

ANEJO Nº 5. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	4
2. ANTECEDENTES	5
3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA ZONA	5
3.1. GEOLOGÍA GENERAL	5
4. ESTRATIGRAFÍA	7
4.1.1. OLISTOSTROMA	8
4.1.2. CONGLOMERADOS, GRAVAS, ARENAS Y LUTITAS	8
4.1.3. TECTÓNICA	8
4.1.4. HIDROGEOLOGÍA	9
5. ESTUDIO GEOTÉCNICO	9
6. ESTUDIO GEOFÍSICO	10
6.1. RESULTADOS	10
6.1.1. PERFIL S-1	10
6.1.2. PERFIL S-2	11
6.1.3. PERFIL S-3	11
7. ESTABILIDAD DE TALUDES	12
7.1. NORMATIVA DE APLICACIÓN Y CONSULTA	13
7.2. SITUACIONES DE PROYECTO	14
7.3. DIMENSIONAMIENTO	14
7.4. MODELOS DE COMPORTAMIENTO DE SUELOS Y PARÁMETROS RESISTENTES	16
7.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES	17
7.6. CÁLCULO DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR MEDIO DE MÉTODOS DE EQUILIBRIO LÍMITE	19
7.7. HIPÓTESIS DE CÁLCULO	20
7.1. RESULTADOS Y COMPROBACIONES	21
8. CONCLUSIONES	22
APÉNDICE 1. MAPA GEOLÓGICO GENERAL (IGME)	24
APÉNDICE 2. ESTUDIO GEOLÓGICO	26
APÉNDICE 3. ESTUDIO GEOFÍSICO	27
APÉNDICE 4. RESULTADO DEL CÁLCULO DE ESTABILIDAD	28
1. TALUD. HIPÓTESIS I. CONSTRUCCIÓN FINALIZADA. BISHOP	29
2. TALUD. HIPÓTESIS I. CONSTRUCCIÓN FINALIZADA. JANBU	30
3. TALUD. HIPÓTESIS I. CONSTRUCCIÓN FINALIZADA. MORGERNSTERN-PRICE	31
4. TALUD. HIPÓTESIS I. CONSTRUCCIÓN FINALIZADA. SPENCER	32
5. TALUD. HIPÓTESIS II. CONSTRUCCIÓN FINALIZADA. BISHOP	33
6. TALUD. HIPÓTESIS II. CONSTRUCCIÓN FINALIZADA. JANBU	34
7. TALUD. HIPÓTESIS II. CONSTRUCCIÓN FINALIZADA. MORGERNSTERN-PRICE	35
8. TALUD. HIPÓTESIS II. CONSTRUCCIÓN FINALIZADA. SPENCER	36
9. TALUD. HIPÓTESIS SIN SISMO. CONSTRUCCIÓN FINALIZADA. BISHOP	37
10. TALUD. HIPÓTESIS SIN SISMO. CONSTRUCCIÓN FINALIZADA. JANBU	38
11. TALUD. HIPÓTESIS SIN SISMO. CONSTRUCCIÓN FINALIZADA. MORGERNSTERN-PRICE	39

12. TALUD. HIPÓTESIS SIN SISMO. CONSTRUCCIÓN FINALIZADA. SPENCER	40
13. TALUD. HIPÓTESIS I. EXPLOTACIÓN. BISHOP	41
14. TALUD. HIPÓTESIS I. EXPLOTACIÓN. JANBU.....	42
15. TALUD. HIPÓTESIS I. EXPLOTACIÓN. MORGERNSTERN-PRICE	43
16. TALUD. HIPÓTESIS I. EXPLOTACIÓN. SPENCER.....	44
17. TALUD. HIPÓTESIS II. EXPLOTACIÓN. BISHOP	45
18. TALUD. HIPÓTESIS II. EXPLOTACIÓN. JANBU.....	46
19. TALUD. HIPÓTESIS II. EXPLOTACIÓN. MORGERNSTERN-PRICE	47
20. TALUD. HIPÓTESIS II. EXPLOTACIÓN. SPENCER.....	48
21. TALUD. HIPÓTESIS SIN SISMO. EXPLOTACIÓN. BISHOP	49
22. TALUD. HIPÓTESIS SIN SISMO. EXPLOTACIÓN. JANBU	50
23. TALUD. HIPÓTESIS SIN SISMO. EXPLOTACIÓN. MORGERNSTERN-PRICE.....	51
24. TALUD. HIPÓTESIS SIN SISMO. EXPLOTACIÓN. SPENCER	52

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de situación de unidades geológica Andalucía.....	6
Figura 2. Perfil PS-1 del terreno.....	11
Figura 3. Perfil PS-2 del terreno.....	11
Figura 4. Perfil PS-3 del terreno.....	12
Figura 5. Imagen del emplazamiento de la explanación para la implantación del campo fotovoltaico.	13
Figura 6. Modelo de caracterización del comportamiento mecánico de los suelos Möhr-Coulomb.	16
Figura 7. Perfil de la explanación de implantación del campo fotovoltaico con los valores del material asociados introducido en el programa de cálculo SLOPE para la evaluación de su estabilidad.	18
Figura 8. Figura en la que puede verse la definición de una superficie de rotura genérica para un talud y la división de la misma en rebanadas de cara a su análisis.	19

LISTADO DE FIGURAS

Tabla 1. Coordenadas de la Balsa 1 y Balsa 2 (proyectada) del CR Cerro de la Encina.....	5
Tabla 2. Parámetros resistentes del suelo.....	10
Tabla 3. Parámetros resistentes del material empleado en el cálculo.....	18
Tabla 4. Hipótesis de cálculo sísmico para estabilidad de taludes.....	21
Tabla 5. Hipótesis de cálculo para estabilidad de taludes.	21
Tabla 6. Resultado de factores seguridad y comprobaciones de estabilidad Error! Vínculo no válido . De la anterior tabla de comprobaciones se concluye:	21

1. INTRODUCCIÓN

En el presente anejo se realizará un análisis de las características geológicas-geotécnicas más relevantes de los terrenos donde se llevarán a cabo las actuaciones definidas en el "**PROYECTO DE INSTALACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE EN LA COMUNIDAD DE REGANTES CERRO DE LA ENCINA (MÁLAGA)**".

Se expondrán las características más importantes de los materiales afectados y que pudieran incidir en el desarrollo de las obras, especialmente aquellos implicados en la construcción y soporte de las estructuras que sustentarán los módulos fotovoltaico.

En el proceso de recogida de datos podemos distinguir entre una etapa meramente bibliográfica, en la que se analizan documentos geológicos y geotectónicos de carácter general de la zona, y otra de interpretación de datos propios.

El material bibliográfico consultado es el siguiente:

- **Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Hoja nº 1053 (Málaga). Segunda Serie (MAGNA)**, Primera edición IGME (1975). Alfonso Santos Antón, Luis F. Granados, Fernando Leyva, Carlos Martínez, Trinidad del Pan, Trinidad de Torres.
- **Memoria de la Hoja nº 1053 (Málaga). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda Serie (MAGNA)**, Primera edición IGME (1975). Alfonso Santos Antón, Luis F. Granados, Fernando Leyva, Carlos Martínez, Trinidad del Pan, Trinidad de Torres.

Con posterioridad al análisis de la bibliografía, durante las visitas a campo se realizó un reconocimiento visual de toda la zona de actuación, especialmente en el área de emplazamiento de la actuación. Esto, junto con la información consultada, permitió obtener una descripción geológica y geotécnica de los materiales de la obra.

No obstante, la definición geotécnica e identificación de suelos que se vierten en este documento son conclusiones a nivel de estudio básico con la información obtenida en otras actuaciones realizadas en la zona, en el material bibliográfico existente, y en la experiencia del equipo redactor del presente proyecto. Esta documentación y resultados, así como su posterior interpretación han servido para el diseño del citado documento y no debe considerarse como documentación definitiva y concluyente para la ejecución de la obra.

Para ello, se detallan los ensayos que serán necesario ejecutar previamente al inicio de las obras para corroborar la información aportada en el proyecto:

- 2 calicatas en el emplazamiento de los módulos fotovoltaicos.

- 2 ensayos DPSH en el emplazamiento de los módulos fotovoltaicos
- Ensayos de laboratorio para la caracterización del terreno existente.

El laboratorio o empresa geotécnica, puede proponer la ampliación o modificación de los requerimientos anteriormente expuestos que, bajo su criterio y experiencia sean necesarios para caracterizar el terreno.

