material antigua remoción	Unidad que agrupa depósitos de remoción en masa antiguos indiferenciados, incluyendo los grandes volúmenes en ladera posterior a Ayllu y depósito en la en la ladera del Morro en la actual zona de zanja. Compuesto por gravas (bloques centímetros a métricos) con granulometría y composición variable.	Cohesión C (kN/m ²) entre 90 y 200. Se usa 90 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 30° - 32°. Se usa 30°. Peso Unitario de 18 kN/m ³
Infraestructura	Cubierta de asfalto asociada a estacionamientos de condominio Ayllu, espesor 50 cm	Cohesión C (kN/m ²) 250 kN/m ² Ángulo de fricción Phi (°) 40°. Peso Unitario de 20 kN/m ³
Lutitas	Rocas sedimentarias de grano fino estratificadas en la base de la secuencia. Manteo sub horizontal y presenta un espesor máximo de 20 m. Presencia de diaclasas cerradas o rellenas con sales solubles y cortas (1-3m) y espaciamientos < 50 cm que ocasionan que se rompan en bloques pequeños a través de estructuras. La resistencia al cizalle y calidad que presenta esta unidad es baja.	Dureza media a baja. 27,7 a 55 MPa. Cohesión C (kN/m ²) entre 100 y 200. Se usa mínimo del rango. Ángulo de fricción Phi (°) 15° - 25°. Se usa 18°. Peso Unitario de 18 kN/m ³ Geological Strength Index (GSI) 30 según datos de terreno (mala calidad geotécnica)
Depósitos al pie de talud	Unidad que agrupa a depósitos al pie del Morro cuyo origen no es determinado, incluye sedimentos removidos y arrastrados por viento.	Cohesión C (kN/m ²) < 100 kN/m ² Ángulo de fricción Phi (°) 20°. Peso Unitario de 20 kN/m ³
Zona de falla	Zona o área que incluye una zona asociada a una o varias trazas de fallas con espesor importante para la escala del mapeo (1:1.000) determinadas a partir del modelo estructural del estudio.	Cohesión C (kN/m ²) < 100 kN/m ² . Valor usado 50 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) ≤15° (se usa 15°) Peso Unitario de 15 kN/m ³

Sección 8

Perfil_U8_zona cuñas costanera

Resultados caso estático

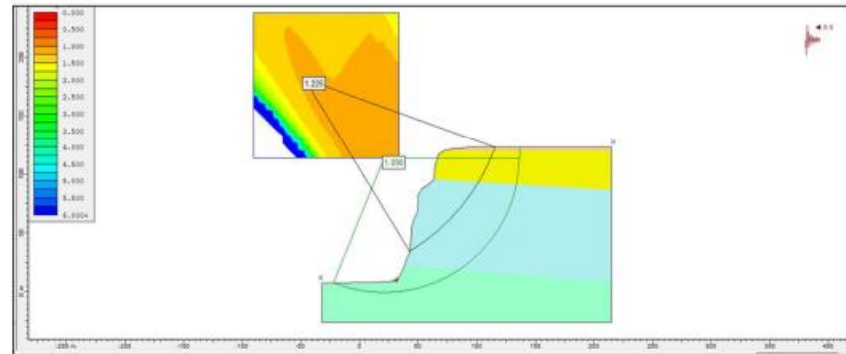


Caso	Factores de seguridad (mínimo)
Estático	1,418
Sísmico (con y sin grietas)	1,090
Sísmico bloque	2,569

- En condiciones estáticas $FS > 1,0$ y ante condiciones sísmicas se acerca al equilibrio límite (con pérdida de rampa potencial).
- Al agregar grietas de tensión, se mantiene equilibrio límite.
- Puede que relleno de falla está sobre estimado. Influye la buena calidad geotécnica de la roca.

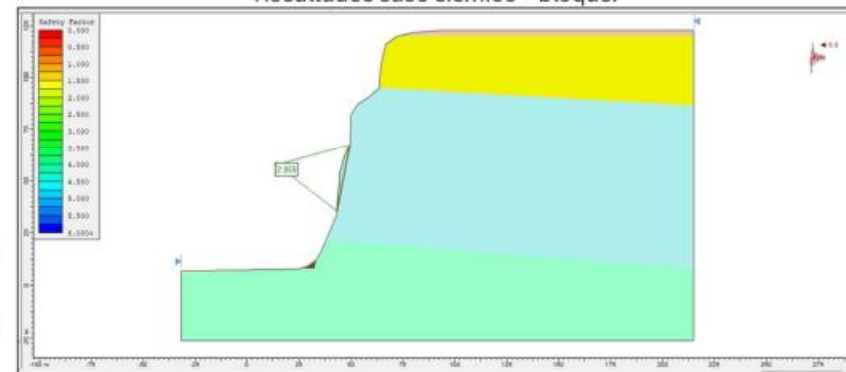
Análisis deslizamientos rotacionales

Resultados caso sísmico con y sin grietas de tensión

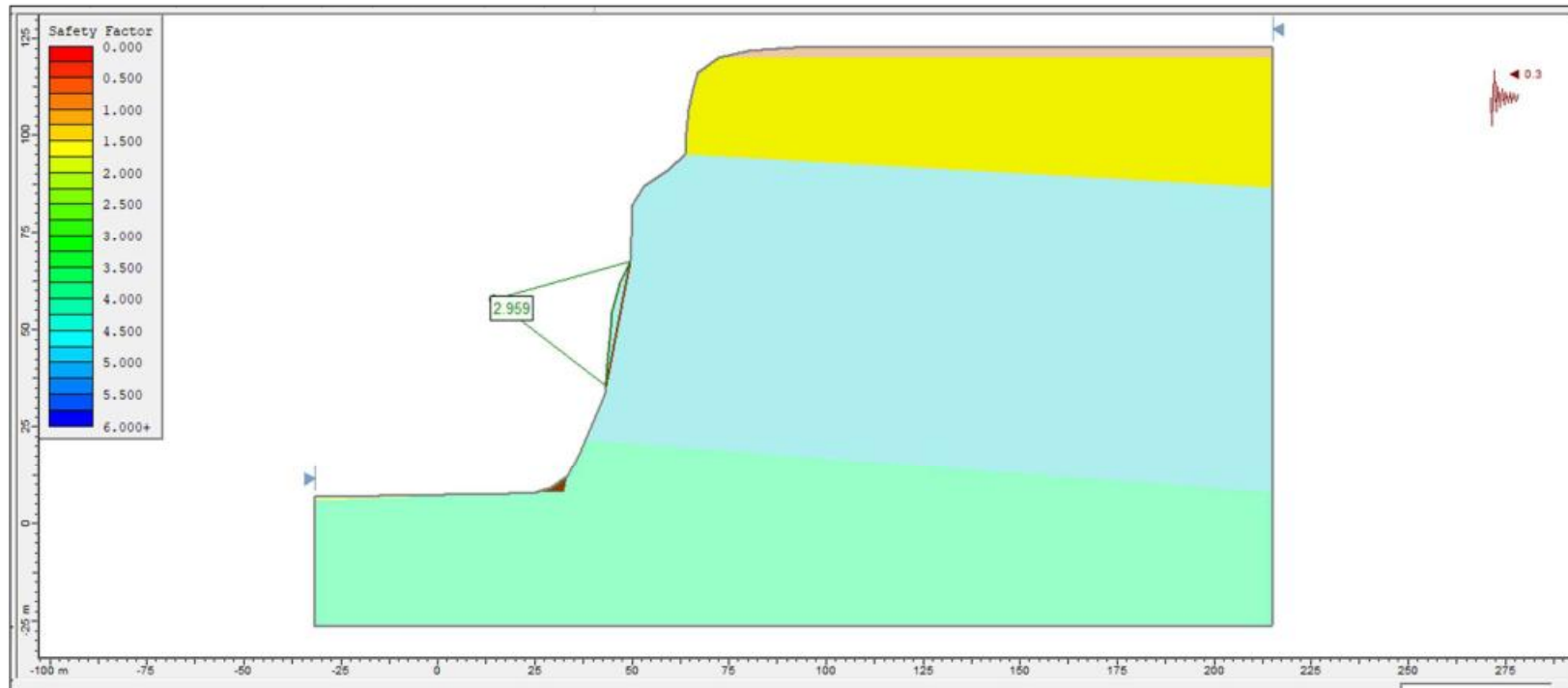


Análisis deslizamientos traslacionales

Resultados caso sísmico – bloque.



Sección 8
Perfil_U8_zona cuñas costanera
Análisis deslizamientos traslacionales
Resultados caso sísmico – bloque.

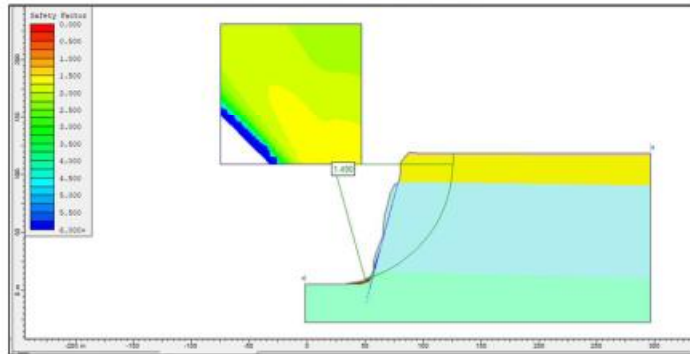


Materiales y propiedades Sección 9 - Perfil_U7 postal turística Morro

Tipo de material	Características	Propiedades
Roca cubierta con regolito	Unidad compuesta por sedimentos y detritos semi compactados que se encuentran en la cima del Morro cubriendo las rocas. Los fragmentos son angulosos y su composición varía entre rocas sedimentarias y volcánicas, con tamaños de bloques menores a 20 cm. Espesor 2 m con geometría paralela a la topografía.	Dureza baja a media (compresión simple: 27,7 a 55 MPa) Cohesión C (kN/m ²) < 100. Se usa 90 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Peso Unitario de 18 kN/m ³ .
Rocas sedimentarias	Secuencia que agrupa a las rocas sedimentarias (indiferenciadas) en la parte superior del Morro, alcanzando 40m de potencia. Incluye areniscas, limolitas, lutitas de colores claros, con dureza media y poca presencia de estructuras geológicas, dispuestas con maneto sub horizontal bajo la roca cubierta con regolito.	Dureza media (compresión simple 55 MPa) Cohesión C (kN/m ²) 200-300. Se usa 300 kN/m ² Ángulo de fricción Phi (°) 25°-35°. Se usa 32°. Peso Unitario de 20 kN/m ³ . Geological Strength Index (GSI) 20-40 según datos de terreno (mala a regular calidad geotécnica)
Rocas volcánicas	Unidad que agrupan todas las rocas volcánicas en la parte central y superior del Morro. Incluye pillow lavas, andesitas, brechas volcánicas. La secuencia alcanza potencias de 80m. Las rocas tienen alta dureza. Presentan diaclasas y fallas que atraviesan la secuencia, que incluyen largos métricos. Están abiertas o con rellenos de sales solubles.	Dureza alta a muy alta. Resistencia a la compresión simple: 100 MPa. Cohesión C (kN/m ²) entre 300 y 400. Se usa 350 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 35° - 45°. Se usa 40°. Peso Unitario de 20 kN/m ³ Geological Strength Index (GSI) 50-65 según datos de terreno (regular a buena calidad geotécnica)
Material antigua remoción	Unidad que agrupa depósitos de remoción en masa antiguos indiferenciados, incluyendo los grandes volúmenes en ladera posterior a Ayllu y depósito en la en la ladera del Morro en la actual zona de zanja. Compuesto por gravas (bloques centimétricos a métricos) con granulometría y composición variable.	Cohesión C (kN/m ²) entre 90 y 200. Se usa 90 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 30° - 32°. Se usa 30°. Peso Unitario de 18 kN/m ³
Infraestructura	Cubierta de asfalto asociada a estacionamientos de condominio Ayllu, espesor 50 cm	Cohesión C (kN/m ²) 250 kN/m ² Ángulo de fricción Phi (°) 40°. Peso Unitario de 20 kN/m ³
Lutitas	Rocas sedimentarias de grano fino estratificadas en la base de la secuencia. Manteo sub horizontal y presenta un espesor máximo de 20 m. Presencia de diaclasas cerradas o rellenas con sales solubles y cortas (1-3m) y espaciamientos < 50 cm que ocasionan que se rompan en bloques pequeños a través de estructuras. La resistencia al cizalle y calidad que presenta esta unidad es baja.	Dureza media a baja. 27,7 a 55 MPa. Cohesión C (kN/m ²) entre 100 y 200. Se usa mínimo del rango. Ángulo de fricción Phi (°) 15° - 25°. Se usa 18°. Peso Unitario de 18 kN/m ³ Geological Strength Index (GSI) 30 según datos de terreno (mala calidad geotécnica)
Depósitos al pie de talud	Unidad que agrupa a depósitos al pie del Morro cuyo origen no es determinado, incluye sedimentos removidos y arrastrados por viento, y pasto.	Cohesión C (kN/m ²) < 100 kN/m ² Ángulo de fricción Phi (°) 20°. Peso Unitario de 20 kN/m ³
Zona de falla	Zona o área que incluye una zona asociada a una o varias trazas de fallas con espesor importante para la escala del mapeo (1:1.000) determinadas a partir del modelo estructural del estudio.	Cohesión C (kN/m ²) < 100 kN/m ² . Valor usado 50 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) ≤15° (se usa 15°) Peso Unitario de 15 kN/m ³

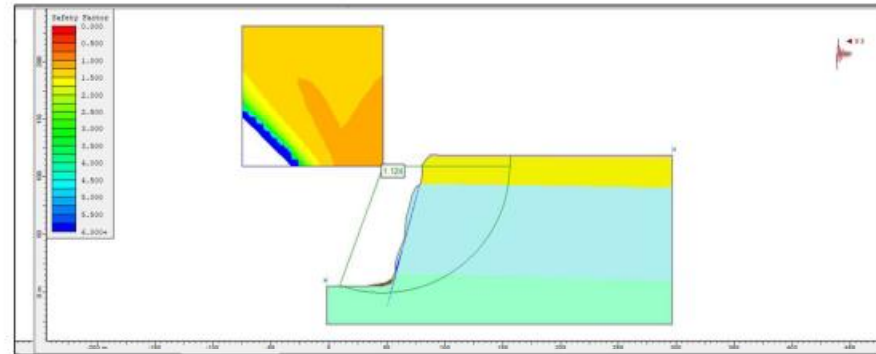
Sección 9
Perfil_U7 postal turística Morro

Resultados caso estático



Análisis deslizamientos rotacionales

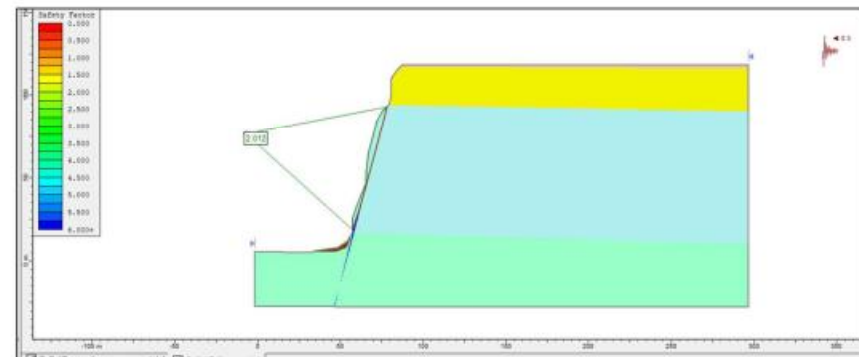
Resultados caso sísmico sin grietas de tensión



Caso	Factores de seguridad (mínimo)
Estático	1,490
Sísmico	1,124
Sísmico con grietas de tensión	2,012

Análisis deslizamientos traslacionales

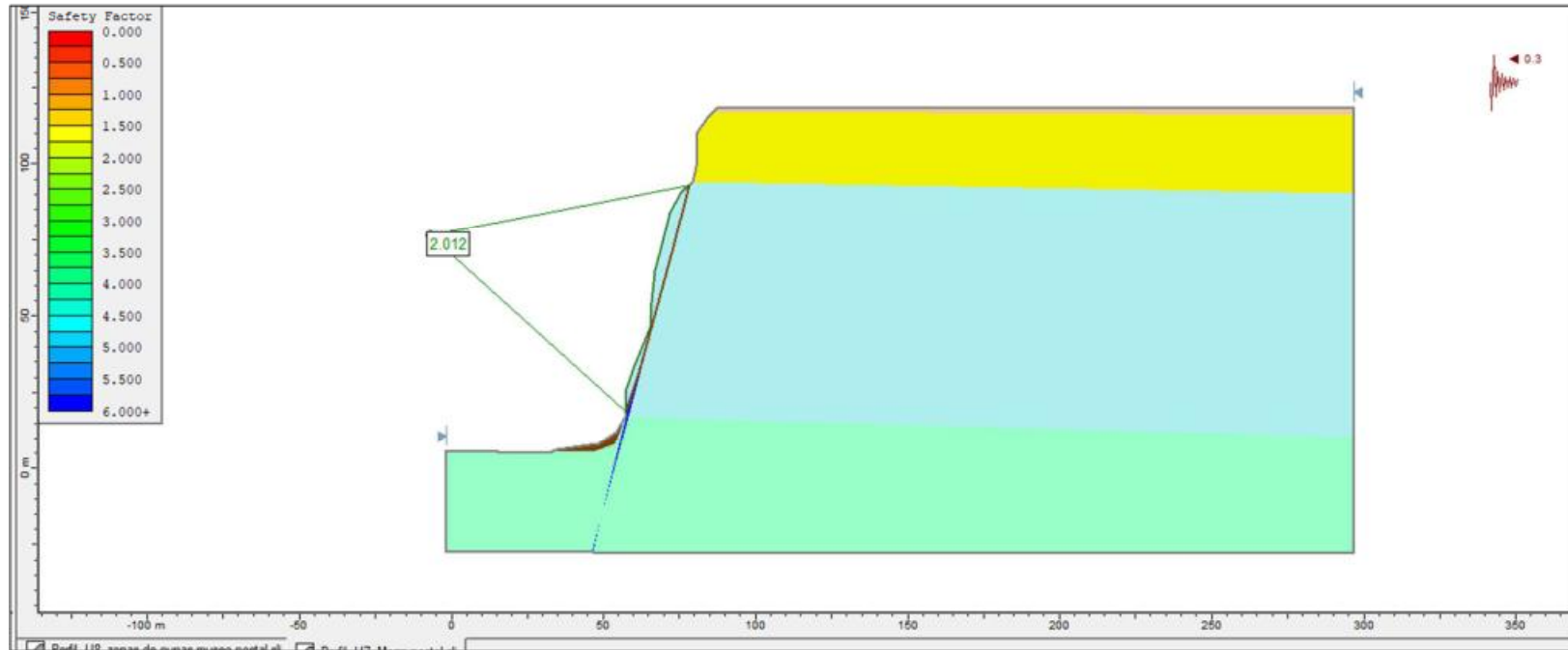
Resultados caso sísmico – bloque.