2. ANTECEDENTES

En la recopilación en la información geológica/geotécnica de la zona de estudio específica, es decir, estudios realizados específicamente para infraestructuras de la C.R. de Cerro de la Encina, se observa que se han realizado un estudio geotécnico referente al proyecto de construcción de la Balsa 1 de la C.R. Cerro de la Encina (octubre 2017) y un estudio geofísico en la ubicación planteada para la proyectada Balsa 2 de la C.R. Cerro de la Encina (junio 2021), ambos ubicados en la zona de la C.R. de Cerro de la Encina.

Las ubicaciones de ambos proyectos son:

- **Estudio geotécnico:** Polígono 40 Parcelas 141 (zona suroeste) y 459 del término municipal de Vélez-Málaga.
- **Estudio geofísico:** Polígono 40 Parcelas 135 y 136 del término municipal de Vélez-Málaga (Málaga).

Ambos estudios se encuentran ubicados entre sí a unos 600 metros de distancia.

Las balsas mencionadas se ubican en parcelas rústicas situada en las siguientes coordenadas UTM, según el sistema de referencias ETRS89 (Huso 30):

Tabla 1. Coordenadas de la Balsa 1 y Balsa 2 (proyectada) del CR Cerro de la Encina.

BALSA 1		BALSA 2	
X (m)	397.845	X (m)	398.473
Y (m)	4.068.180	Y (m)	4.068.189

3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA ZONA

3.1. GEOLOGÍA GENERAL

En el presente punto se describe en un primer lugar la geología general de la zona. Para resumir la geología general, y como se citó anteriormente, se ha procedido a la consulta de las

herramientas y fuentes del Magna, dispuesta por el I.G.M.E, en la zona donde se desarrolla el proyecto (Hoja nº 1053 denominada Málaga) que se aporta en el **Apéndice 1**.

La zona se encuentra situada regionalmente en el Complejo Malaguide (Figura 1).

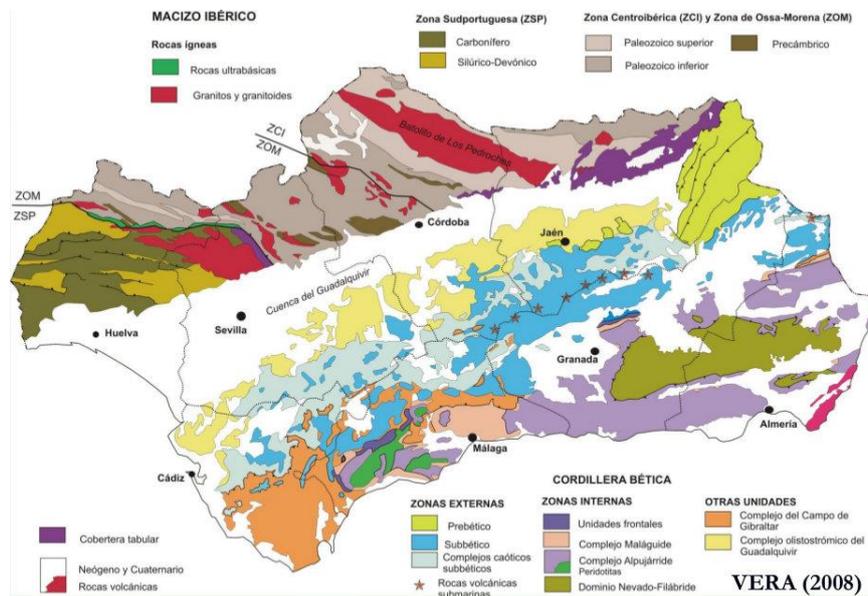


Figura 1. Mapa de situación de unidades geológica Andalucía.

La Hoja de Málaga está situada en la zona costera de Málaga y abarca parte de las unidades béticas de la Unidad de Blanca y Complejo Malaguide. El Alpujarride aflora en muy pequeña extensión en el ángulo NE. Se introduce una nueva unidad llamada de Benamocarra, donde se ubica la zona de estudio de dicho proyecto. Se sitúa entre Alpujarride y Malaguide, puesto que su situación en uno u otro complejo de duda.

La Unidad de Benamocarra ha sido creada durante el año 1975. Designa el conjunto esquistoso que yace bajo las filitas malaguides.

Se trata de una serie muy monótona de micaesquistos negros. Dentro de ellos pueden diferenciarse dos facies, atendiendo a la granulometría original del sedimento.

La primera facies la forman micaesquistos con esquistosidad muy patente y abundante desarrollo de micas. En los planos de esquistosidad abundan los cristales aciculares de andalucita negra, sin orientar dentro de las superficies y formando en ocasiones conjuntos en estrella. Abundan también pequeños granates (1 a 2 mm) subidiomorfos, que destacan en relieve en los planos micáceos de esquistosidad. Presumiblemente esta facies deriva del metamorfismo de materiales arcillosos.

La segunda fase es más cuarcítica que la anterior y menos esquistosada. En ella no suelen encontrarse blastos de andalucita ni granates, sin duda a causa de la composición inicial de los sedimentos. Estos debieron ser arenas con impurezas de arcilla.

Las dos facies se encuentran íntimamente mezcladas en los afloramientos, según alternancias métricas o centimétricas. Por esta razón no ha sido posible separarlas en la cartografía. El metamorfismo es lo suficientemente intenso para no poder dilucidar si se trata de una serie de carácter flysch, o en general cuál fue la naturaleza de las secuencias sedimentarias.

4. ESTRATIGRAFÍA

En la compleja estratigrafía de la Hoja sólo pueden distinguirse materiales autóctonos en el intervalo comprendido entre el Tortoniense Superior y la actualidad. Dicha complejidad se exagera por la escamación de las series las cuales muestran un metamorfismo débil en la parte inferior y que va disminuyendo conforme van acercándose a la superficie, cobertura permomesozoica, donde desaparecen por completo.

La capa inferior se caracteriza por filita, metareniscas esquistosas y conglomerado de cuarzo, lidita y cuarcita. Se trata de una serie azoica con edad presilúrica. Sobre esta serie, se posiciona una capa de calizas, filitas y gruawacas cuya edad es Kockel. Para completar la capa inferior, yace sobre el anterior una capa de conglomerado con tamaño medio de granos de 0,5 cm. La capa superior se caracteriza por una distribución irregular, cobertura permomesozoica, con algunos relieves elevados. Dicha capa se conforma principalmente de areniscas, conglomerado de acillas y yesos. El tamaño de los granos es de medio a fino (2-4 cm). Se posicionan algunos cantos en ciertas áreas de la superficie que corresponden a cuarzo, liditas, areniscas permotriásicas, caliza con tamaño de canto de 5-10cm (máximo 50cm).

Como ya se verá más adelante, deslizamientos en masa, provenientes del Sur, y acaecidos durante el Mioceno, han situado en esta zona materiales alóctonos de diversas edades: desde el Triásico hasta el Mioceno Superior. Se trata de un Olistostroma, término que indica una masa argilítica más o menos caótica y dislocada, que contiene bloques rígidos de edades más antiguas, coetáneas o más jóvenes, deslizada por gravedad hacia zonas inferiores, generalmente en un área de sedimentación y originada por formaciones más antiguas que aquellas sobre las que desliza. Se encuentran principalmente en medio marino, pero pueden ser también subaéreas.

Estos deslizamientos no se produjeron de una sola vez, sino en diversos momentos, al tiempo que se producía la sedimentación propia de la cuenca, lo que dio lugar a una continua remoción, entremezcla y resedimentación de materiales predominantemente margosos.

4.1.1. OLISTOSTROMA

Los terrenos por donde se desarrollan las infraestructuras del proyecto, están formados esencialmente por calizas, calizas arenosas, areniscas, margas y arenas. Estas son formaciones alóctonas originadas en el Terciario, entre el Eoceno Inferior y el Oligoceno.

Las características tectoestratigráficas de estos sedimentos llevan a considerar su pertenencia al Olistostroma. Esto define a una masa plástica más o menos caótica y dislocada, que contiene bloques rígidos, de edades más antiguas, coetáneas o más modernas, deslizadas por gravedad hacia zonas inferiores, generalmente en un área de sedimentación y originadas por formaciones más antiguas que aquellas sobre las que desliza. Estos deslizamientos se originan principalmente en medio marino, pero pueden igualmente ser subaéreos. Es indudable que la aproximación a la patria de estos sedimentos, subbético sensu lato, los bloques rígidos (olistolitos) tendrán una entidad mayor que en los sectores donde estos materiales han sufrido una traslación mayor, en cuyo caso la fragmentación y mezcla hace muy difícil su diferenciación.

4.1.2. CONGLOMERADOS, GRAVAS, ARENAS Y LUTITAS

Amplias zonas de la hoja están cubiertas por cuaternarios de diversa índole. En muchos casos los derrubios o las costras calcáreas enmascaran los sedimentos infrayacentes, siendo los más destacables en la zona de estudio los conglomerados, gravas, arenas y lutitas.

La evolución de la cuenca endorreica del SO presenta en la actualidad lagunas residuales de mayor a menor extensión. Las fluctuaciones estacionales dan lugar a una acumulación de sedimentos de importancia variable, pero que indudablemente por la extensión que dicha cuenca ocupa ha debido ser mucho mayor. Los depósitos lagunares actuales están constituidos por arcillas varvadas, lutitas y evaporitas.

Por otro lado, las terrazas formadas por el río Genil y sus afluentes presentan una constitución similar (gravas, conglomerados y arenas). La fracción lutítica es muy escasa o nula en los afloramientos observados.

4.1.3. TECTÓNICA

Los sedimentos que afloran en la Hoja los asimilamos a dos grandes unidades estructurales: Olistostroma y sedimentos autóctonos, que presentan rasgos de una evolución tectónica diferente.

La tectonia del Olistostroma está determinada por el desplazamiento de SE a NO de materiales fundamentalmente margosos, que durante el Mioceno avanzaron hacia el mar instaurado en la

zona. En este movimiento arrastró depósitos, desplazándolos como planchas flotantes al principio, hasta sufrir deformaciones, fracturas e imbricaciones que dieron lugar a su mezcla con la masa. Esta evolución se aprecia en un corte de Norte a Sur, o cuanto más próxima se encuentra la zona de despegue. Esta unidad estructural presenta de forma genérica un esquema tectónico difuso, debido posiblemente a la yuxtaposición de los movimientos olistostrómicos sobre una tectónica subbética preestablecida. Por ellos se desconoce si los accidentes presentes son heredados de la primitiva tectónica subbética, con posterior retoque en los deslizamientos olistostrómicos, o son totalmente debidos a estos deslizamientos.

4.1.4. HIDROGEOLOGÍA

Los sedimentos aflorantes en la Hoja de El Rubio, dada su litología y su tectonia, no se prestan por lo general a la formación de mantos acuíferos. El Trías y la masa olistostrómica son prácticamente impermeables y los olistolitos que se encuentran, dado su tamaño, no tienen más interés que el de pequeñas fuentes de uso doméstico. La serie Eoceno-Mioceno Inferior se encuentra flotando sobre los materiales anteriores impermeables, serían en principio acuíferos menores, pero más importantes.

Por otro lado, las formaciones cuaternarias recogen las aguas de escorrentía de las series anteriores y al encontrarse sobre series impermeables, por lo general, las almacenan, en el caso de los endorreicos, y en el caso de la terraza del Genil, porque además están alimentadas por el río.

5. ESTUDIO GEOTÉCNICO

Se adjunta en el **Apéndice 2** el estudio geotécnico realizado para la construcción de la Balsa 1 de la C.R. Cerro de la Encina, realizado en el entorno de actuación de este proyecto.

En el estudio se indica que se han realizado varias calicatas de reconocimiento geotécnico alcanzando una profundidad máxima de 2,10 m, realizadas con retroexcavadora, un perfil de tomografía eléctrica multielectrodo y un perfil de sísmica de refracción, con la correspondiente toma de muestras recogidas en las calicatas. El informe fue realizado en el año 2017.

Del informe adjunto a este anejo se extrae la siguiente información:

- Zona cuyo grado de excavabilidad es difícilmente excavable y el avance se tuvo que realizar con retroexcavadora mixta.
- Las calicatas realizadas presentaban un grado de estabilidad nº1 con paredes estables típicas de macizos rocosos y suelos arcillosos cohesivos.

- En la diagráfía se pueden interpretar tres niveles en función de la excavabilidad de la roca:
 - Nivel 1 de 0 a 2 m: Excavable.
 - Nivel 2 de 2 a 5 m: Excavabilidad Moderada a Difícil.
 - Nivel 3 > 5 m: Excavabilidad muy difícil, ayuda puntual de martillo o voladura.
- Según su ripabilidad se trataría de Esquistos, concretamente se habla de Esquistos oscuros del Paleozoico.
- Características del terreno:

Tabla 2. Parámetros resistentes del suelo.

Unidad geotécnica	Cohesión (kPa)	Ángulo de rozamiento (°)	Densidad terreno (kN/m ³)
Terreno natural	17,65	32,57	17,00

En conclusión, hablamos en su mayoría de terrenos y macizos rocosos, es por ello que se propone la cimentación de los módulos fotovoltaicos mediante hinca con predriling. Estos valores son los empleados para los cálculos de la estabilidad de la explanación de implantación de planta fotovoltaica.

6. ESTUDIO GEOFÍSICO

A continuación, se detalla la información relativa al estudio geofísico realizado en la zona de interés que se adjunta en el **Apéndice 3**. Los ensayos permiten determinar la velocidad de propagación sísmica (VP), que caracteriza el material del suelo dependiendo la facilidad de excavación. La ripabilidad y los valores de VP pueden correlacionarse e indicar el tipo de suelo, en base a tablas elaboradas por fabricantes por ejemplo de Caterpillar.

Los trabajos realizados consistieron en una campaña de 3 perfiles de sísmica refracción de 150 m de longitud unitaria (450 m en total) con geófonos separados cada 3 metros.

6.1. RESULTADOS

6.1.1. PERFIL S-1

El perfil presenta una cubierta de alteración gradacional, lo que condiciona el nivel de ripabilidad de los materiales. En los primeros 15m (desde la superficie) se posiciona un suelo considerado

como material potencialmente ripable, con bajas velocidades. Dicho material puede ser clasificado como arcilloso y arenoso. El resto del perfil se desarrolla como material no ripable.

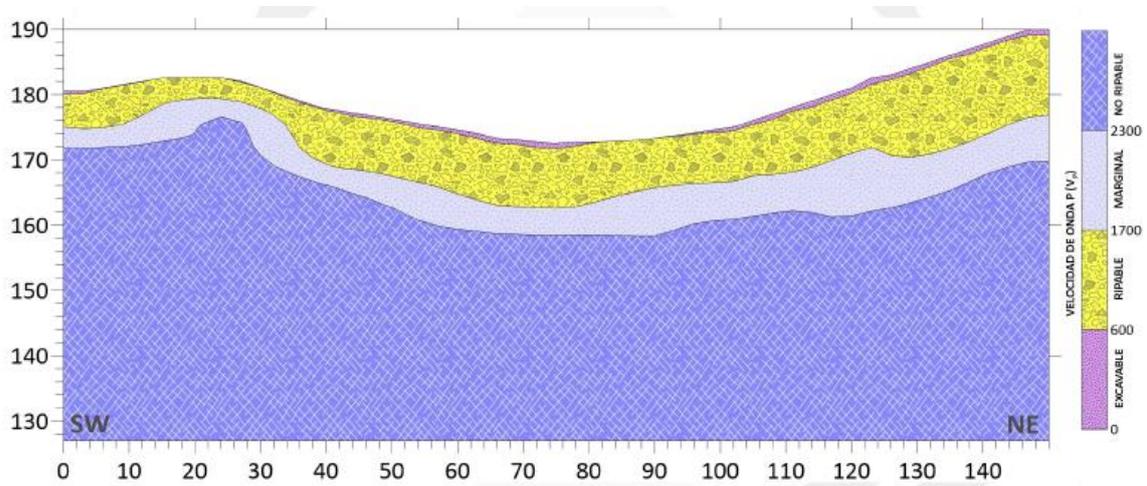


Figura 2. Perfil PS-1 del terreno

6.1.2. PERFIL S-2

Este perfil presenta un comportamiento similar al anterior. El estrato superior se caracteriza por material tipo arcilloso que posibilita la excavación que se extiende hasta los 14m. A partir de ese punto, el resto del perfil se desarrolla como material no ripable.