- En condiciones estáticas y sísmicas $FS > 1,0$.
- No se visualizaron grietas de tensión, se mantiene equilibrio límite.
- Influye calidad de la roca.

Sección 9
Perfil_U7 postal turística Morro

Análisis deslizamientos traslacionales
Resultados caso sísmico – bloque.

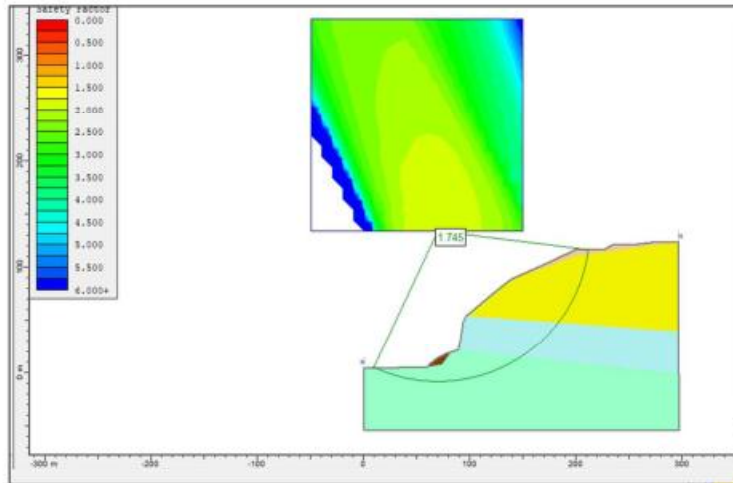


Materiales y propiedades Sección 10 - Perfil U5_Morro casas

Tipo de material	Características	Propiedades
Roca cubierta con regolito	Unidad compuesta por sedimentos y detritos semi compactados que se encuentran en la cima del Morro cubriendo las rocas. Los fragmentos son angulosos y su composición varía entre rocas sedimentarias y volcánicas, con tamaños de bloques menores a 20 cm. Espesor 2 m con geometría paralela a la topografía.	Dureza baja a media (compresión simple: 27,7 a 55 MPa) Cohesión C (kN/m ²) < 100. Se usa 90 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Peso Unitario de 18 kN/m ³ .
Rocas sedimentarias	Secuencia que agrupa a las rocas sedimentarias (indiferenciadas) en la parte superior del Morro, alcanzando 40m de potencia. Incluye areniscas, limolitas, lutitas de colores claros, con dureza media y poca presencia de estructuras geológicas, dispuestas con maneto sub horizontal bajo la roca cubierta con regolito.	Dureza media (compresión simple 55 MPa) Cohesión C (kN/m ²) 200-300. Se usa 300 kN/m ² Ángulo de fricción Phi (°) 25°-35°. Se usa 32°. Peso Unitario de 20 kN/m ³ . Geological Strength Index (GSI) 20-40 según datos de terreno (mala a regular calidad geotécnica)
Rocas volcánicas	Unidad que agrupan todas las rocas volcánicas en la parte central y superior del Morro. Incluye pillow lavas, andesitas, brechas volcánicas. La secuencia alcanza potencias de 80m. Las rocas tienen alta dureza. Presentan diaclasas y fallas que atraviesan la secuencia, que incluyen largos métricos. Están abiertas o con rellenos de sales solubles.	Dureza alta a muy alta. Resistencia a la compresión simple: 100 MPa. Cohesión C (kN/m ²) entre 300 y 400. Se usa 350 kN/m ² . Ángulo de fricción Phi (°) 35° - 45°. Se usa 40°. Peso Unitario de 20 kN/m ³ Geological Strength Index (GSI) 50-65 según datos de terreno (regular a buena calidad geotécnica)
Infraestructura	Cubierta de asfalto asociada a estacionamientos de condominio Ayllu, espesor 50 cm	Cohesión C (kN/m ²) 250 kN/m ² Ángulo de fricción Phi (°) 40°. Peso Unitario de 20 kN/m ³
Lutitas	Rocas sedimentarias de grano fino estratificadas en la base de la secuencia. Manteo sub horizontal y presenta un espesor máximo de 20 m. Presencia de diaclasas cerradas o rellenas con sales solubles y cortas (1-3m) y espaciamientos < 50 cm que ocasionan que se rompan en bloques pequeños a través de estructuras. La resistencia al cizalle y calidad que presenta esta unidad es baja.	Dureza media a baja. 27,7 a 55 MPa. Cohesión C (kN/m ²) entre 100 y 200. Se usa mínimo del rango. Ángulo de fricción Phi (°) 15° - 25°. Se usa 18°. Peso Unitario de 18 kN/m ³ Geological Strength Index (GSI) 30 según datos de terreno (mala calidad geotécnica)

Sección 10
Perfil U5_Morro casas

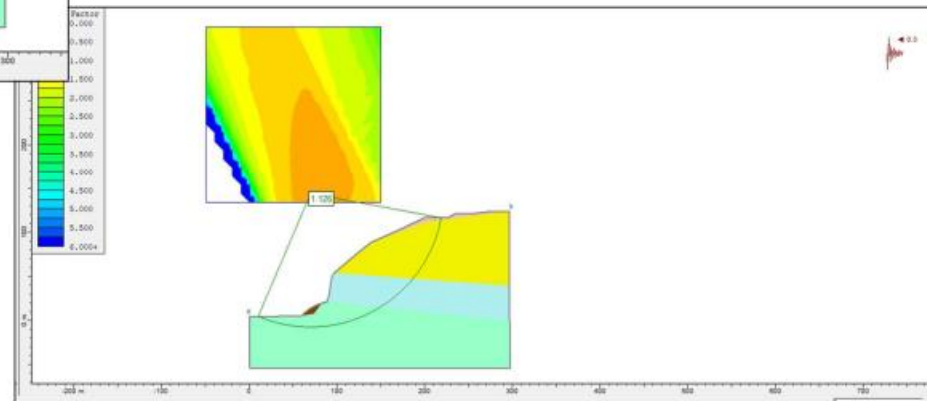
Resultados caso estático



Análisis deslizamientos rotacionales

Caso	Factores de seguridad (mínimo)
Estático	1,745
Sísmico	1,126

Resultados caso sísmico sin grietas de tensión



- En condiciones estáticas y sísmicas $FS > 1,0$.
- No se visualizaron grietas de tensión, se mantiene equilibrio límite.
- Influye geometría y altura de ladera.

ANEXO A.5 Resultados análisis de análisis de caídas de rocas por sección

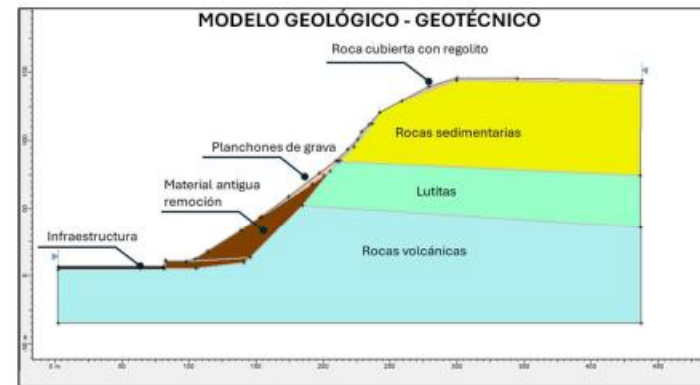
Sección 1 - Perfil Ayllu_U14

Tipo de material	Propiedades modelo caída de rocas
Roca cubierta con regolito	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,33 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,87
Rocas sedimentarias	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-35°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,35 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,40
Planchones de grava (*)	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 28°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,33 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,87
Material antigua remoción	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,32 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,72
Infraestructura (asfalto)	Ángulo de fricción Phi (°) 19°-59°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,4 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,9

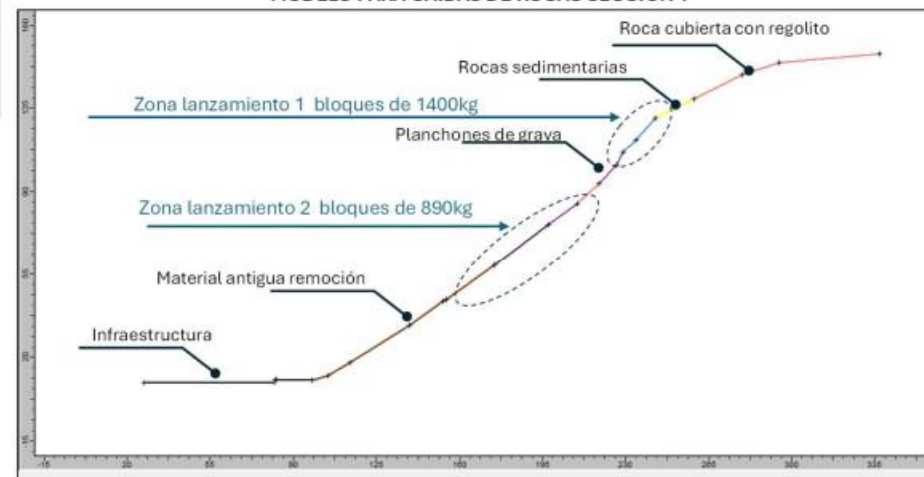
(*) Unidad planchones de grava definida exclusivamente como una capa en esta sección de análisis y no forma parte del modelo geológico - geotécnico del Morro.

Consideraciones:

- Dos zonas de lanzamientos (a partir de zonas irregulares, protuberancias o taludes colgados)
- 40 bloques de tamaños 0,4 y 1 m diámetro (densidad roca 2700 Kg/m³). Entre 890 Kg y 1,4 ton
- Velocidad inicial horizontal (Vh) 0m/s; 0,2 m/s; 1,5m/s.
Velocidad vertical (Vy = 0m/s)