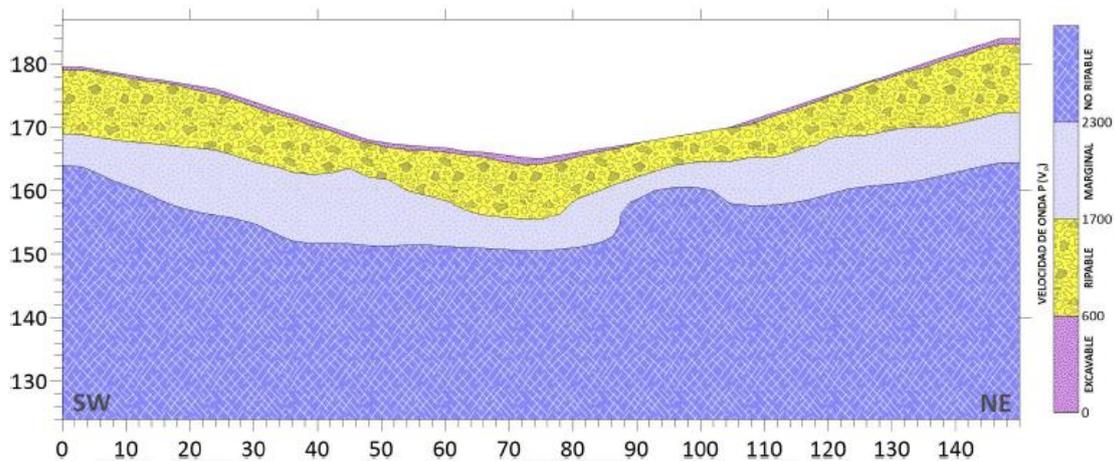


Figura 3. Perfil PS-2 del terreno

6.1.3. PERFIL S-3

En este perfil, que atraviesa transversalmente los anteriores descritos, se identifica una cobertura de materiales excavables de baja profundidad. El material ripable se posiciona muy cerca de la

superficie en algunos puntos hasta alcanzar los 8-9 m. El resto del perfil se desarrolla como material no ripable.

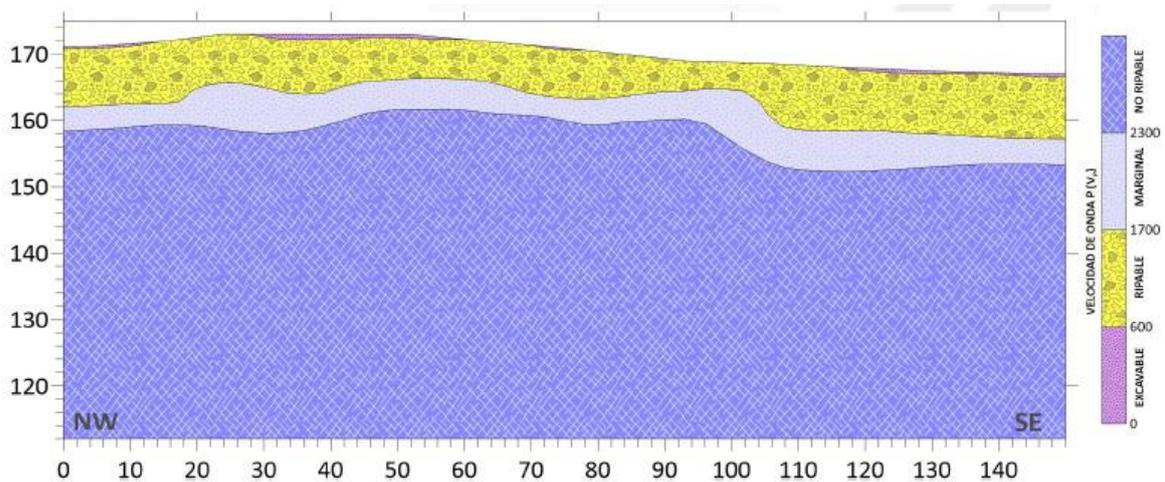


Figura 4. Perfil PS-3 del terreno.

7. ESTABILIDAD DE TALUDES

Los taludes artificiales deben cumplir unos requisitos mínimos que garanticen su estabilidad a lo largo de su vida útil. Dado que gran parte de los accidentes producidos en la obra civil están relacionados con fenómenos de inestabilidad en taludes, es conveniente evitar problemas de deslizamiento y estabilidad, especialmente cuando existe la presencia de agua.

Se debe considerar, para el dimensionamiento de los taludes, la fase de explotación, así como la de construcción, donde son más frecuentes y graves los accidentes, así como otras acciones de carácter accidental que tienen incidencia en la seguridad del talud al deslizamiento.

Desde el punto de vista mecánico, el motivo por el cual un talud se hace inestable, está relacionado con la insuficiente resistencia del material que lo compone ante las tensiones a las que está sometido. A medida que aumenta la altura de un talud, más inestable se hace.

A continuación, se describirá el proceso seguido para el dimensionamiento de los taludes del presente proyecto, de modo que se garantice una resistencia necesaria para cumplir las condiciones mínimas de estabilidad.

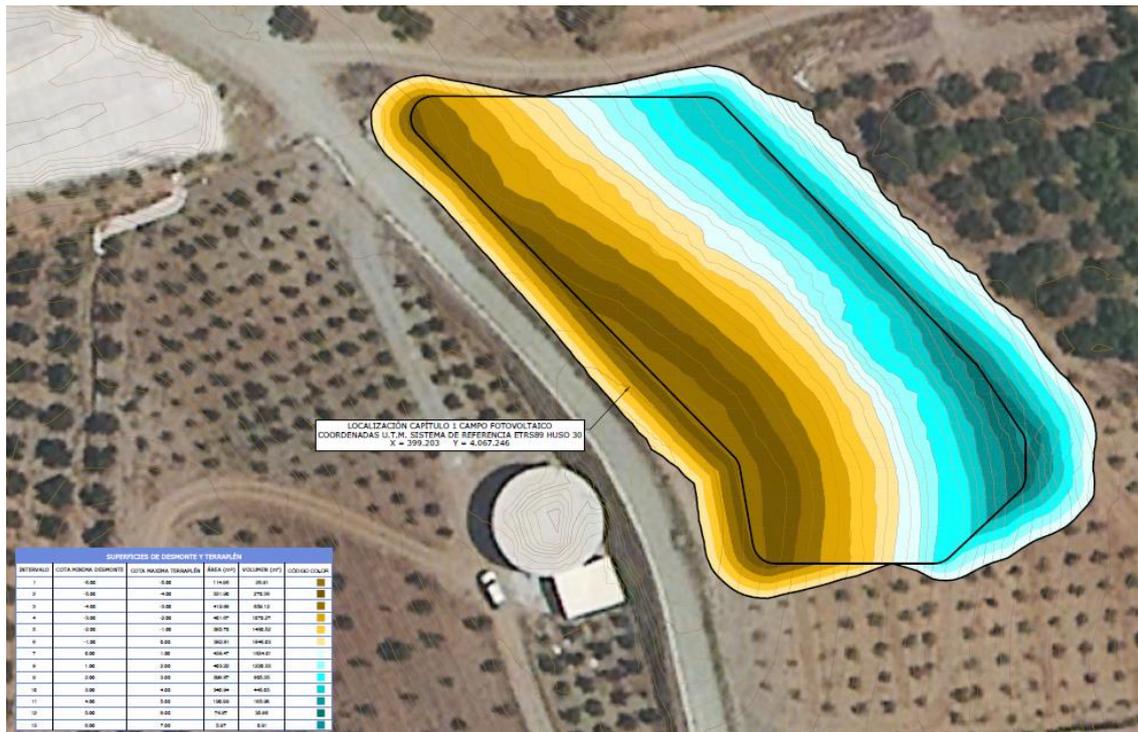


Figura 5. Imagen del emplazamiento de la explanación para la implantación del campo fotovoltaico.

A través de una campaña geotécnica basada en la ejecución de calicatas y de ensayos de caracterización mecánica y físico-química realizados en la zona de la C.R. Cerro de la Encina, se determinaron las propiedades del suelo necesarias para la realización de cálculos y son los que han sido empleados para la caracterización del suelo de los cálculos de estabilidad.

7.1. NORMATIVA DE APLICACIÓN Y CONSULTA

La normativa y las guías técnicas que se ha empleado para la redacción del presente estudio son las siguientes:

- Real Decreto 997/2002 por el que se aprueba la **Norma de Construcción Sismorresistente**: Parte General y edificación (NCSE-02) del Ministerio de Fomento.
- **Eurocódigo UNE EN 1998:5 (2018)**. Proyecto de estructuras sismorresistentes. Parte 5: Cimentaciones, estructuras de contención y aspectos geotécnicos. Elaborado y aprobado por el CTN 140 Eurocódigos estructurales en su adaptación al marco español.
- Stability Modeling with **SLOPE/W**. GEO-SLOPE International Ltd. Julio 2012.

7.2. SITUACIONES DE PROYECTO

Encontramos dos situaciones de cálculo en la explanación de implantación del campo fotovoltaico

- **Fase construcción:** en esta fase se supone que la explanación está completamente finalizada, sin cargas de explotación, es decir, es la situación menos desfavorable ya que se estudia la estabilidad natural de la explanación.
- **Fase de explotación:** en esta fase se supone que la explanación está completamente finalizada y que ya se han ubicado sobre ella las estructuras metálicas de soporte y los paneles fotovoltaicos, es decir, la planta fotovoltaica se encuentra en servicio. Por ello, se considera sobre la explanación el peso propio de la estructura que ha sido justificado y calculado en el *Anejo nº10. Cálculos estructurales*. Esta es la situación más desfavorable.

En la zona de estudio, debido a la información y los estudios previos y que con el añadido de que se ubica en la parte alta de un cerro, se considera que no existe afección del nivel freático a la estabilidad y a la excavación necesaria para generar la explanación de implantación del campo fotovoltaico.

Del estudio de estas situaciones de proyecto se considera cubierto todo escenario crítico de evaluación de la resistencia al deslizamiento de los taludes y por tanto no es necesario a priori contemplar cálculos adicionales.

Igualmente, el factor de seguridad considerado tal y como se indica en el estudio geotécnico aportado, **factor de seguridad de 1,5**.

7.3. DIMENSIONAMIENTO

La razón por la que un talud se hace inestable desde el punto de vista mecánico y desliza, está relacionada con la insuficiente resistencia del material de construcción (en este caso el propio suelo) ante las tensiones a que se le somete, por lo que la estabilidad quedará garantizada cuando quede garantizada esa resistencia.

Por lo tanto, deberemos conocer con la mayor precisión que sea posible:

- Las cargas actuantes en el talud.
- La transformación de las cargas en tensiones internas.

- La respuesta del terreno a estas tensiones.
- Los parámetros de resistencia del suelo y su reología.

La principal carga que debe soportar un talud artificial es el peso propio del material que lo constituye, por lo que un primer parámetro esencial en el cálculo de la estabilidad será el peso específico del material del talud. Además, cualquier talud soporta otras muchas cargas, siendo muy importante también la debida a las máquinas durante el proceso constructivo. En el caso de las explanaciones para implantación de plantas fotovoltaicas, la segunda carga en importancia será el peso propio de las estructuras de implantación.

Respecto a la transformación de las cargas en tensiones y la respuesta del terreno, generalmente se engloban en un campo de la geotecnia, el de los modelos de comportamiento. Existen diversos modelos que responden adecuadamente a situaciones distintas, sin que se pueda decir que exista alguno que simule con precisión la compleja realidad del suelo como elemento mecánico.

Directamente relacionados con el modelo de comportamiento de los suelos están los parámetros mecánicos de resistencia, que varían de unos a otros. La determinación de estos parámetros mediante distintos tipos de ensayos y la evolución y variación con el tiempo y las circunstancias es un punto trascendental para garantizar la estabilidad de los taludes.

En la actualidad la técnica más generalizada para asegurar la estabilidad de un talud consiste en comprobar su resistencia partiendo de unas características previamente fijadas, tanto geométricas como de tipo de suelo, es decir, el procedimiento no consiste en elegir el suelo o la geometría del talud, sino en seleccionar estos y comprobar si los valores seleccionados garantizan o no la estabilidad.

Cumpliendo estos principios generales se encuentran multitud de métodos de comprobación, adaptados a diferentes situaciones y obras. En el caso de taludes de materiales sueltos se emplean en la actualidad dos tipos de procedimiento de comprobación:

- Métodos de equilibrio límite.
- Métodos numéricos.

Dado el alcance de este proyecto la comprobación se ciñe a métodos de equilibrio límite. La principal limitación que contienen los **métodos estáticos o de equilibrio límite** es que se componen únicamente de ecuaciones de equilibrio y carecen de ecuaciones de compatibilidad a nivel de deformaciones. Es decir, la cuantificación de los esfuerzos está únicamente vinculada a criterios de estática y no tiene en cuenta la compatibilidad de deformaciones entre los diferentes

elementos de rebanada. Para paliar esta deficiencia que en ocasiones y localmente pudiera tener importancia se deben emplear métodos numéricos en lugar de los métodos tradicionales del equilibrio límite.

7.4. MODELOS DE COMPORTAMIENTO DE SUELOS Y PARÁMETROS RESISTENTES

El modelo de comportamiento de suelo que vamos a emplear es el de **Möhr-Coulomb**. Este modelo es un modelo que ilustra las condiciones de posibilidad de estados tensionales que son posibles de asumir para un determinado suelo sin que se produzca el fallo del mismo. Este modelo está caracterizado básicamente por dos parámetros:

- Por un lado, la cohesión que es medida de la resistencia al cortante que ofrece un suelo a través de las fuerzas internas de ligazón entre sus granos. El valor de esta variable es mayor donde existe una mayor cantidad de puntos de contacto entre los granos de un suelo, por ejemplo, en los suelos formados por partículas finas como limos o arcillas.
- Por otro lado, el ángulo de rozamiento interno que es una medida de la oposición al cortante que ofrece un suelo movilizándose fuerzas de rozamiento en sentido contrario cuando se le somete a cortante.

La idea básica es que los suelos responden mecánicamente según una ecuación del tipo:

$$\tau = c + \sigma * \operatorname{tg} \varphi$$

Esta ecuación modela un espacio de tensiones cartesiano donde cualquier tipo de acción sobre un suelo provoca sino la rotura del mismo, un estado tensional en dos planos caracterizado por una tensión tangencial y una normal

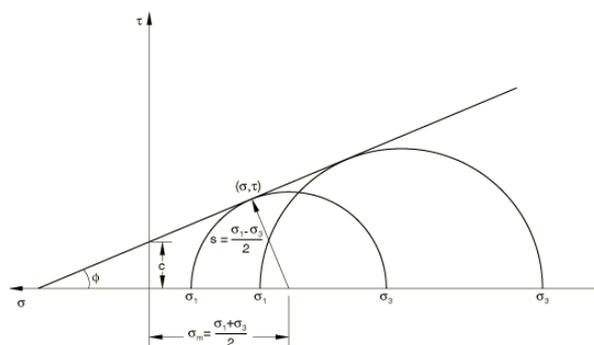


Figura 6. Modelo de caracterización del comportamiento mecánico de los suelos Möhr-Coulomb.

Donde τ y σ son por tanto las tensiones internas, tangencial y normal, mientras que c (cohesión) y φ (ángulo de rozamiento interno) son los parámetros resistentes del suelo. En los suelos la

resistencia a tensiones tangenciales aumenta al aumentar las tensiones normales, no pudiendo por tanto establecerse un límite tensional numérico como sucede en otros materiales. La recta (que ordinariamente se denomina recta de Coulomb) se convierte así en un referente tensional, considerándose como un límite al que pueden llegar los suelos sin deformaciones excesivas. Al alcanzar la recta se supone que las tensiones no podrán aumentar, pero aumentarán notablemente las deformaciones y produciéndose el fallo.

En los taludes la ruina se produce, precisamente, por los movimientos de grandes masas de suelo, que deben comenzar con un proceso de grandes deformaciones.

La presencia de agua en los huecos del esqueleto granular del suelo modifica el estado tensional de forma significativa obligando a distinguir el comportamiento de una masa de suelo en función de la respuesta del mismo a la presencia de un gradiente hidráulico. Si ante un gradiente hidráulico determinado la masa de suelo responde de manera rápida drenando el agua que se encuentra en el interior de su estructura granular, como suele pasar en los análisis de resistencia de los suelos que se evalúan a largo plazo o en los cuales las cargas afectan de una manera lenta y progresiva, entonces hablamos de un comportamiento drenado del suelo y la oposición a la acción exterior se moviliza fundamentalmente en forma de tensiones efectivas producidas en el interior del suelo y de la cohesión inherente al mismo. Por otro lado, si la carga se aplica de una manera súbita y se necesita evaluar el comportamiento de suelos que se encuentran saturados o cercanos a las condiciones de saturación y no se dan buenas condiciones de drenaje, entonces estaremos hablando de un tipo de comportamiento denominado no drenado. Este tipo de comportamiento es muy útil donde las condiciones de drenaje de los materiales arcillosos son pobres y a menudo sus contenidos de humedad son altos debido a la presencia de una piezometría propia de un cuerpo de presa de materiales sueltos.