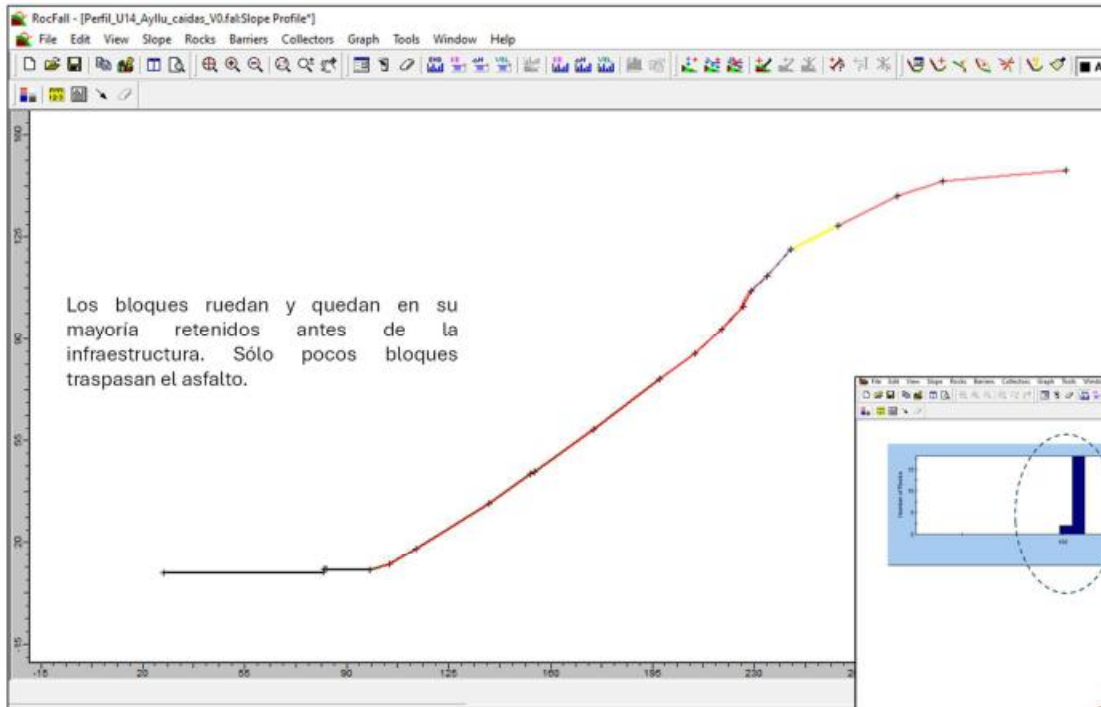


MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 1



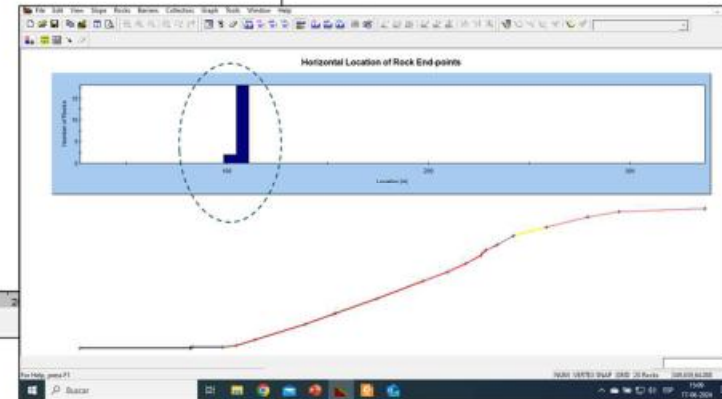
Sección 1 - Perfil Ayllu_U14

MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 1



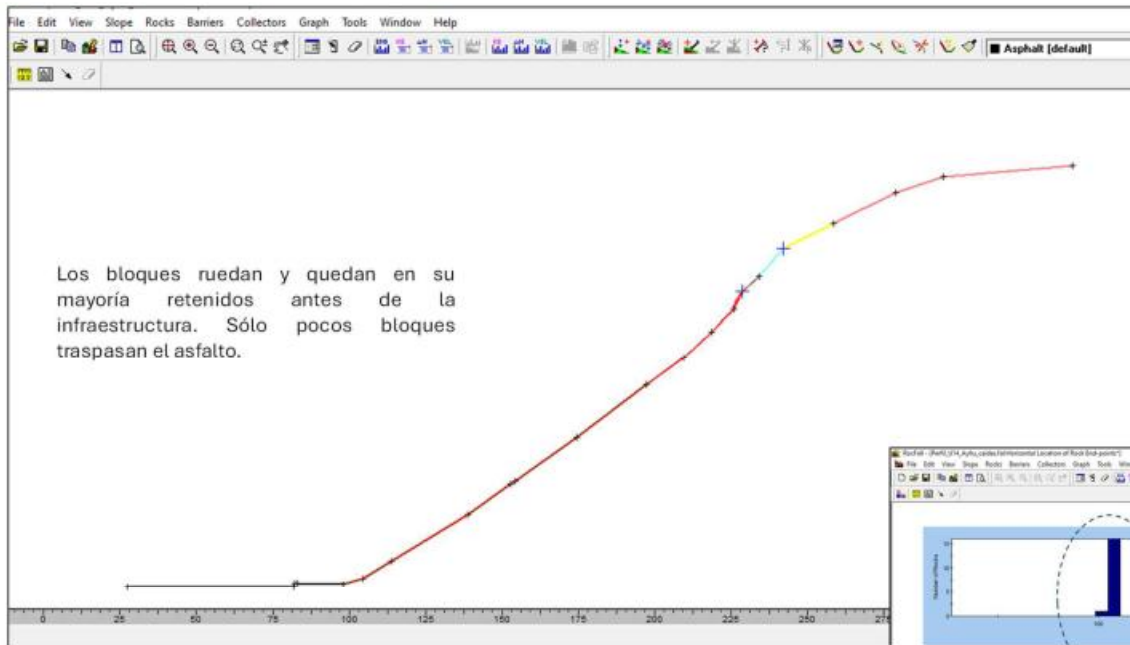
Resultados obtenidos

Caso $V_h = 0\text{m/s}$



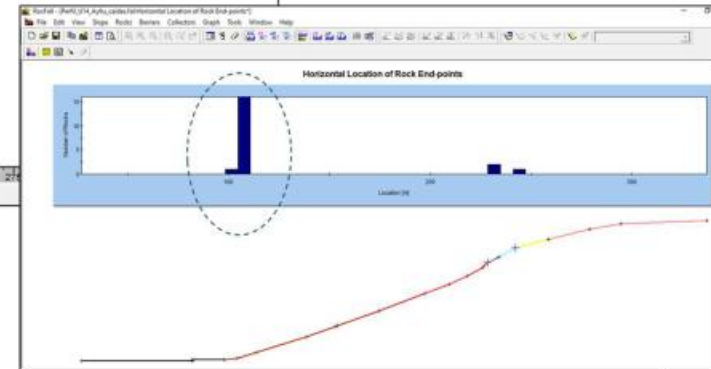
Sección 1 - Perfil Ayllu_U14

MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 1



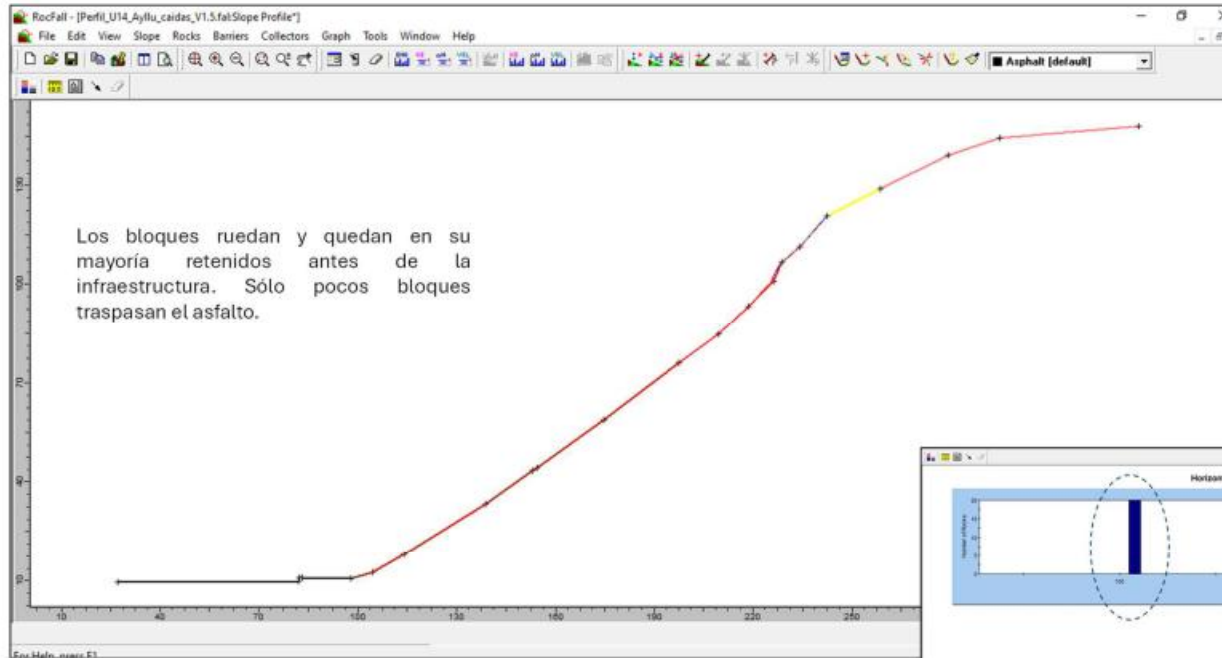
Resultados obtenidos

Caso $V_h = 0,2\text{m/s}$



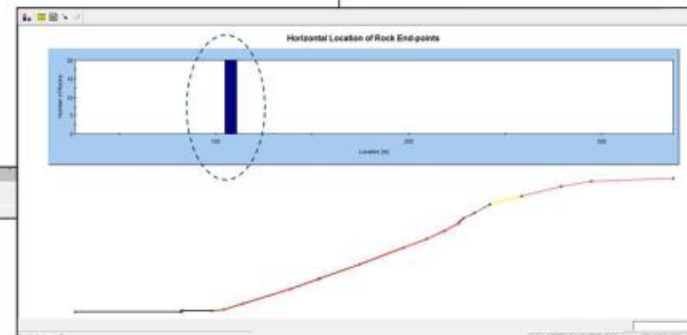
Sección 1 - Perfil Ayllu_U14

MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 1



Resultados obtenidos

Caso $V_h = 1,5\text{m/s}$



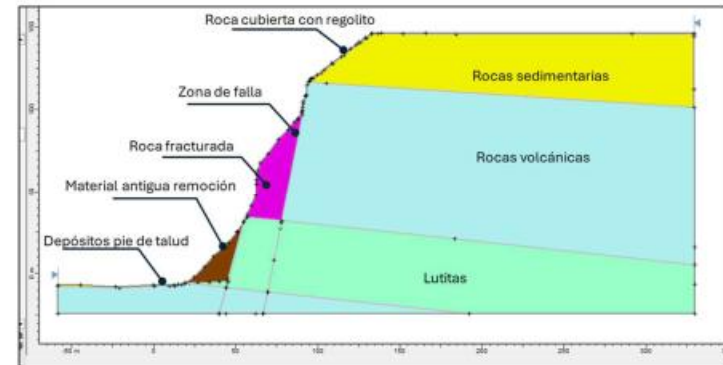
Sección 2 - Perfil U11_U12 – antigua cantera

Tipo de material	Propiedades modelo caída de rocas
Roca cubierta con regolito	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,33 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,87
Rocas sedimentarias	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-35°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,35 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,40
Zona de falla	Ángulo de fricción Phi (°) 15° Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,30 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,23
Material antigua remoción	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,32 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,72
Depósitos pie de talud	Ángulo de fricción Phi (°) 20° Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,35 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,85

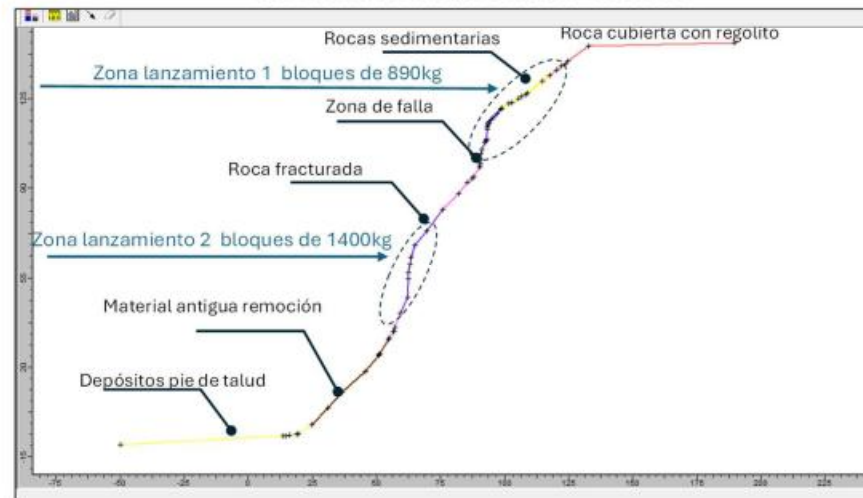
Consideraciones:

- Dos zonas de lanzamientos (a partir de zonas irregulares, protuberancias o taludes colgados)
- 40 bloques de tamaños 0,4 y 1 m diámetro (densidad roca 2700 Kg/m³). Entre 890 Kg y 1,4 ton
- Velocidad inicial horizontal (Vh) 0m/s; 0,2 m/s; 1,5m/s.
Velocidad vertical (Vy = 0m/s)

MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO

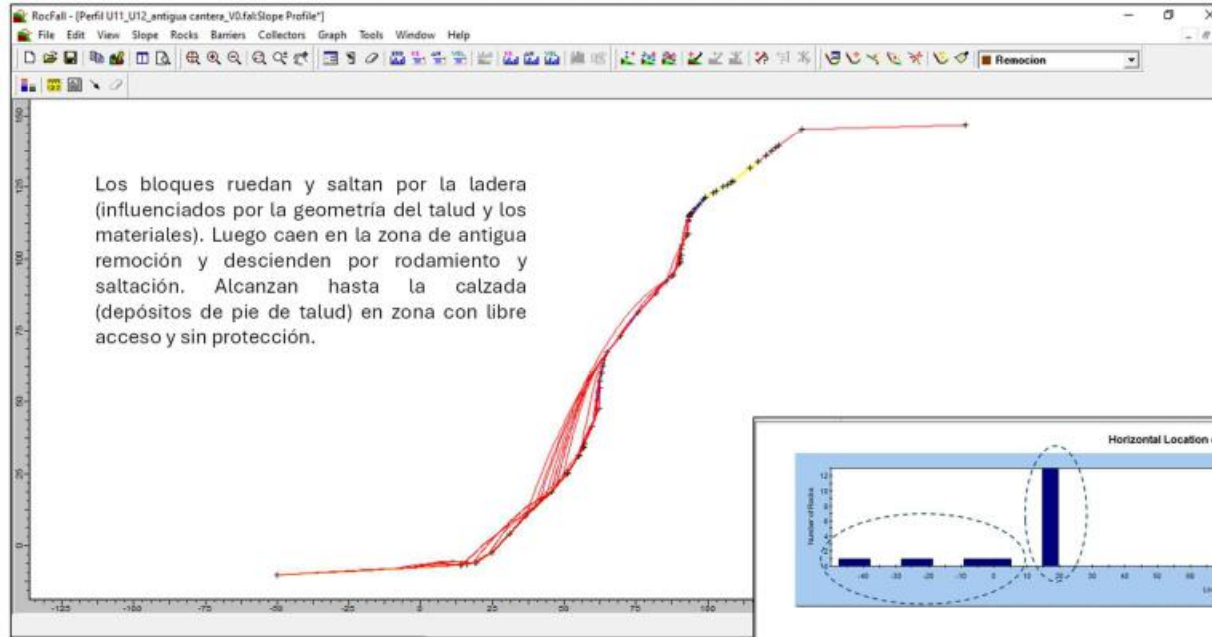


MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 2



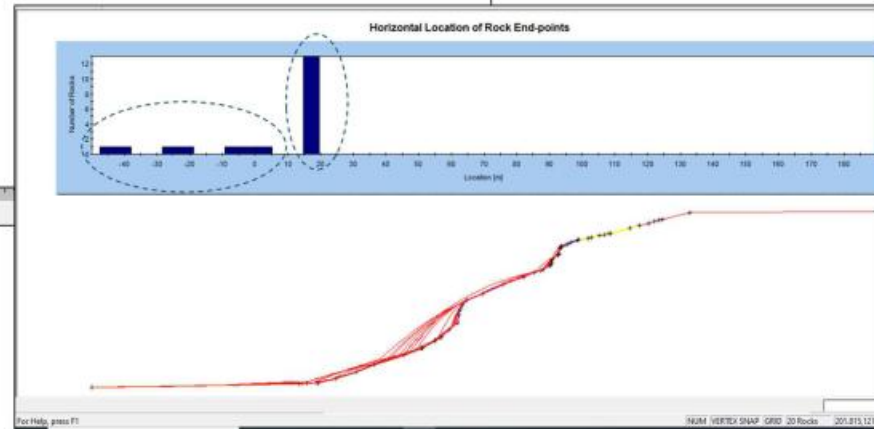
Sección 2 - Perfil U11_U12 - antigua cantera

MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 2



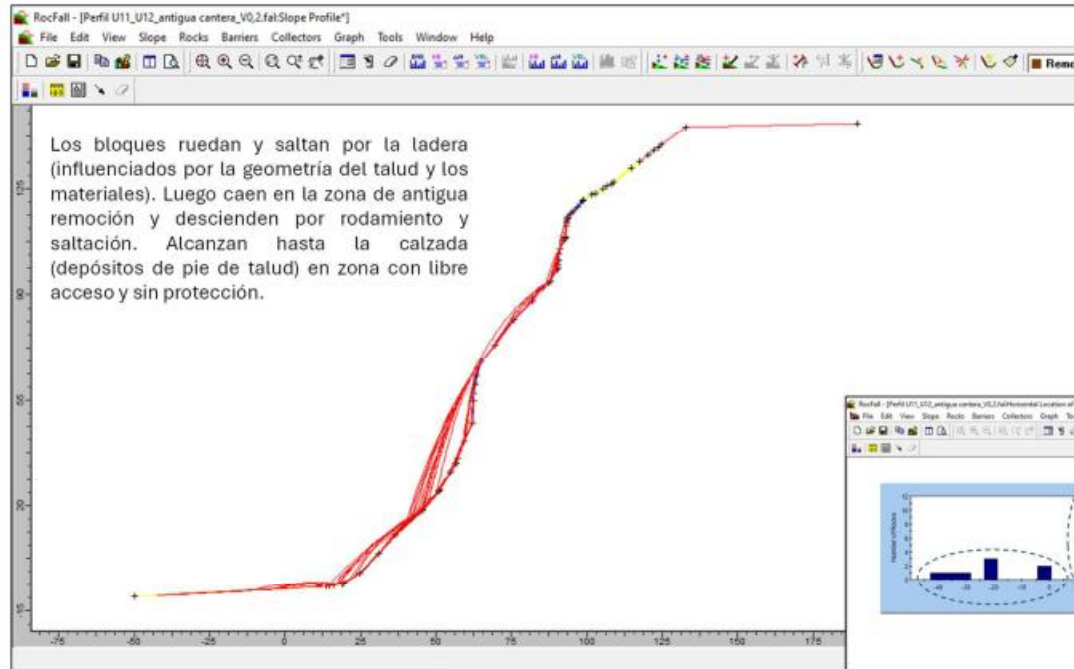
Resultados obtenidos

Caso $V_h = 0\text{m/s}$



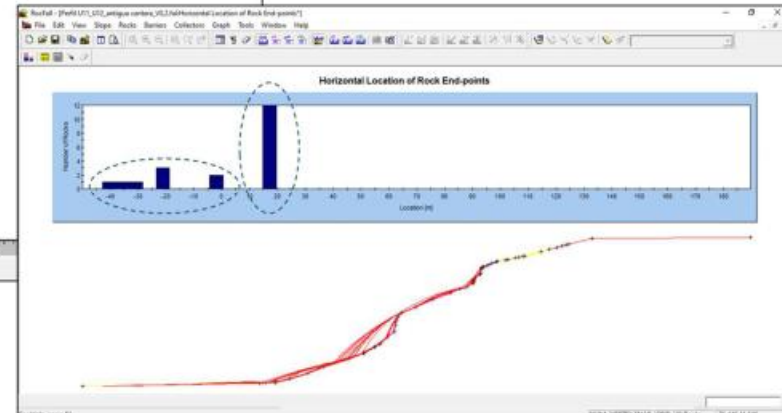
Sección 2 - Perfil U11_U12 – antigua cantera

MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 2



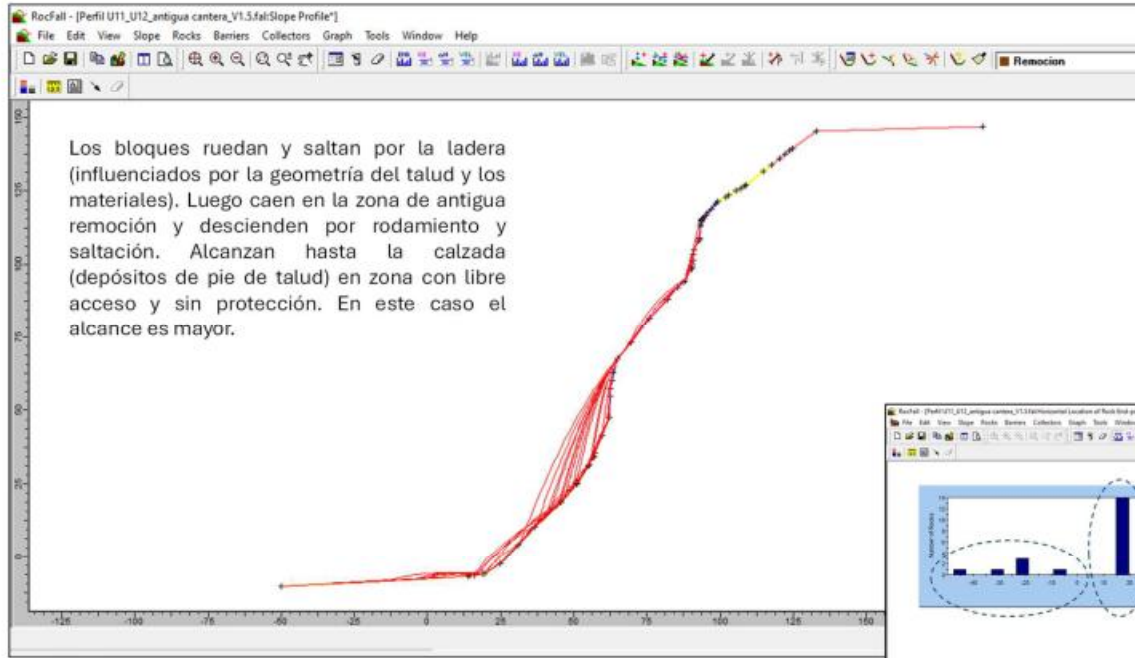
Resultados obtenidos

Caso $V_h = 0,2\text{m/s}$



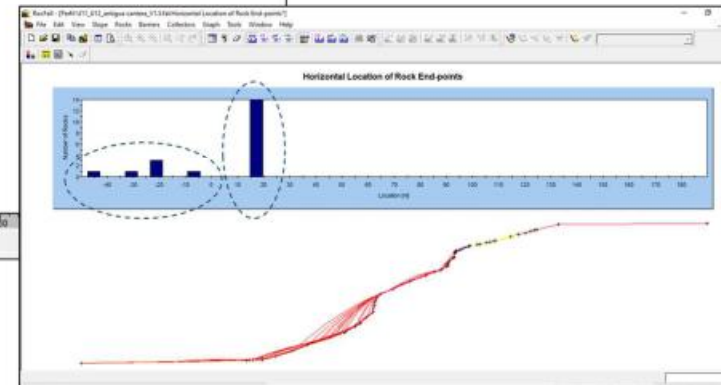
Sección 2 - Perfil U11_U12 – antigua cantera

MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 2



Resultados obtenidos

Caso $V_h = 1,5\text{m/s}$



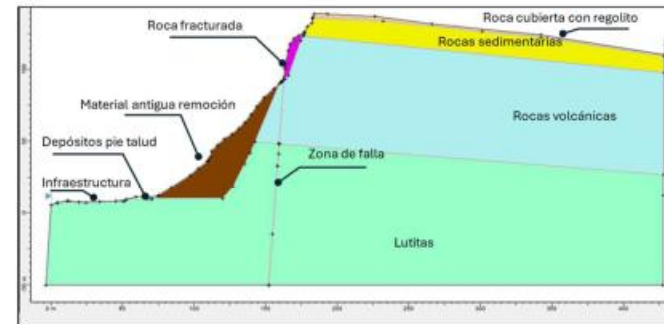
Sección 3 - Perfil U11_ roca fracturada

Tipo de material	Propiedades modelo caída de rocas
Roca cubierta con regolito	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,33 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,87
Rocas sedimentarias	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-35°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,35 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,40
Roca fracturada	Ángulo de fricción Phi (°) 15 – 25°. Se usa 25°, Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,35 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,85
Material antigua remoción	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,32 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,72
Depósitos pie de talud	Ángulo de fricción Phi (°) 20° Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,35 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,85
Infraestructura (asfalto)	Ángulo de fricción Phi (°) 19°-59°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,4 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,9

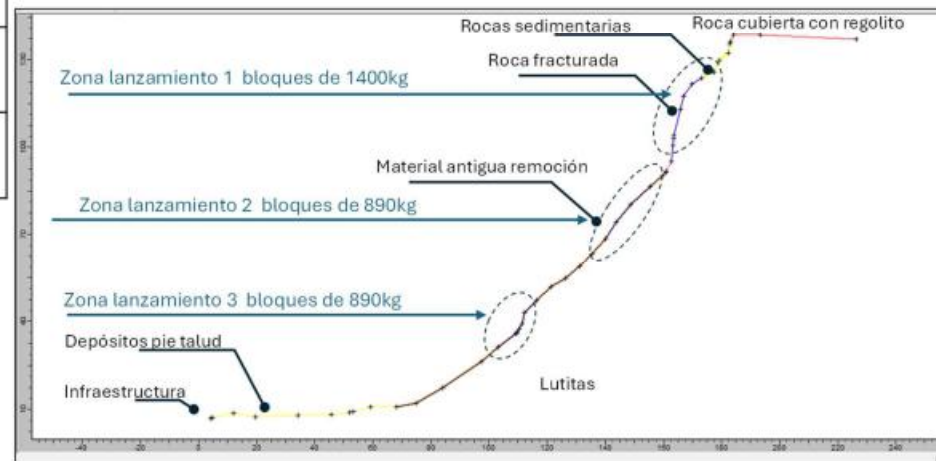
Consideraciones:

- Tres zonas de lanzamientos (a partir de zonas irregulares, protuberancias o taludes colgados)
- 60 bloques de tamaños 0,4 y 1 m diámetro (densidad roca 2700 Kg/m³). Entre 890 Kg y 1,4 ton
- Velocidad inicial horizontal (Vh) 0m/s; 0,2 m/s; 1,5m/s.
Velocidad vertical (Vy = 0m/s)

MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO



MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 3



Sección 3 - Perfil U11_ roca fracturada

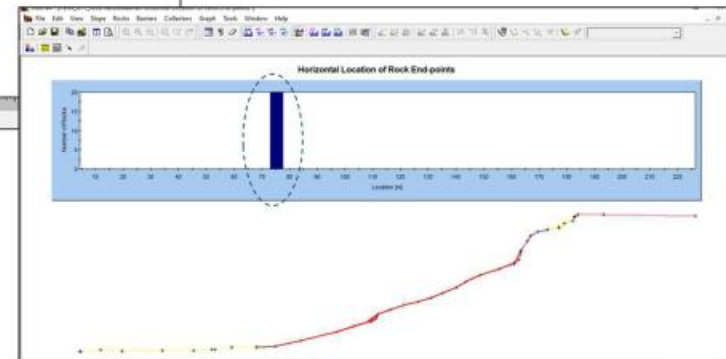
MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 3



Los bloques ruedan mayormente por la ladera (influenciados por la geometría del talud y los materiales). Luego caen en la zona de antigua remoción y descienden por rodamiento. Bloques en su mayoría alcanzan la zona de depósito de pie de talud, actualmente con libre acceso y sin protección.

Resultados obtenidos

Caso $V_h = 0\text{m/s}$



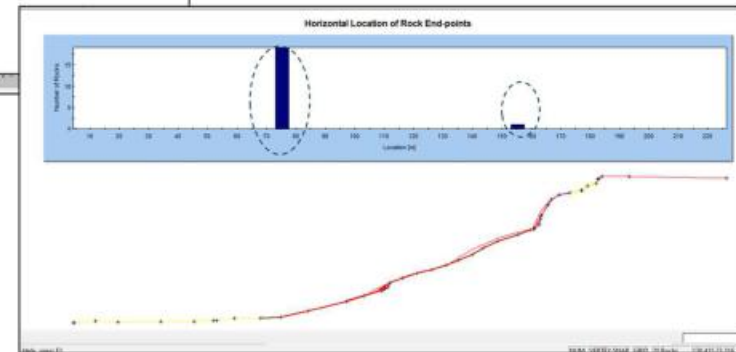
Sección 3 - Perfil U11_ roca fracturada

MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 3



Resultados obtenidos

Caso $V_h = 1,5\text{m/s}$



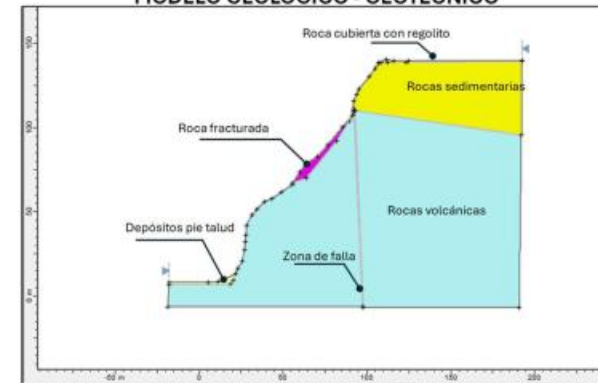
Sección 4 - Perfil U_11 pillow y grietas

Tipo de material	Propiedades modelo caída de rocas
Roca cubierta con regolito	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,33 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,87
Rocas sedimentarias	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-35°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,35 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,40
Roca fracturada	Ángulo de fricción Phi (°) 15 – 25°. Se usa 25°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,35 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,85
Zona de falla	Ángulo de fricción Phi (°) 15° Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,30 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,23
Depósitos pie de talud	Ángulo de fricción Phi (°) 20° Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,35 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,85
Rocas volcánicas	Ángulo de fricción Phi (°) 35°-45°. Se usa 40°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,45 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,9

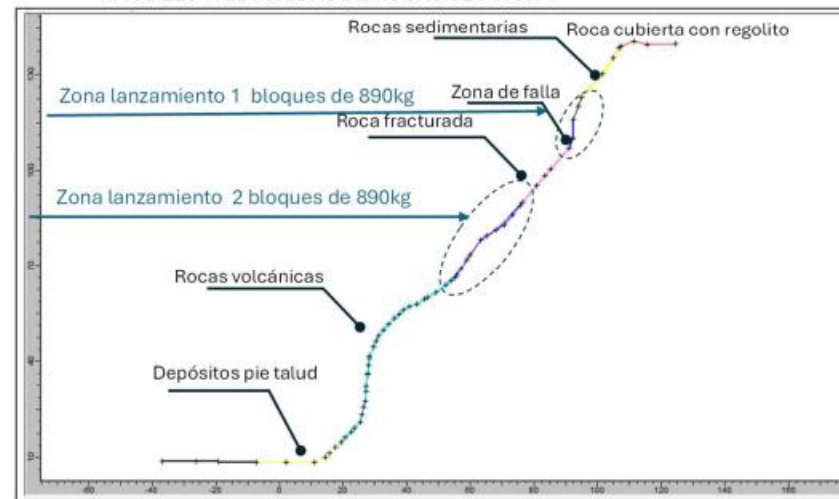
Consideraciones:

- Dos zonas de lanzamientos (a partir de zonas irregulares, protuberancias o taludes colgados)
- 60 bloques de tamaños 0,4 m diámetro (densidad roca 2700 Kg/m³). Peso 890 Kg
- Velocidad inicial horizontal (Vh) 0m/s; 0,2 m/s; 1,5m/s.
Velocidad vertical (Vy = 0m/s)

MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO

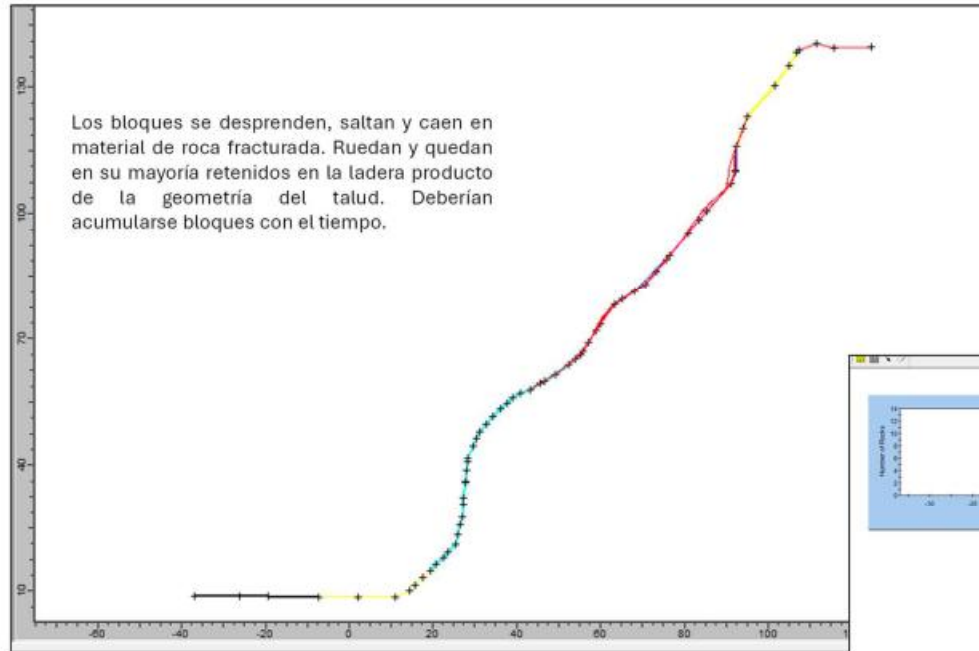


MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 4



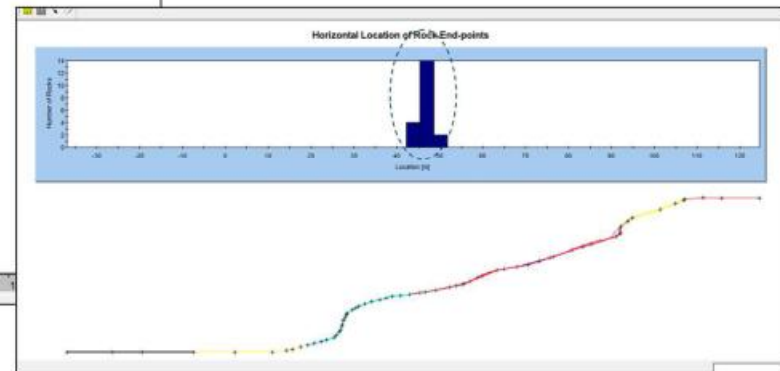
Sección 4 - Perfil U_11 pillow y grietas

MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 4



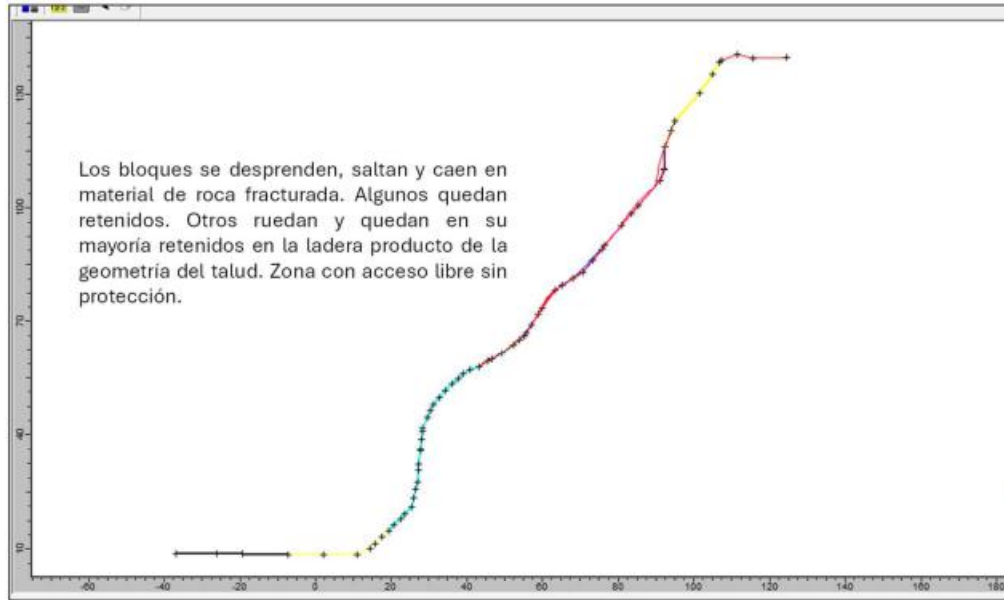
Resultados obtenidos

Caso $V_h = 0\text{m/s}$



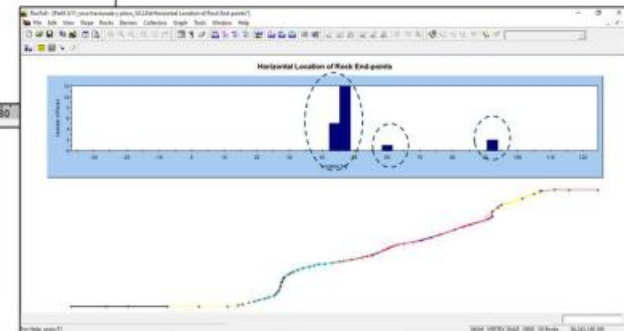
Sección 4 - Perfil U_11 pillow y grietas

MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 4



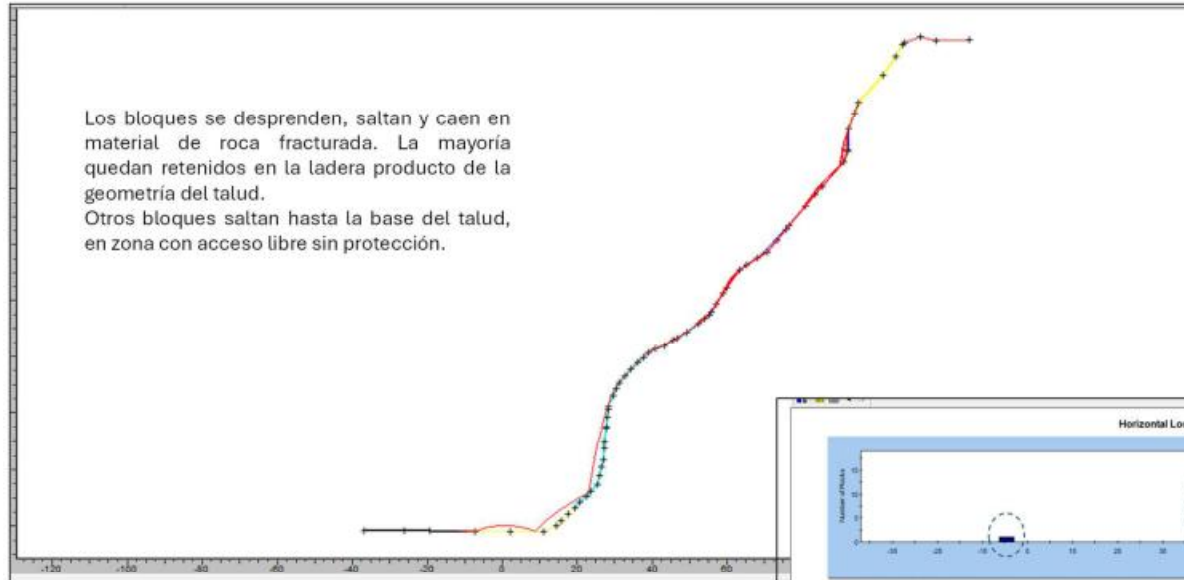
Resultados obtenidos

Caso $V_h = 0,2\text{m/s}$



Sección 4 - Perfil U_11 pillow y grietas

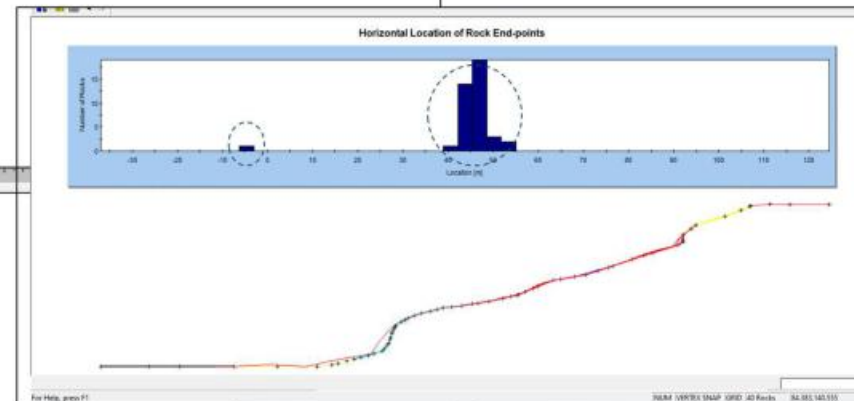
MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 4



Los bloques se desprenden, saltan y caen en material de roca fracturada. La mayoría quedan retenidos en la ladera producto de la geometría del talud. Otros bloques saltan hasta la base del talud, en zona con acceso libre sin protección.

Resultados obtenidos

Caso $V_h = 1,5\text{m/s}$



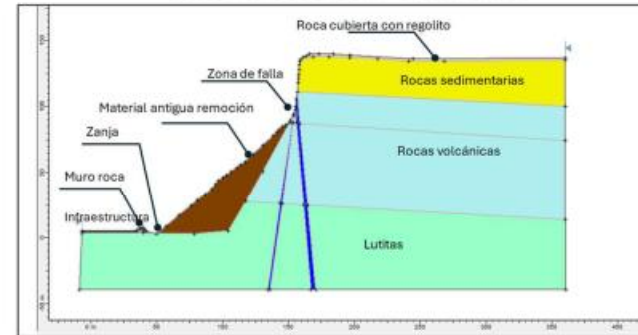
Sección 5 - Perfil_U9_ remoción en masa y zanja

Tipo de material	Propiedades modelo caída de rocas
Roca cubierta con regolito	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,33 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,87
Rocas sedimentarias	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-35°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,35 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,40
Zona de falla	Ángulo de fricción Phi (°) 15° Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,30 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,23
Material remoción antigua	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,32 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,72
Zanja	Ángulo de fricción Phi (°) 20°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,39 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,56
Muro roca	Ángulo de fricción Phi (°) 35°-38°. Se usa 35°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,35 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,85
Infraestructura (asfalto)	Ángulo de fricción Phi (°) 19°-59°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,4 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,9

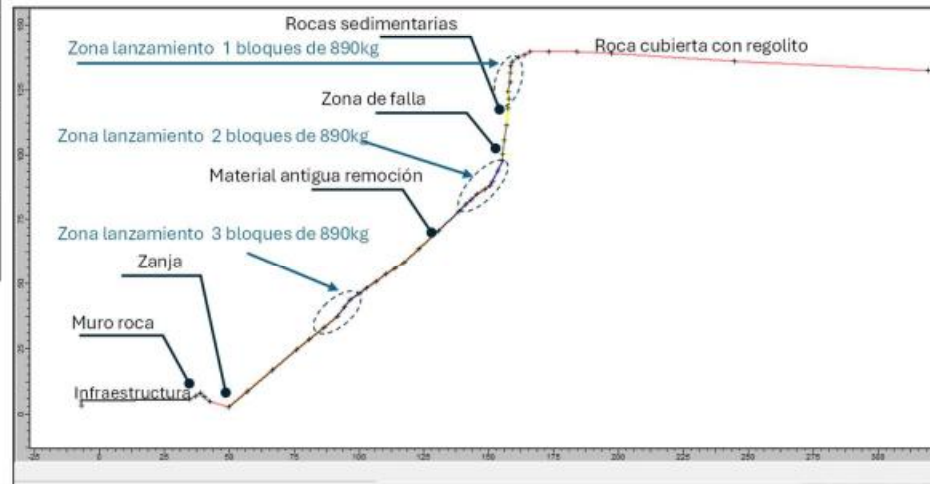
Consideraciones:

- Tres zonas de lanzamientos (a partir de zonas irregulares, protuberancias o taludes colgados)
- 60 bloques de tamaños 0,4 m diámetro (densidad roca 2700 Kg/m³). Peso 890 Kg
- Velocidad inicial horizontal (Vh) 0m/s; 0,2 m/s; 1,5m/s.
Velocidad vertical (Vy = 0m/s)

MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO

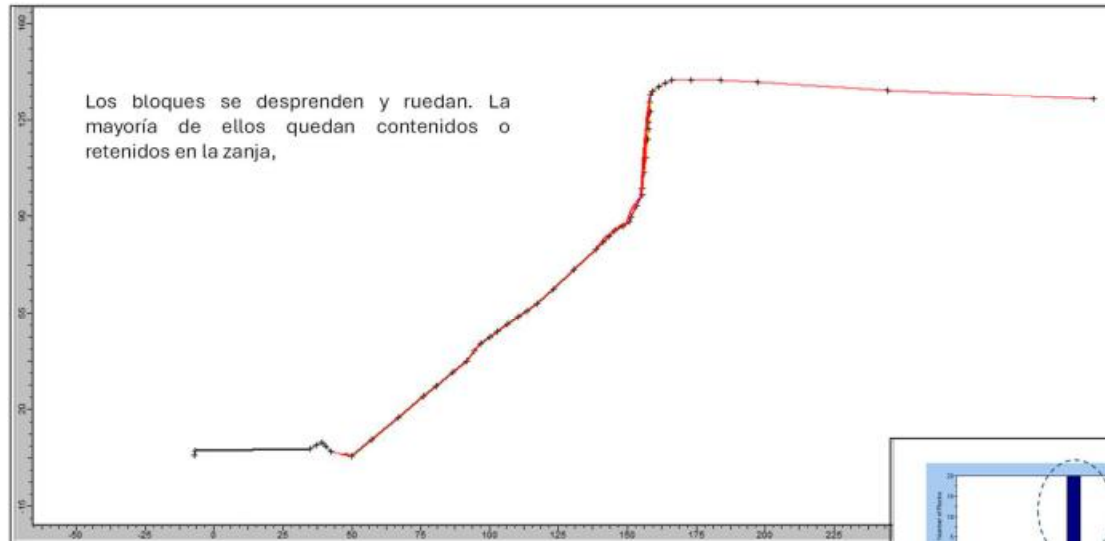


MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 5



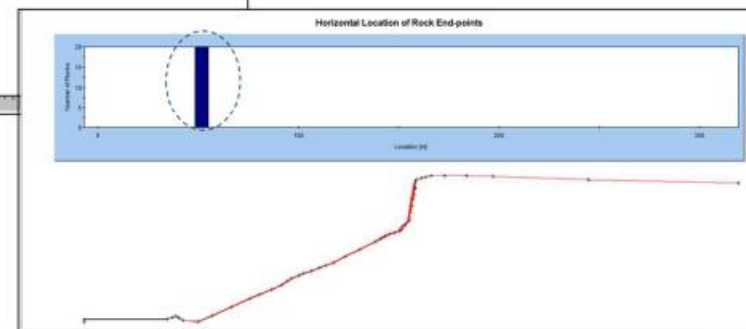
Sección 5 - Perfil_U9_ remoción en masa y zanja

MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 5



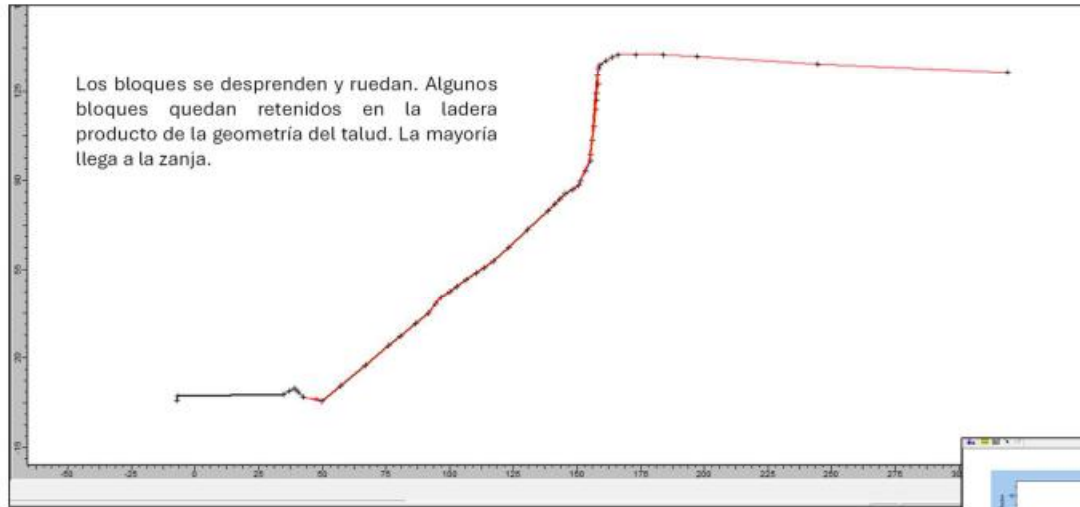
Resultados obtenidos

Caso $V_h = 0\text{m/s}$



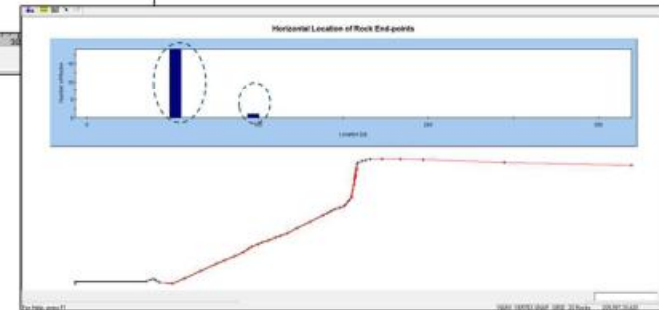
Sección 5 - Perfil_U9_ remoción en masa y zanja

MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 5



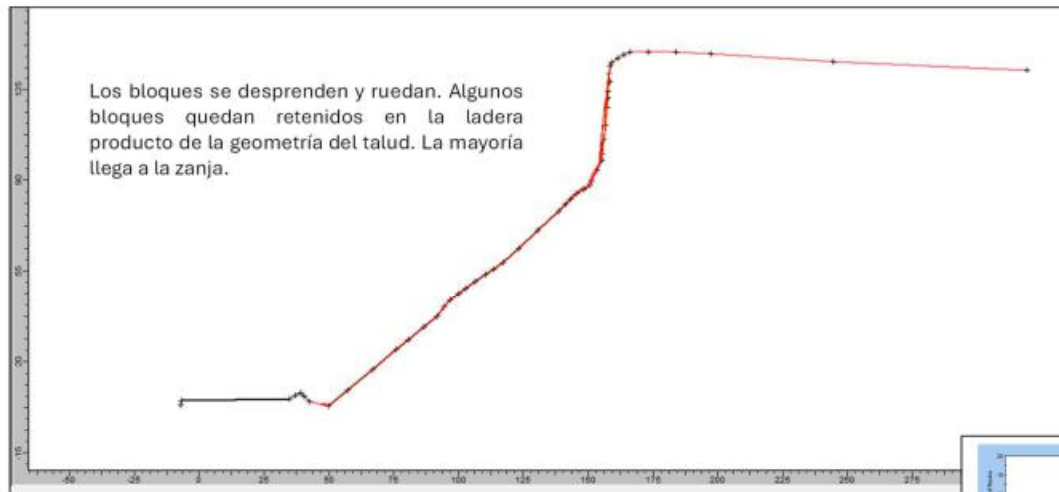
Resultados obtenidos

Caso $V_h = 0,2\text{m/s}$



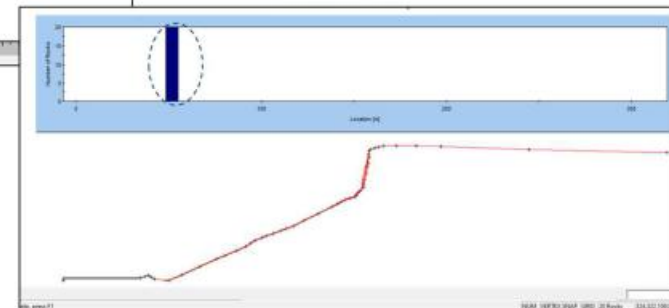
Sección 5 - Perfil_U9_ remoción en masa y zanja

MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 5



Resultados obtenidos

Caso $V_h = 1,5\text{m/s}$



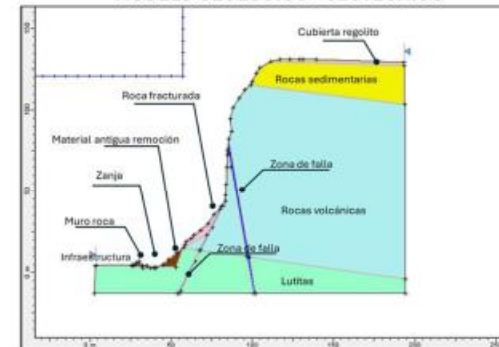
Sección 6 - Perfil_U9_zonas grietas y paseo

Tipo de material	Propiedades modelo caída de rocas
Roca cubierta con regolito	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,33 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,87
Rocas sedimentarias	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-35°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,35 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,40
Zona de falla	Ángulo de fricción Phi (°) 15° Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,30 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,23
Material remoción antigua	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,32 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,72
Rocas volcánicas	Ángulo de fricción Phi (°) 35°-45°. Se usa 40°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,45 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,9
Zanja	Ángulo de fricción Phi (°) 20°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,39 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,56
Muro roca	Ángulo de fricción Phi (°) 35°-38°. Se usa 35°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,35 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,85
Infraestructura (asfalto)	Ángulo de fricción Phi (°) 19°-59°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,4 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,9

Consideraciones:

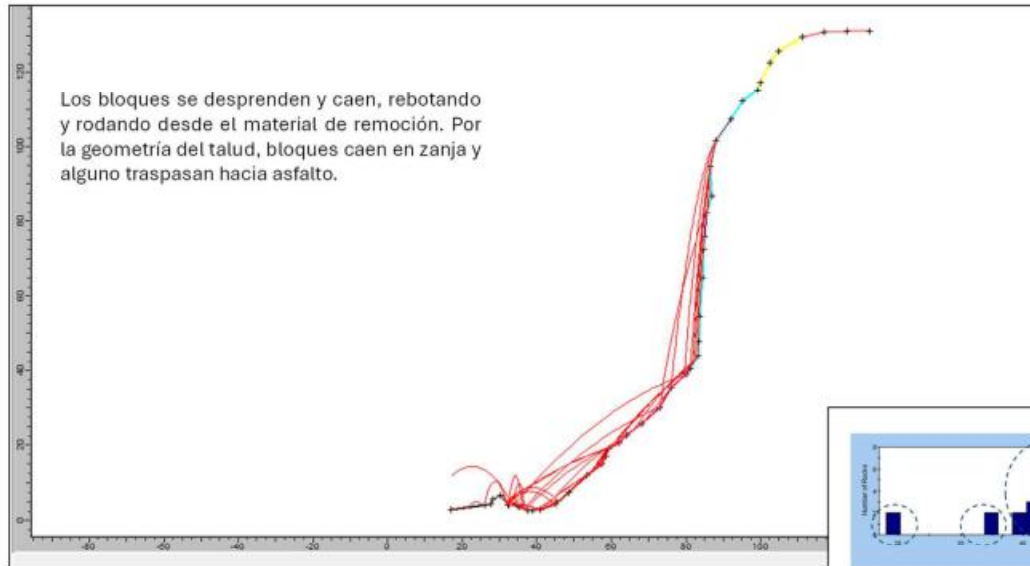
- Tres zonas de lanzamientos (a partir de zonas irregulares, protuberancias o taludes colgados)
- 60 bloques de tamaños 0,4 m diámetro (densidad roca 2700 Kg/m³). Peso 890 Kg
- Velocidad inicial horizontal (Vh) 0m/s; 0,2 m/s; 1,5m/s. Velocidad vertical (Vy) = 0m/s

MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO



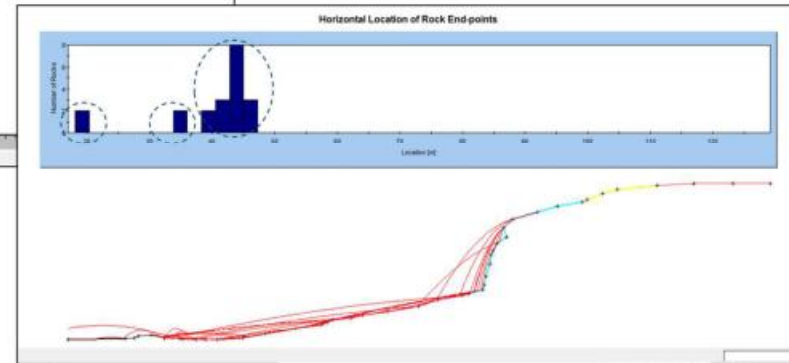
Sección 6 - Perfil_U9_zonas grietas y paseo

MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 6



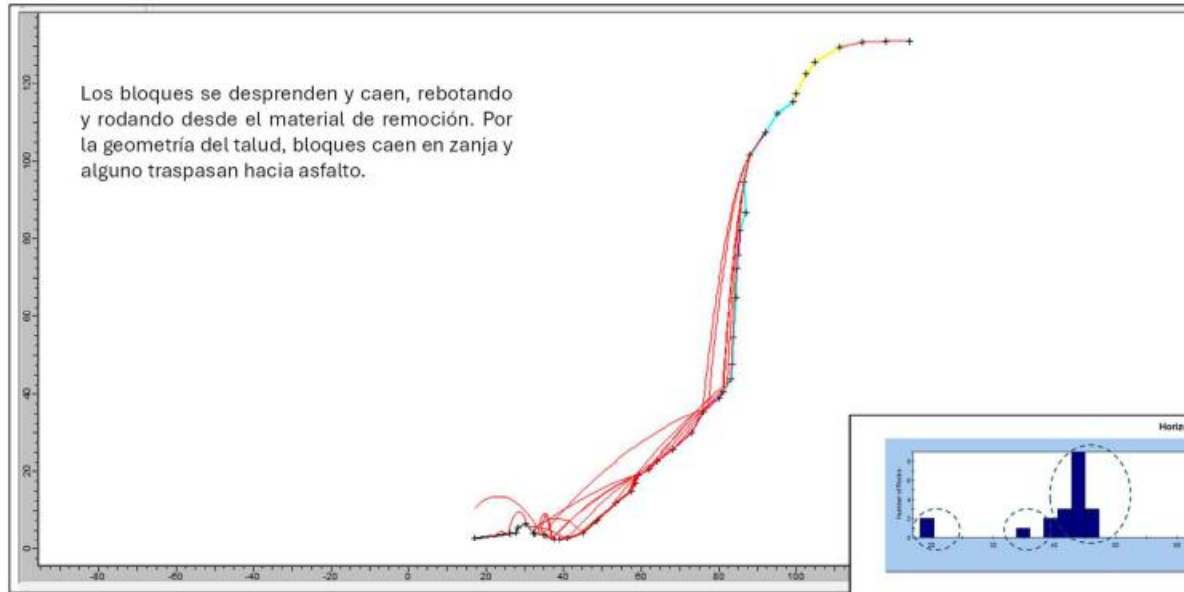
Resultados obtenidos

Caso $V_h = 0\text{m/s}$



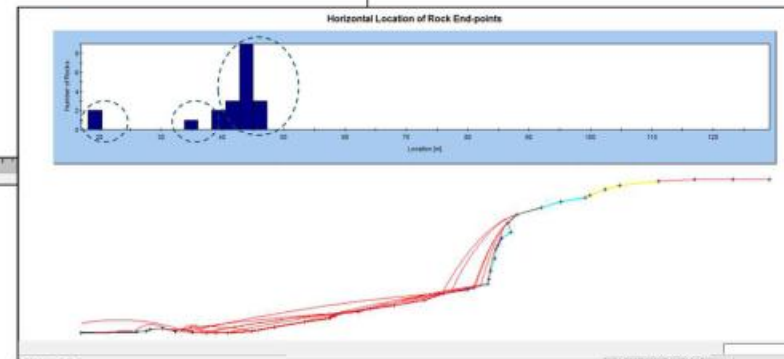
Sección 6 - Perfil_U9_zonas grietas y paseo

MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 6



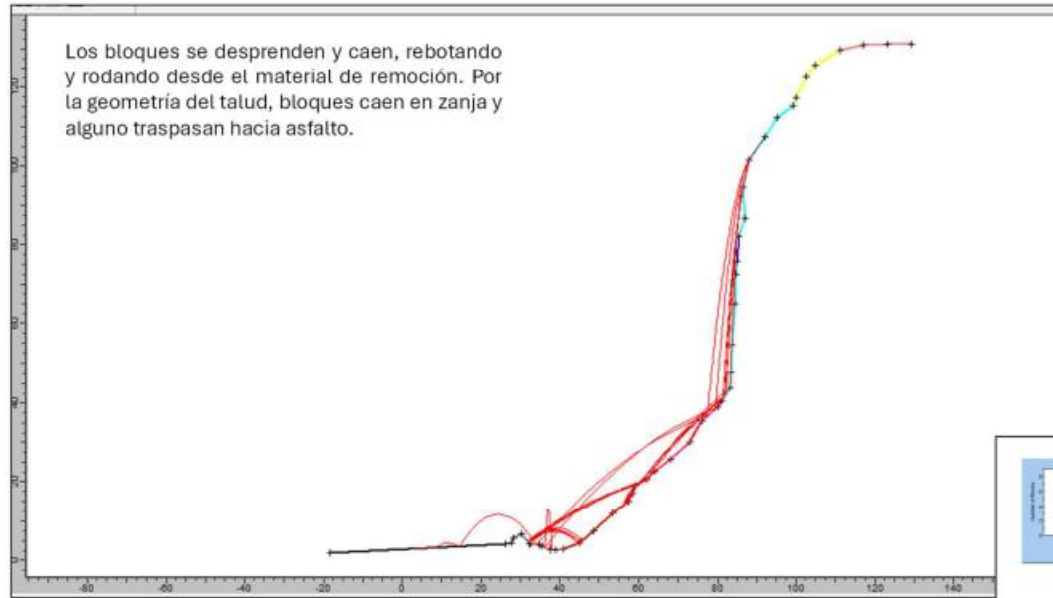
Resultados obtenidos

Caso $V_h = 0,2\text{m/s}$



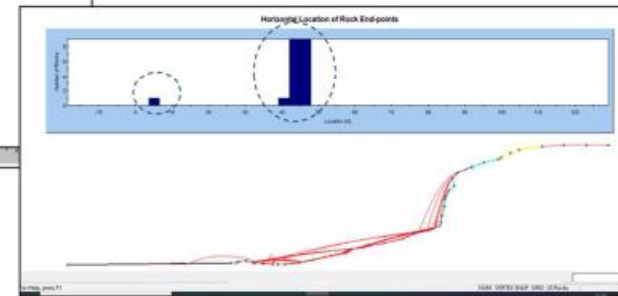
Sección 6 - Perfil_U9_zonas grietas y paseo

MODELO PARA CÁIDAS DE ROCAS SECCIÓN 6



Resultados obtenidos

Caso $V_h = 1,5\text{m/s}$

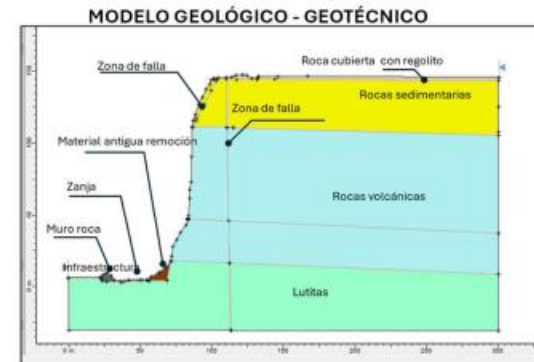


Sección 7 - Perfil U8_bloque Museo

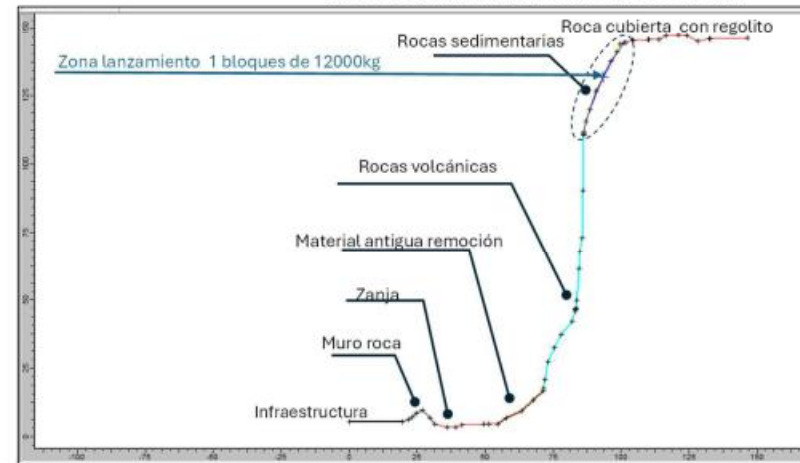
Tipo de material	Propiedades modelo caída de rocas
Roca cubierta con regolito	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,33 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,87
Rocas sedimentarias	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-35°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,35 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,40
Material antigua remoción	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,32 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,72
Rocas volcánicas	Ángulo de fricción Phi (°) 35°-45°. Se usa 40°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,45 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,9
Zanja	Ángulo de fricción Phi (°) 20°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,39 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,56
Muro roca	Ángulo de fricción Phi (°) 35°-38°. Se usa 35°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,35 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,85
Infraestructura (asfalto)	Ángulo de fricción Phi (°) 19°-59°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,4 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,9

Consideraciones:

- Una zona de lanzamiento a partir de zonas agrietadas
- 20 bloques de tamaños 2 m diámetro (densidad roca 2700 Kg/m3). Peso 14000 Kg
- Velocidad inicial horizontal (Vh) 0m/s; 0,2 m/s; 1,5m/s. Velocidad vertical (Vy) = 0m/s

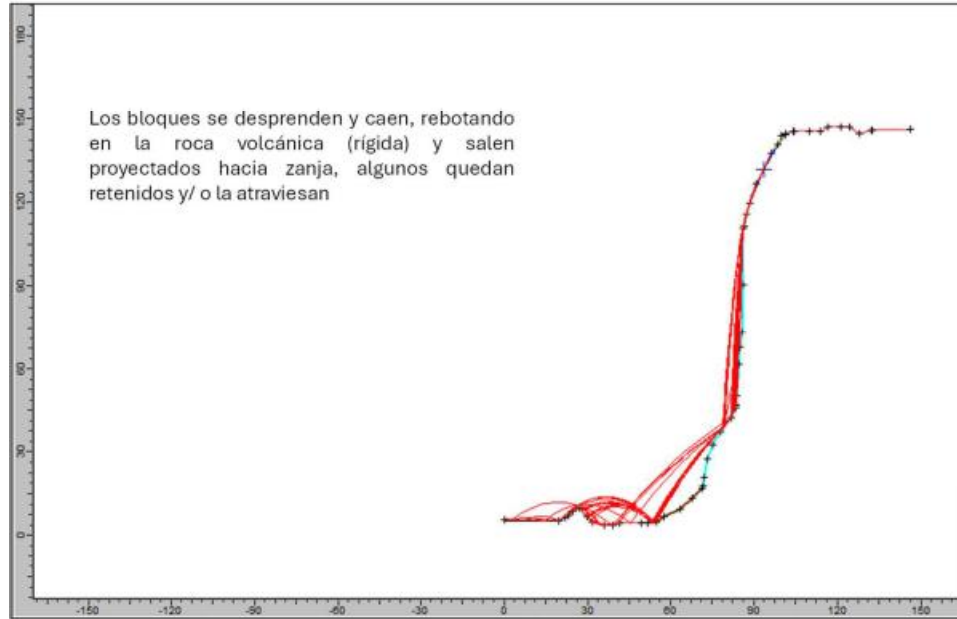


MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 7



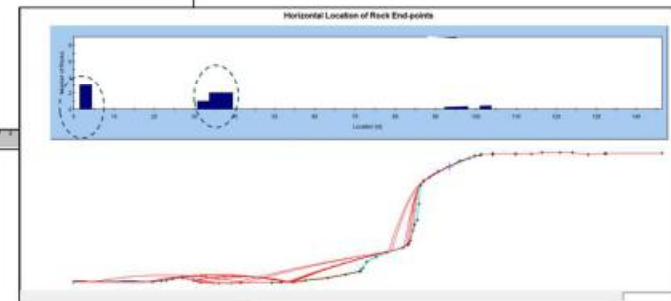
Sección 7 - Perfil U8_bloque Museo

MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 7



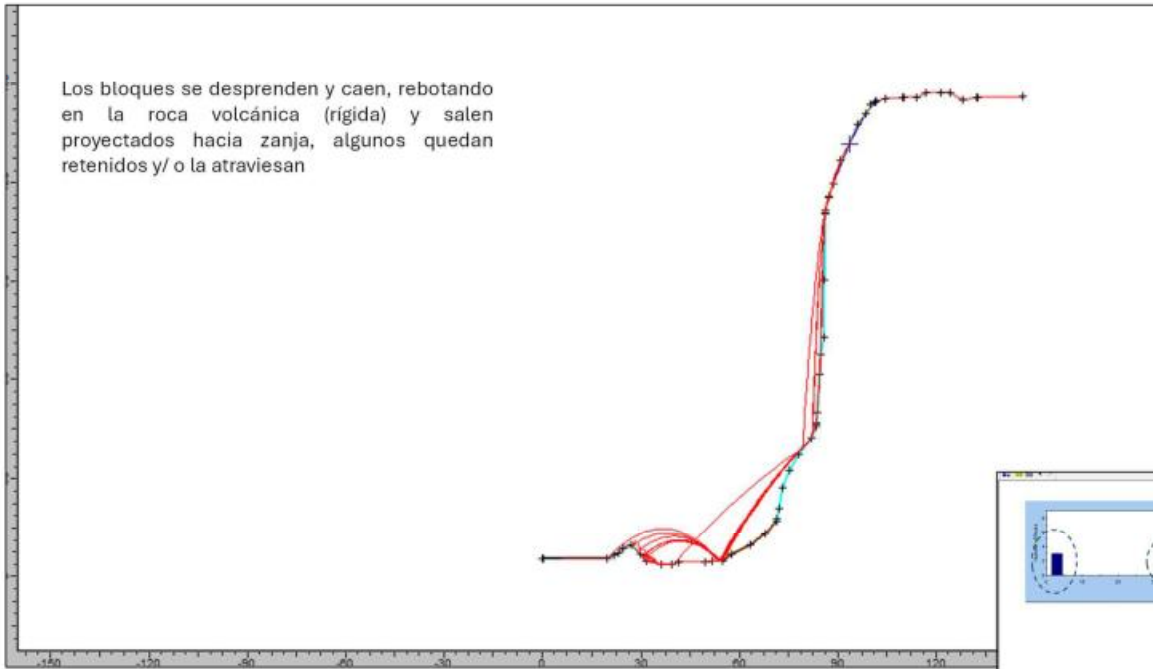
Resultados obtenidos

Caso $V_h = 0\text{m/s}$



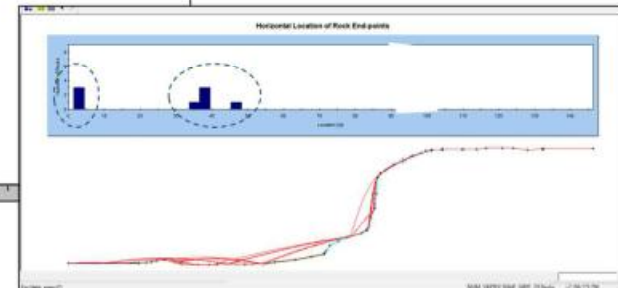
Sección 7 - Perfil U8_bloque Museo

MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 7



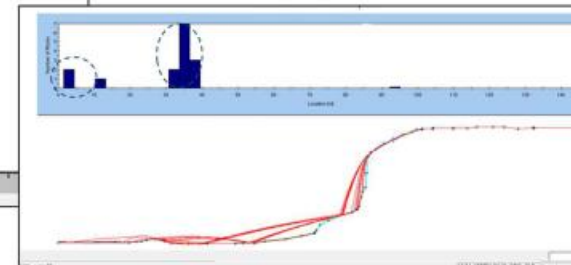
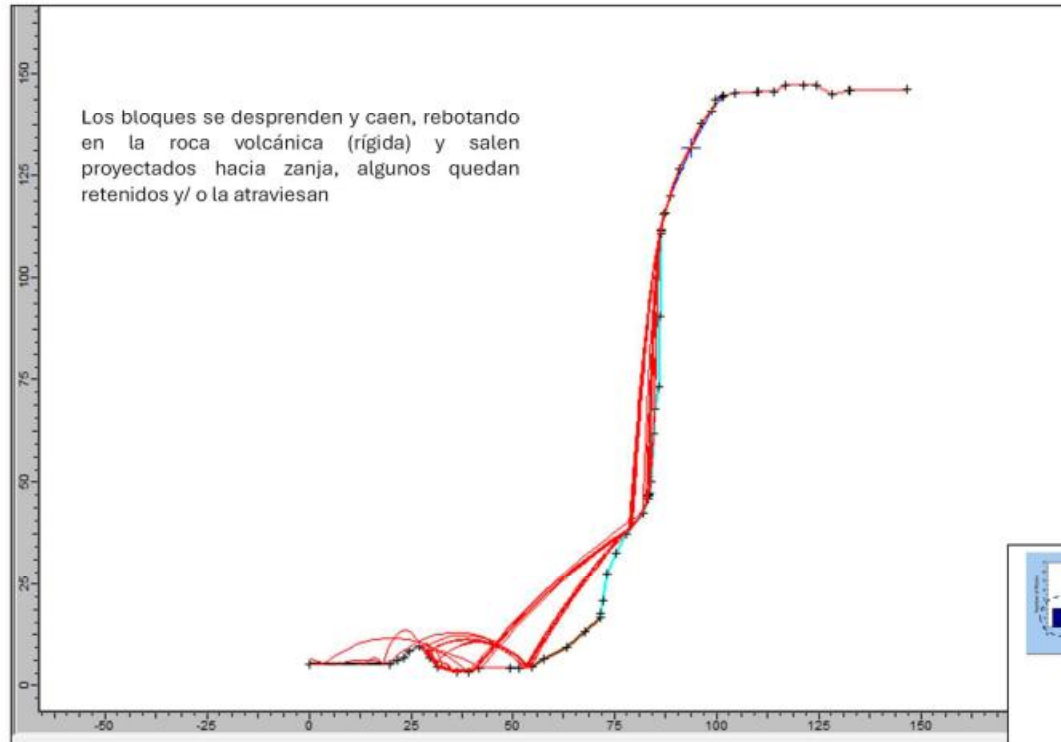
Resultados obtenidos

Caso $V_h = 0,2\text{m/s}$



Sección 7 - Perfil U8_bloque Museo

MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 7



Resultados obtenidos

Caso $V_h = 1,5\text{m/s}$

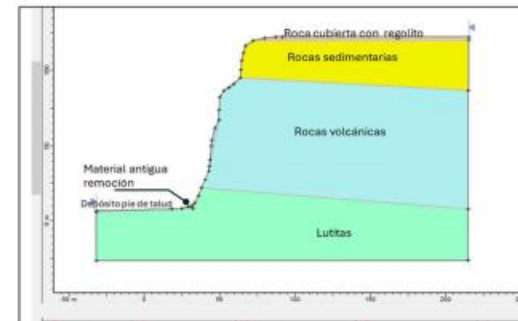
Sección 8 - Perfil_U8_zona cañas costanera