Un suelo es un material compuesto por tres elementos: aire, agua y suelo propiamente dicho. La capacidad de oposición a una acción exterior cuando el suelo se encuentra saturado puede disminuir de manera muy importante, es por ello necesario darle la mayor de las importancias en la evaluación de problemas geotécnicos a las suposiciones sobre la altura del nivel freático.

7.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

De la campaña geotécnica realizada en el estudio geotécnico aportado se ha extraído la información geotécnica que permite caracterizar el modelo de cálculo y dotar al criterio de fallo de Mohr-Coulomb de valores de sus parámetros. De relevancia para los cálculos de estabilidad podemos decir que se han realizado los siguientes ensayos.

- Calicatas con reconocimiento de estratos, caracterización de los materiales extraídos y potencia de los mismos.

- perfil de tomografía eléctrica multielectrodo
- Perfil de sísmica de refracción.

Los resultados que han sido introducidos en el programa para simular los taludes de la explanación completamente terminados son los siguientes:

Tabla 3. Parámetros resistentes del material empleado en el cálculo

Unidad geotécnica	Cohesión (kPa)	Ángulo de rozamiento (°)	Densidad terreno (kN/m ³)
Terreno natural compactado en terraplén	17,65	32,57	18,00
Terreno natural en banco	17,65	32,57	17,00

En cualquier caso, durante la ejecución de las obras y con anterioridad a la ejecución de los taludes se recomienda contrastar estos valores de nuevo con muestras del terreno y ensayos de caracterización mecánica tipo triaxial, de forma que de encontrarse divergencias entre estos valores se recomienda proceder al reestudio.

Color	Nombre	Modelo	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (kPa)	Phi ⁺ (°)	Phi ⁻ (°)	Línea piezométrica	Incluir Ru en presión de poro por agua
■	Terreno natural	Mohr-Coulomb	17	17,65	32,57	0	1	No
■	Terreno natural compactado	Mohr-Coulomb	18	17,65	32,57	0	1	No

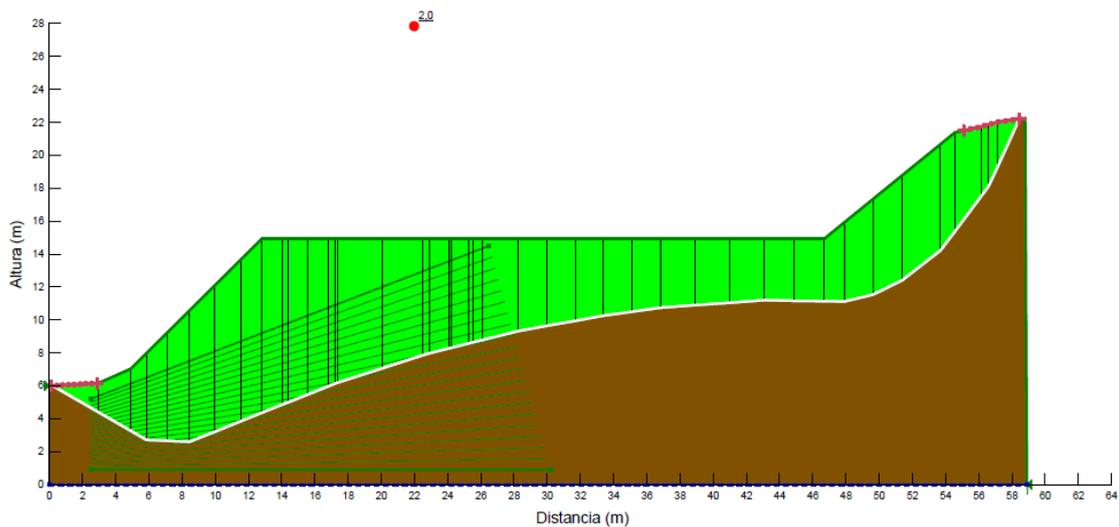


Figura 7. Perfil de la explanación de implantación del campo fotovoltaico con los valores del material asociados introducido en el programa de cálculo SLOPE para la evaluación de su estabilidad.

7.6. CÁLCULO DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR MEDIO DE MÉTODOS DE EQUILIBRIO LÍMITE

Para la resolución del cálculo de la estabilidad se ha empleado la herramienta SLOPE que permite hacer cálculos sucesivos de diferentes hipótesis de superficies de rotura de manera que permite conseguir un ahorro de tiempo considerable respecto de los cálculos a mano. Dicho programa desarrolla la comprobación de equilibrio de los círculos de rotura, en este caso, a través de cuatro métodos diferentes:

- Bishop.
- Janbu.
- Morgenstern–Price.
- Spencer.

Los métodos utilizados se basan en el denominado de las rebanadas, que consiste en dividir el macizo potencialmente deslizante en rebanadas verticales, calcular el equilibrio de cada una de ellas, y finalmente analizar el equilibrio global, obteniendo un Factor de Seguridad (FS) que se define como la relación entre fuerzas o momentos resistentes y fuerzas o momentos motores. El peso de la rebanada (W) se descompone en un empuje tangencial (WT) y otro vertical (WN), paralelo y normal, respectivamente, a la base de aquella. WT origina una tensión cortante, a la que se opone la propia resistencia al corte (s) del terreno, definida por la cohesión y la fuerza normal (WN) disminuida en la presión intersticial (u). **Las fuerzas V y H , con sus subíndices**, definen la **interacción entre rebanadas**, y es la evaluación de estas reacciones internas lo que establece la diferencia fundamental entre los métodos.

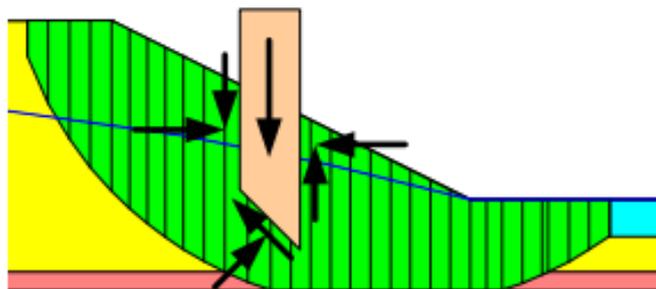


Figura 8. Figura en la que puede verse la definición de una superficie de rotura genérica para un talud y la división de la misma en rebanadas de cara a su análisis.

- **Método de Bishop.** Se trata de un método desarrollado en dovelas, considerando una superficie de falla cilíndrica y una masa de suelo que gira sobre un punto, el cual

corresponde al centro del círculo que define la superficie de falla. **No considera la fricción entre dovelas, solamente las fuerzas normales a estas.**

- **Método de Janbu.** También supone que la interacción entre rebanadas es nula, pero busca el **equilibrio de fuerzas y no de momentos**. Experiencias posteriores hicieron ver que la interacción nula en el caso de equilibrio de fuerzas era demasiado restrictiva, lo que obligó a introducir un factor de corrección empírico aplicable al FS.
- **Método de Morgenstern y Price.** Este método supone una evolución a nivel matemático frente a los dos anteriores porque se trata de un método que permite considerar el equilibrio integral tanto de momentos como de fuerzas, así como la interacción normal y tangencial, lo que da como resultado una resolución del factor de seguridad que es una ecuación no lineal y ha de resolverse de manera iterativa. La diferencia fundamental estriba en que la interacción entre rebanadas viene dada por una función que evalúa esa interacción a lo largo de la superficie de deslizamiento.
- **Método de Spencer.** Muy similar al anterior a nivel del tratamiento matemático del problema su diferencia fundamental estriba en que la interacción entre rebanadas está caracterizada a través de una dirección constante y no conocida a priori.

7.7. HIPÓTESIS DE CÁLCULO

Por último y además de todo lo anterior, dado que la explotación se encuentra en un entorno de sismicidad elevada la normativa recomienda que se hagan estudios específicos de sismicidad para cuantificar las acciones que han de considerarse en esos casos. Es por ello que se consideran tres hipótesis de fuerzas sísmicas para cada una de las situaciones (explotación y construcción) y para cada uno de los métodos de cálculos empleado:

Las hipótesis son las siguientes:

- **HIPÓTESIS 0.** No se consideran acciones sísmicas en el cálculo.
- **HIPÓTESIS I.** Considera el 100 % de la componente horizontal y el 30 % de la componente vertical.
- **HIPÓTESIS II.** Se tiene en cuenta el 70 % de la componente vertical y el 30 % de la horizontal, según el apartado 2.6 de la citada norma.

Tabla 4. Hipótesis de cálculo sísmico para estabilidad de taludes.

Término municipal	Aceleración sísmica de cálculo	HIPÓTESIS I		HIPÓTESIS II	
		Componente sísmica horizontal	Componente sísmica vertical	Componente sísmica horizontal	Componente sísmica vertical
Vélez-Málaga	0,154 g	0,154 g	0,046 g	0,046 g	0,107 g

En conjunto se ofrecerán resultados por tanto de las siguientes hipótesis de cálculo con sus factores de seguridad asociados, de forma que se verifiquen los factores de seguridad indicados. Igualmente se ofrecen en el **Apéndice 4** del documento las láminas en las que se pueden comprobar las superficies de deslizamiento de cada uno de las hipótesis y el resto de la información gráfica de cada una. Para mayor aclaración y contraste con el factor de seguridad prescrito se ofrece el listado con la consideración del tipo de hipótesis. Las hipótesis son las siguientes:

Tabla 5. Hipótesis de cálculo para estabilidad de taludes.

Nº	HIPÓTESIS	MÉTODO	TIPO
1	TALUD (HIPÓTESIS 1, HIPÓTESIS 2, SIN SISMO) CONSTRUCCIÓN FINALIZADA	BISHOP	ACCIDENTAL/ CONSTRUCCIÓN
2	TALUD (HIPÓTESIS 1, HIPÓTESIS 2, SIN SISMO) CONSTRUCCIÓN FINALIZADA	JANBU	ACCIDENTAL/ CONSTRUCCIÓN
3	TALUD (HIPÓTESIS 1, HIPÓTESIS 2, SIN SISMO) CONSTRUCCIÓN FINALIZADA	MORGENTERN-PRICE	ACCIDENTAL/ CONSTRUCCIÓN
4	TALUD (HIPÓTESIS 1, HIPÓTESIS 2, SIN SISMO) CONSTRUCCIÓN FINALIZADA	SPENCER	ACCIDENTAL/ CONSTRUCCIÓN
5	TALUD (HIPÓTESIS 1, HIPÓTESIS 2, SIN SISMO) EXPLOTACIÓN	BISHOP	NORMAL
6	TALUD (HIPÓTESIS 1, HIPÓTESIS 2, SIN SISMO) EXPLOTACIÓN	JANBU	NORMAL
7	TALUD (HIPÓTESIS 1, HIPÓTESIS 2, SIN SISMO) EXPLOTACIÓN	MORGENTERN-PRICE	NORMAL
8	TALUD (HIPÓTESIS 1, HIPÓTESIS 2, SIN SISMO) EXPLOTACIÓN	SPENCER	NORMAL

7.1. RESULTADOS Y COMPROBACIONES

En las siguientes tablas se muestran los valores de las comprobaciones efectuadas con el factor de seguridad obtenido y su relación con el normativo para las diferentes hipótesis que se han tenido en cuenta:

Tabla 6. Resultado de factores seguridad y comprobaciones de estabilidad; **Error! Vínculo no válido.** De la anterior tabla de comprobaciones se concluye:

- Que se verifican todas las comprobaciones por los diferentes métodos de cálculo para todas las hipótesis contenidas en las situaciones de proyecto estudiadas. Por tanto, los valores de pendiente de los taludes quedan validados y son suficientemente seguros.

8. CONCLUSIONES

De los estudios geofísico y geotécnico, ambos corroboran la misma información, se puede concluir que el sustrato rocoso sano y no ripable se emplaza entre los 9-20m de profundidad. Teniendo en cuenta el encaje de la explanación para instalación fotovoltaica no requiere la excavación a tales profundidades, no hay problemas con el tipo de material en capas superiores por lo que no necesitará maquinaria especializada.

Teniendo en cuenta lo anterior, las respectivas visitas a la parcela de actuación y la información recopilada, se comprueban las características del suelo. Se puede determinar que la capa superior del suelo se conforma por materiales rocosos tal y como se ha comentado.

Esta documentación y resultados, así como su posterior interpretación han servido para el diseño del citado documento y la justificación del resto de cálculos que precisan de dicho cálculo (cálculos estructurales, cimentación, etc.).

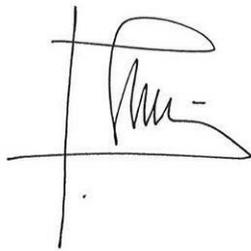
Estos estudios se localizan próximos a la zona de estudio, y aun no siendo homogéneos entre sí, son una muestra significativa de las características de los suelos. No obstante, para estar del lado de la seguridad, se tomarán a efectos de cálculo las características de los suelos más desfavorables quedando de esta forma garantizada la estabilidad de las estructuras proyectadas.

Aun así, antes de iniciar las obras, es conveniente que el Director de la Obra confirme que en consonancia con las conclusiones aportadas en el presente documento y que en caso que se encuentren discordancias, se deberán adaptar las medidas adecuadas que puedan afectar principalmente a la cimentación y/o estructura de la planta fotovoltaica.

Sevilla, enero de 2023

Firmado:

Joaquín Sánchez Mancha



Ingeniero Agrónomo
Colegiado número 2.057

Firmado:

Manuel Calvo-Júdice
Gravalosa



Ingeniero Caminos, Canales
y Puertos
Colegiado número 28.687

APÉNDICE 1. MAPA GEOLÓGICO GENERAL (IGME)

APÉNDICE 2. ESTUDIO GEOLÓGICO

INDICE

ANEJO N° 3:
ESTUDIO GEOTÉCNICO

INDICE

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

1 INTRODUCCIÓN

Para el correspondiente estudio geológico-geotécnico, se han realizado en la zona donde se ubicará la balsa varias calicatas de reconocimiento geotécnico alcanzando una profundidad máxima de 2,10 metros, realizadas con retroexcavadora, un perfil de tomografía eléctrica multielectrodo y un perfil de sísmica de refracción, con la correspondiente toma de muestras, una cartografía geológica de detalle de la zona y ensayos de laboratorio con las muestras recogidas en las calicatas.

Se ha empleado en el estudio un geólogo de campo con dilatada experiencia en cartografía de suelos, que los ha caracterizado desde el punto de vista geomecánico, y un ingeniero técnico de minas con experiencia en recomendaciones geotécnicas para los cálculos de estabilidad de taludes.

A continuación se adjunta el Informe Geotécnico donde se detallan los trabajos realizados, se analizan los resultados obtenidos, se hace un comentario de las características del subsuelo y se dan recomendaciones geotécnicas para la ejecución de las obras.

INFORME GEOTÉCNICO

PARA Balsa de Almacenamiento de Agua para la
Comunidad de Regantes Cerros de la Encina, T.M.
Vélez Málaga, Málaga.



Fecha: Octubre de 2.017

Peticionario: Agrimensur Consulting, S.L.

Inf. 007.17



- GEOTECNIA
- SONDEOS
- TOPOGRAFÍA
- MINERÍA

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.

2. INFORMACIÓN PREVIA.

- 2.1. Geología de la zona.
- 2.2. Hidrogeología.
- 2.3. Sismicidad.
- 2.4. Características de la obra.

3. TRABAJOS REALIZADOS.

- 3.1. Calicatas realizadas con retro excavadora.
- 3.2. Tomografía Eléctrica Multielectrodo.
- 3.3. Sísmica de Refracción.

4. COMENTARIO GEOTECNICO.

- 4.1. Niveles geotécnicos.
- 4.2. Nivel freático.

5. RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS Y DE ESTABILIZACIÓN.

- 5.1. Capacidad portante en la base de los terraplenes de la balsa.
- 5.2. Estabilidad intrínseca de taludes.
 - 5.2.1. Taludes de los terraplenes.
 - 5.2.2. Análisis de estabilidad de desmontes.
 - 5.2.3. Idoneidad de materiales para el empleo en terraplenes.
- 5.3. Clasificación del terreno según su ripabilidad.
- 5.4. Recomendaciones.



- GEOTECNIA
- SONDEOS
- TOPOGRAFÍA
- MINERÍA

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN

Se tiene prevista la construcción de una balsa en el Polígono 40 Parcelas 141, 459 de T.M. Vélez Málaga, Málaga.

A fin de determinar las características del subsuelo, AGRIMENSUR CONSULTING, S.L. la ingeniería responsable del proyecto de la balsa, ha contratado a PROGEO para la realización del correspondiente estudio geotécnico del terreno donde se erigirá la balsa.

Para el presente estudio geotécnico, se han realizado cinco calicatas con una profundidad máxima de 2,10 metros, un perfil de tomografía eléctrica multielectro, un perfil de sísmica de refracción y ensayos de laboratorio en la muestra recuperada, para determinar la idoneidad del suelo.