Tipo de material	Propiedades modelo caída de rocas
Roca cubierta con regolito	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,33 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,87
Rocas sedimentarias	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-35°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,35 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,40
Material antigua remoción	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,32 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,72
Rocas volcánicas	Ángulo de fricción Phi (°) 35°-45°. Se usa 40°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,45 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,9
Depósitos pie de talud	Ángulo de fricción Phi (°) 20° Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,35 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,85
Lutitas	Ángulo de fricción Phi (°) 15° - 25°. Se usa 20° Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,25 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,50

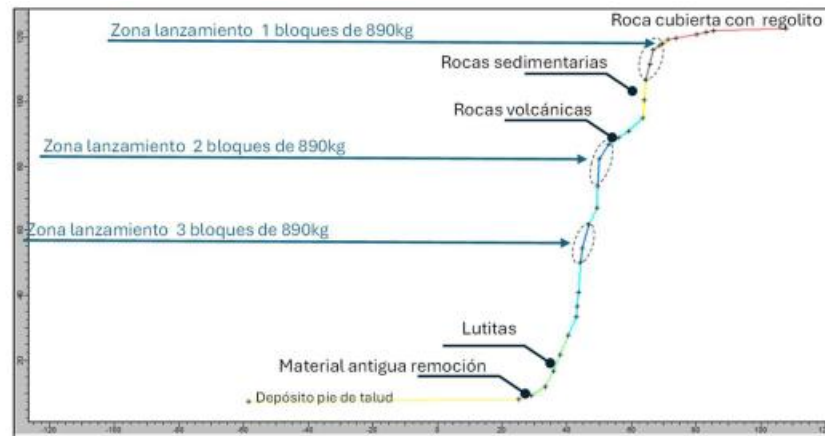
Consideraciones:

- Tres zonas de lanzamiento a partir de zonas agrietadas
- 60 bloques de tamaños 0,4 m diámetro (densidad roca 2700 Kg/m³).
Peso 890 Kg
- Velocidad inicial horizontal (Vh) 0m/s; 0,2 m/s; 1,5m/s. Velocidad vertical (Vy = 0m/s)

MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO

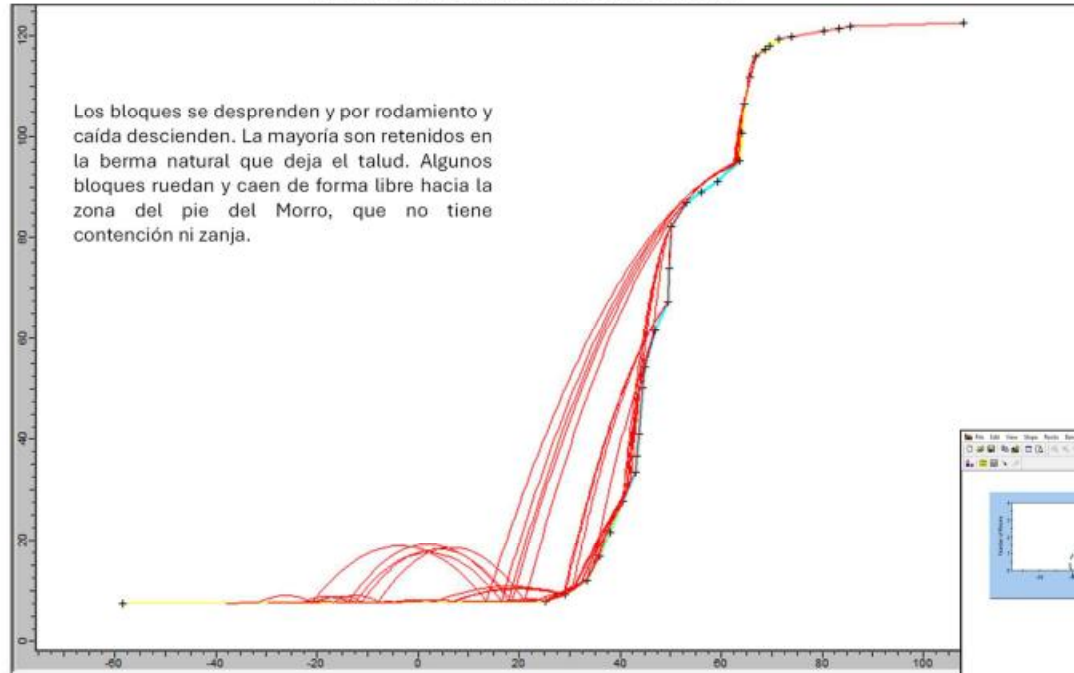


MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 8



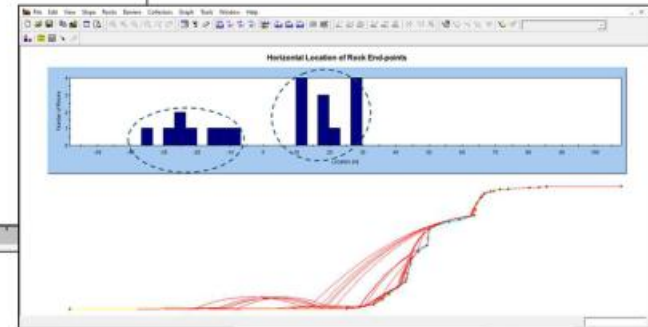
Sección 8 - Perfil_U8_zona cuñas costanera

MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 8



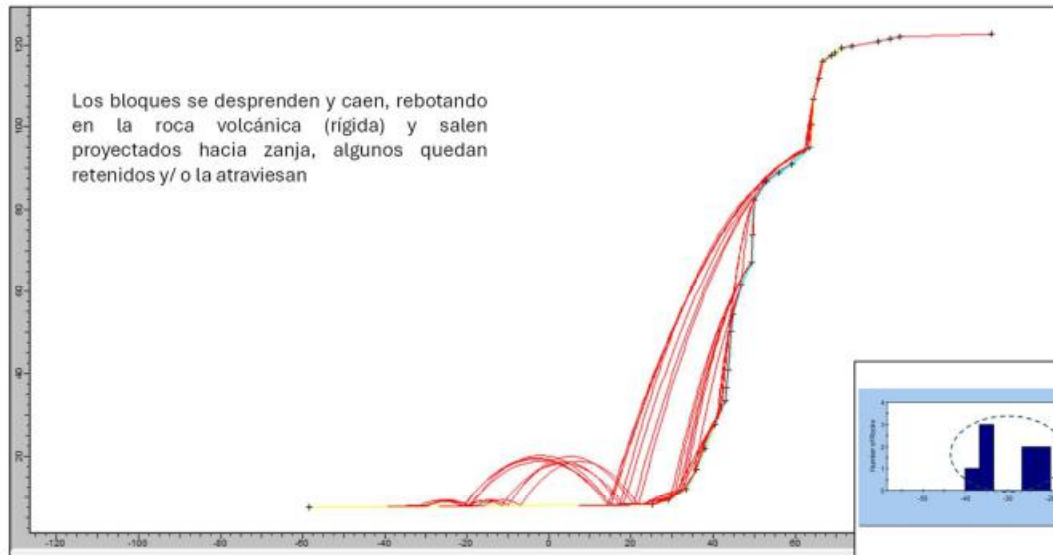
Resultados obtenidos

Caso $V_h = 0\text{m/s}$



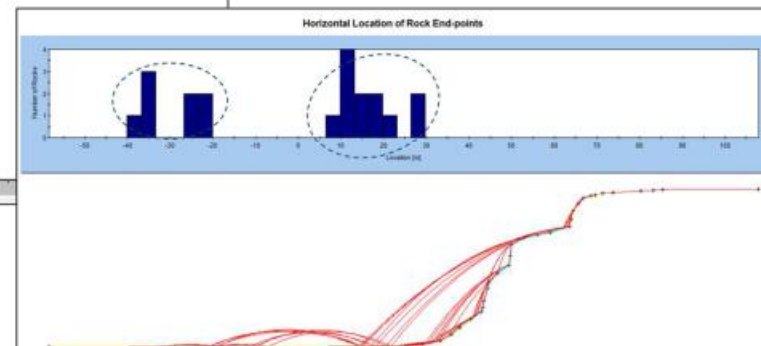
Sección 8 - Perfil_U8_zona cuñas costanera

MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 8



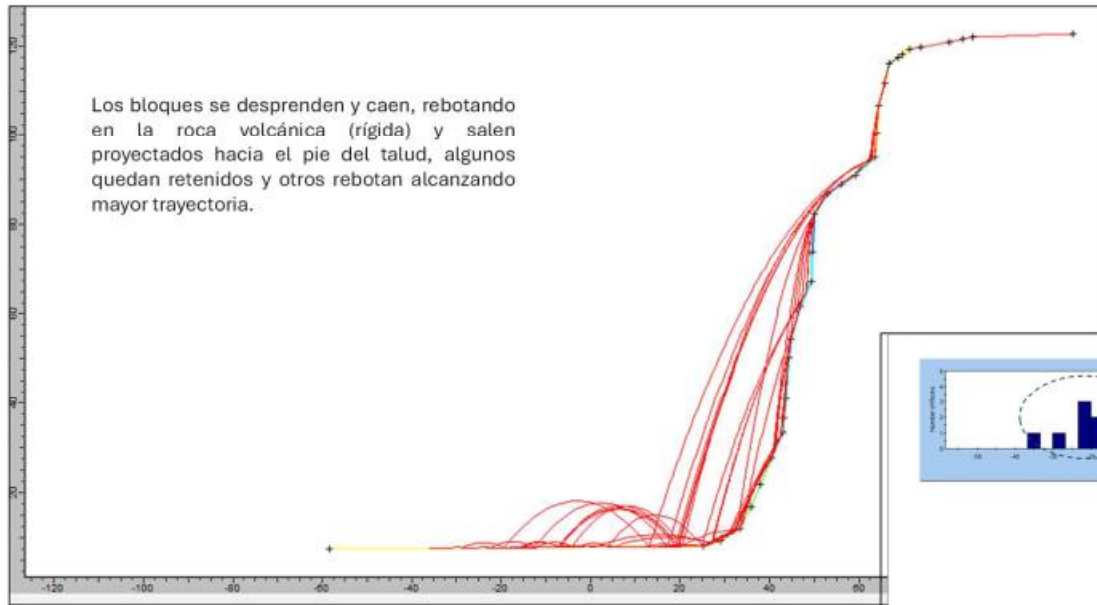
Resultados obtenidos

Caso $V_h = 0,2\text{m/s}$



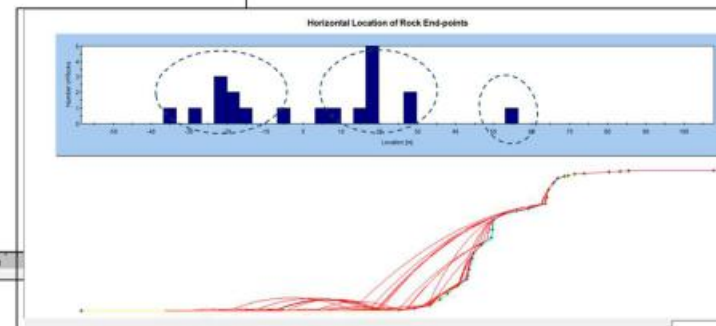
Sección 8 - Perfil_U8_zona cuñas costanera

MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 8



Resultados obtenidos

Caso $V_h = 1,5\text{m/s}$



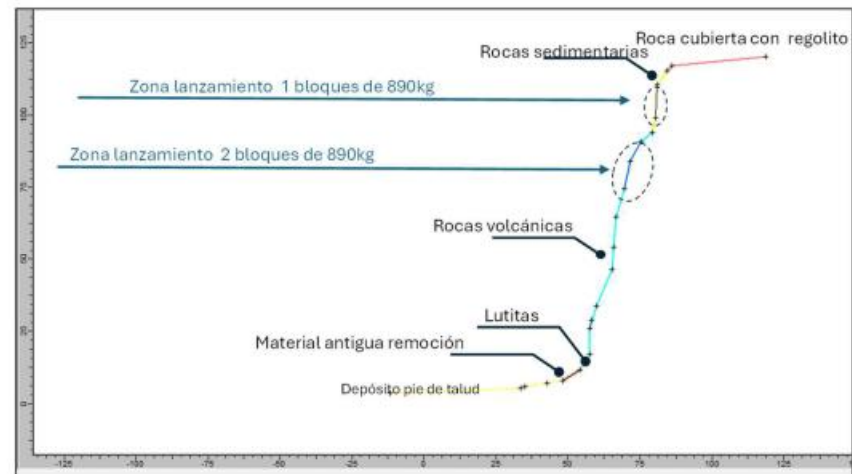
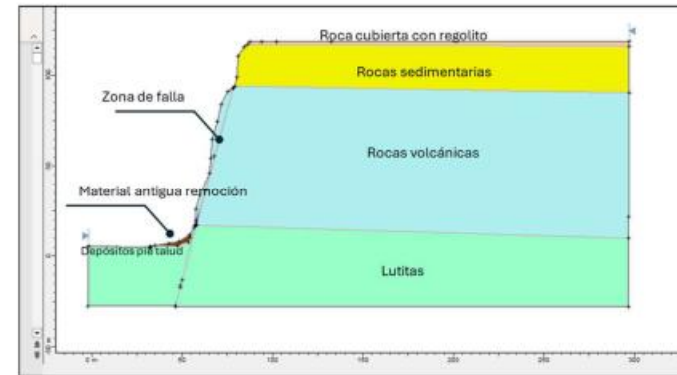
Sección 9 - Perfil_U7 postal turística Morro

Tipo de material	Propiedades modelo caída de rocas
Roca cubierta con regolito	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,33 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,87
Rocas sedimentarias	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-35°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,35 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,40
Material antigua remoción	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,32 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,72
Rocas volcánicas	Ángulo de fricción Phi (°) 35°-45°. Se usa 40°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,45 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,9
Depósitos pie de talud	Ángulo de fricción Phi (°) 20° Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,35 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,85
Lutitas	Ángulo de fricción Phi (°) 15° - 25°. Se usa 20° Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,25 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,50

Consideraciones:

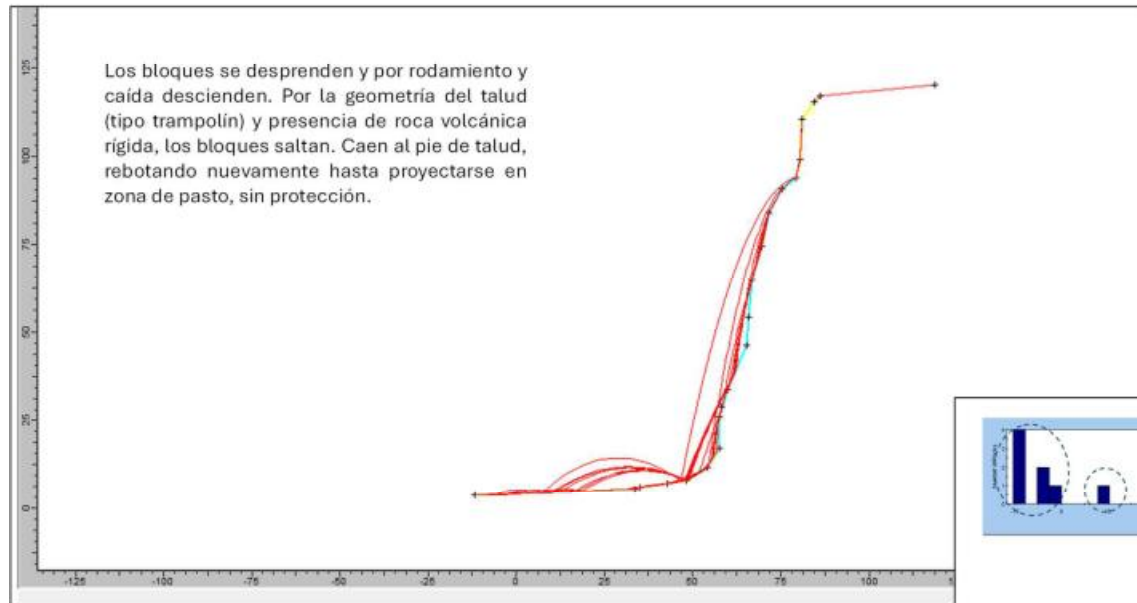
- Dos zonas de lanzamiento a partir de zonas agrietadas
- 40 bloques de tamaños 0,4m diámetro (densidad roca 2700 Kg/m³).
Peso 890 Kg
- Velocidad inicial horizontal (Vh) 0m/s; 0,2 m/s; 1,5m/s. Velocidad vertical (Vy = 0m/s)

MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO



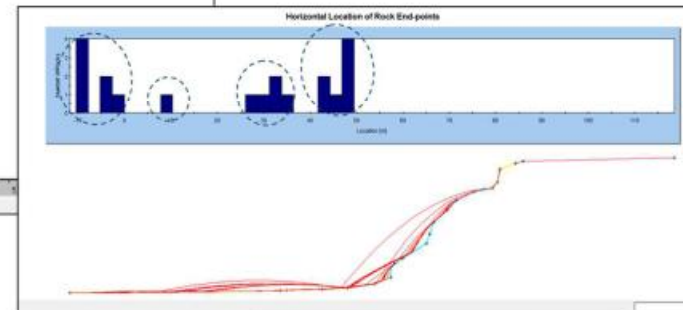
Sección 9 - Perfil_U7 postal turística Morro

MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 9



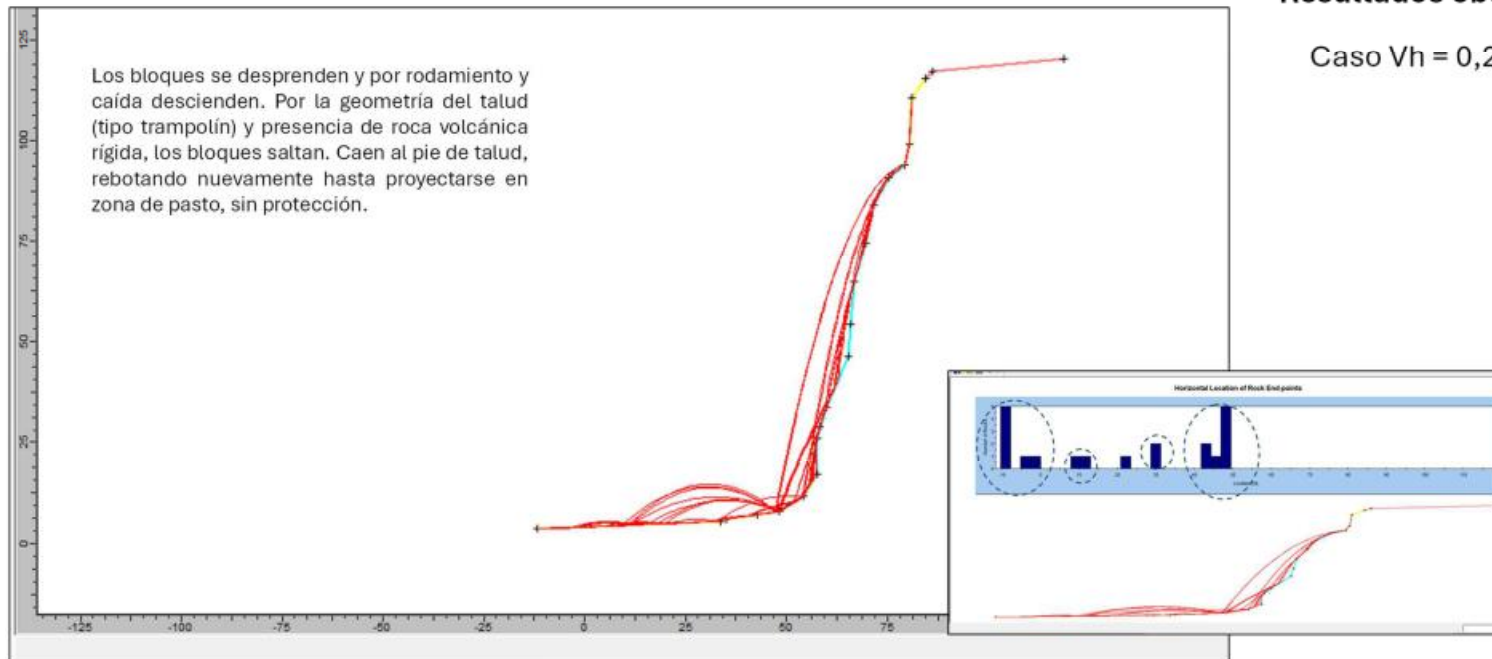
Resultados obtenidos

Caso $V_h = 0\text{m/s}$



Sección 9 - Perfil_U7 postal turística Morro

MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 9

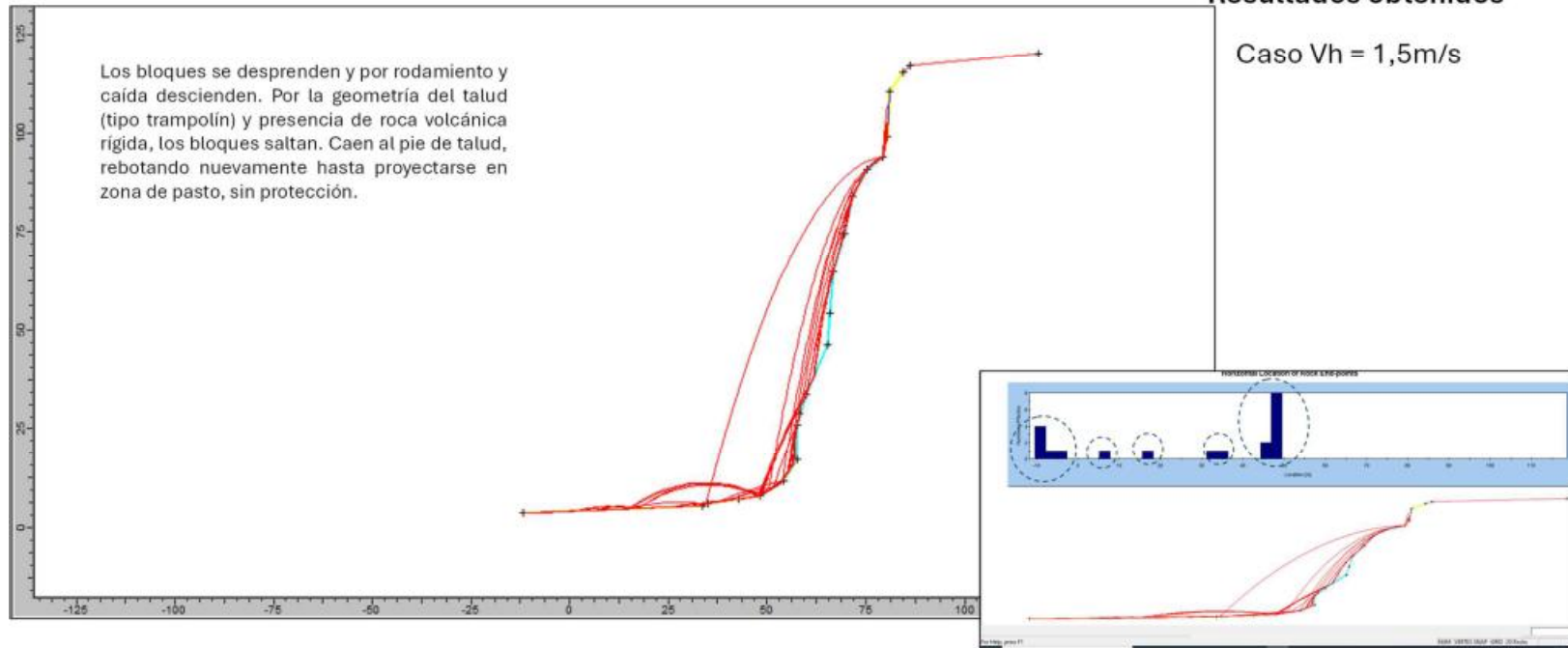


Resultados obtenidos

Caso $V_h = 0,2\text{m/s}$

Sección 9 - Perfil_U7 postal turística Morro

MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 8



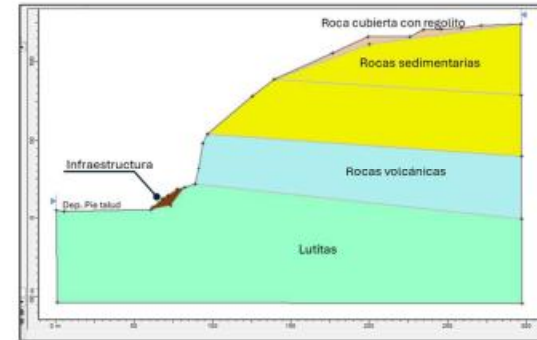
Sección 10 - Perfil U5_Morro casas

Tipo de material	Propiedades modelo caída de rocas
Roca cubierta con regolito	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-30°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,33 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,87
Rocas sedimentarias	Ángulo de fricción Phi (°) 25°-35°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,35 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,40
Rocas volcánicas	Ángulo de fricción Phi (°) 35°-45°. Se usa 40°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,45 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,9
Depósitos pie de talud	Ángulo de fricción Phi (°) 20° Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,35 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,85
Lutitas	Ángulo de fricción Phi (°) 15° - 25°. Se usa 20° Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,25 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,50
Infraestructura (asfalto)	Ángulo de fricción Phi (°) 19°-59°. Se usa 30°. Coeficiente de restitución normal (Rn) 0,4 Coeficiente de restitución tangencial (Rt) 0,9

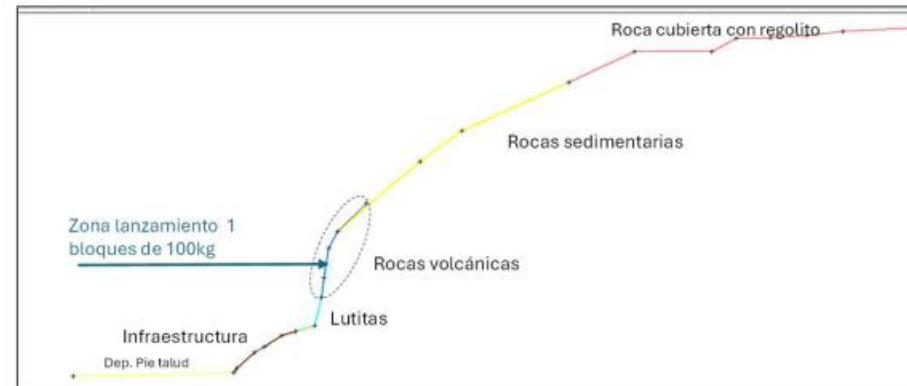
Consideraciones:

- Una zona de lanzamiento a partir de zonas agrietadas
- 50 bloques de tamaños de 100 Kg
- Velocidad inicial horizontal (Vh) 0m/s; 0,2 m/s; 1,5m/s. Velocidad vertical (Vy = 0m/s)

MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO

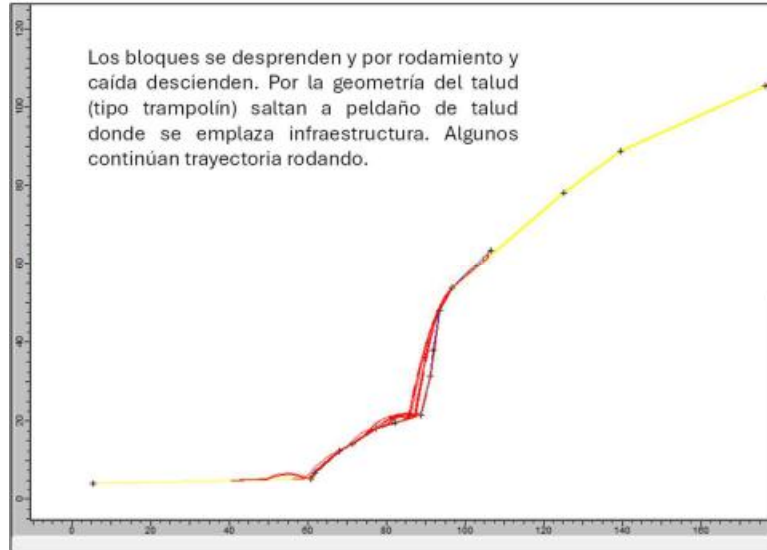


MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 10



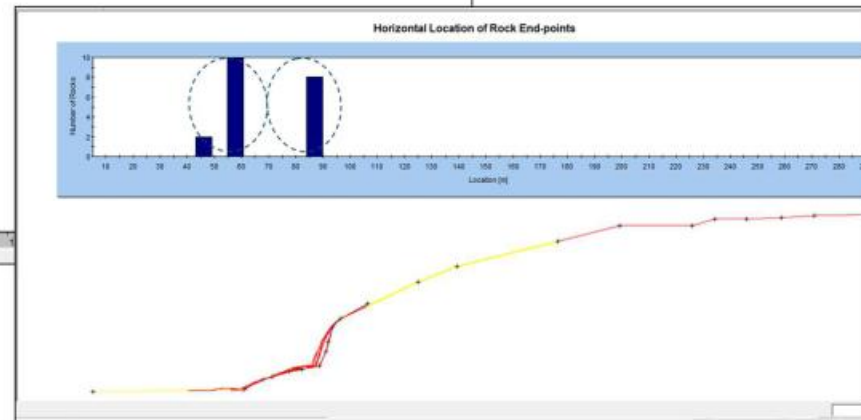
Sección 10 - Perfil U5_Morro casas

MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 10



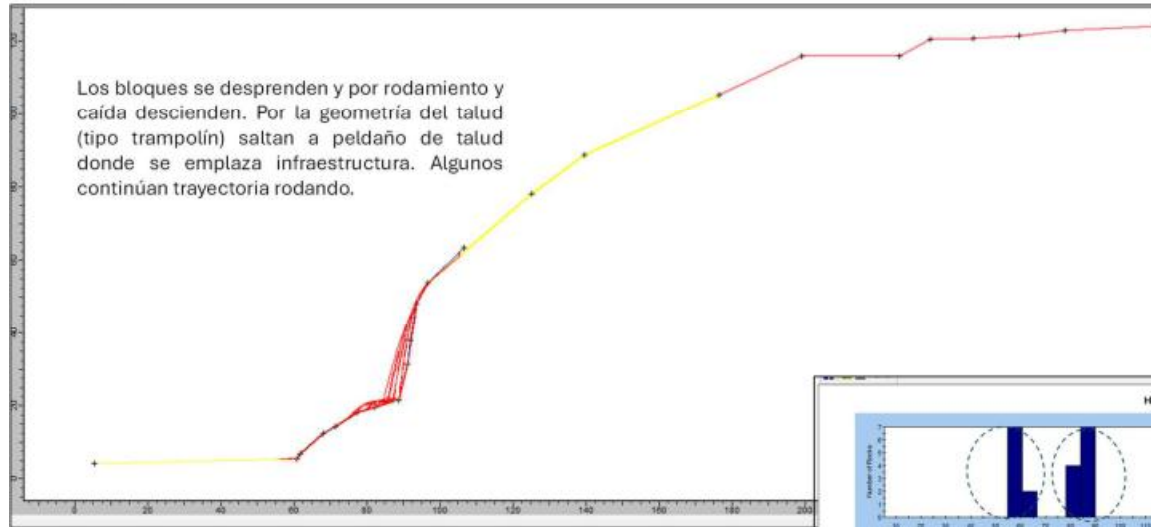
Resultados obtenidos

Caso $V_h = 0\text{m/s}$



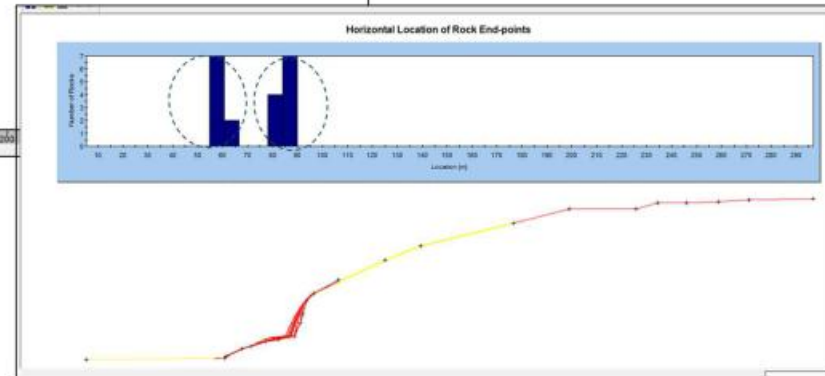
Sección 10 - Perfil U5_Morro casas

MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 10



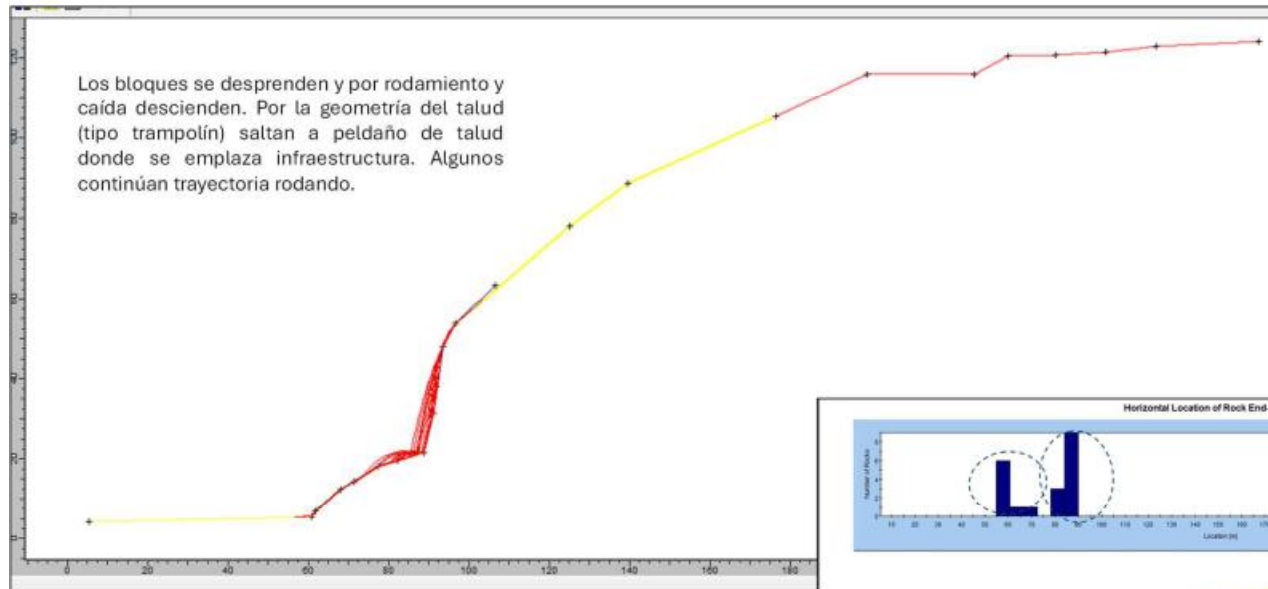
Resultados obtenidos

Caso $V_h = 0,2\text{m/s}$



Sección 10 - Perfil U5_Morro casas

MODELO PARA CAÍDAS DE ROCAS SECCIÓN 10



Resultados obtenidos

Caso $V_h = 1,5\text{m/s}$