Se ha empleado en el estudio un geólogo de campo con dilatada experiencia en cartografía de suelos, que los ha caracterizado desde el punto de vista geomecánico, y un ingeniero técnico de minas para los cálculos de estabilidad de taludes que ha redactado las recomendaciones constructivas de la balsa.

En el presente Informe Geotécnico se detallan los trabajos realizados, se analizan los resultados obtenidos, se hace un comentario de las características del subsuelo y se dan recomendaciones geotécnicas para la ejecución de la balsa.

2. INFORMACIÓN PREVIA.

2.1. Geología de la zona.

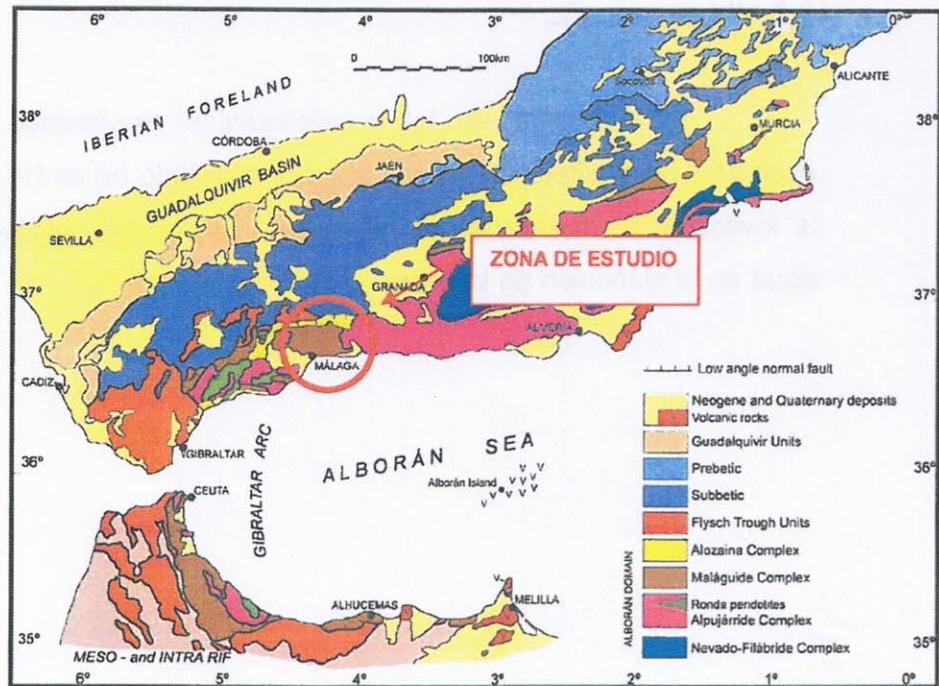
Desde el punto de vista geológico de acuerdo con la Hoja Magna, 1.054, escala 1: 50.000 de Vélez Málaga editada por el I.G.M.E., la zona objeto de estudio se encuentra dentro del dominio de las Cordilleras Béticas, que constituye el extremo más occidental del conjunto de cadenas alpinas del Mediterráneo. La Cordillera Bética presenta una estructura en grandes mantos de corrimiento y en ella ha tenido lugar, además, importantes traslaciones laterales, de modo análogo a otras cadenas alpinas como los Alpes, Apeninos, Cárpatos, etc.

Dentro de las Cordilleras Béticas, como en otras cordilleras, se diferencian dos grandes conjuntos según litología, edad y grado de deformación de los materiales: Zonas Externas y Zonas Internas, con diversas unidades dentro de cada una de ellas.

La zona objeto de estudio se encuentra ubicada dentro del dominio de las Zonas Internas, en la que existen numerosas unidades tectónicas, teniendo como zócalo los materiales Alpujarride.

Concretamente en la zona objeto de estudio está ubicada dentro del zócalo formado por micaesquistos del Alpujarride Paleozoico.

OBRA: I.G. Balsa de Almacenamiento de Agua para C.R. Cerros de la Encina, Vélez Málaga, Málaga.



Esquema del marco geológico donde se encuentra la zona en estudio

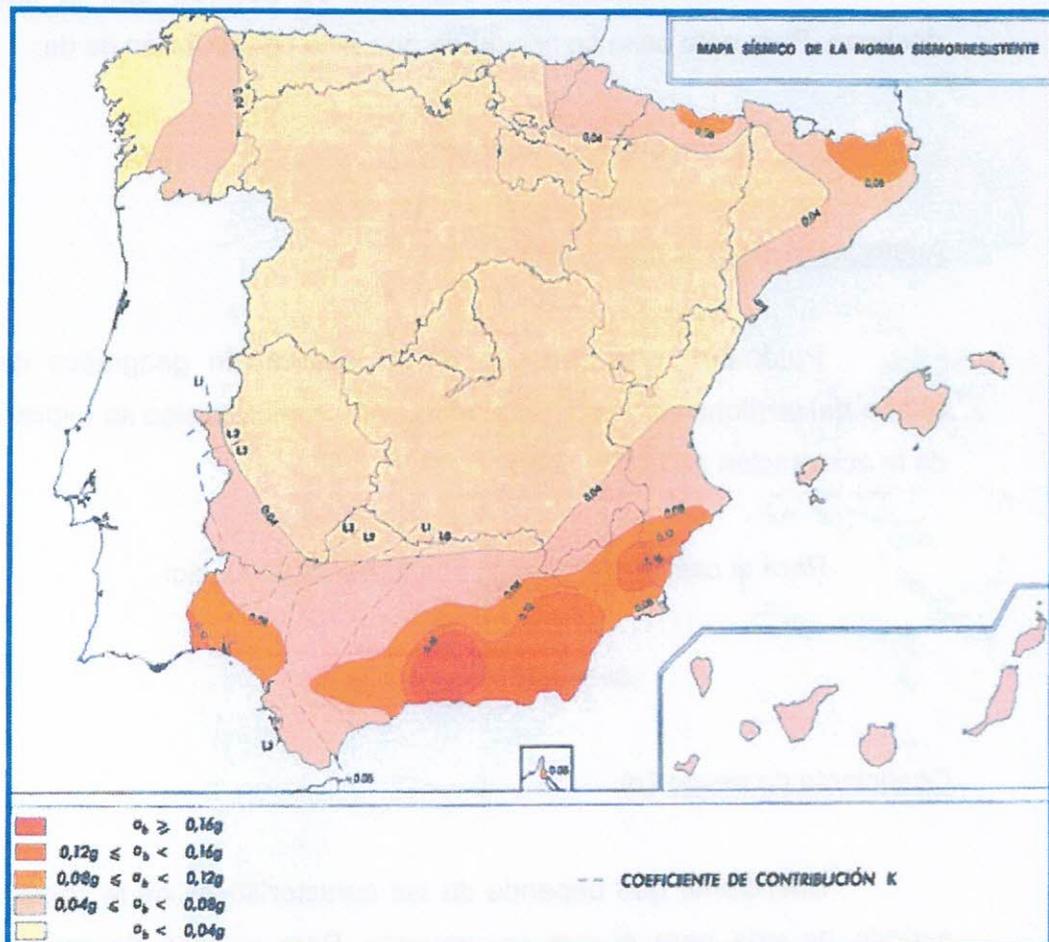
Concretamente en la zona afloran esquistos oscuros con estaurilita, granate y andalucita del Alpujarride de edad Paleozoico.

2.2. Hidrogeología.

Dentro de los micaesquistos alpujarrides es muy improbable encontrar un acuífero de relevancia, por otro lado no se ha detectado el agua en la investigación realizada, por lo que no se prevén problemas inducidos por el agua en la ejecución de la balsa.

2.3. Sismicidad.

Para la consideración de la acción sísmica en las futuras construcciones de esta zona es de aplicación la Norma de Construcción Sismorresistente (Parte General y Edificación) NCSE-02 publicada en el B.O.E. el 11 de Octubre de 2002.



Mapa de peligrosidad sísmica.

El cálculo de las acciones sísmicas según la citada norma se realizará a partir de los siguientes parámetros:

Importancia de las construcciones

Las construcciones se clasifican de acuerdo con el uso a que se destinan. Para este caso se considera que esta construcción es de:

Importancia Moderada

Aceleración sísmica básica (a_b)

Parámetro que depende de la localización geográfica de la parcela dentro del territorio nacional. La aceleración sísmica básica se expresa en función de la aceleración de la gravedad ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$).

Para el caso de la parcela objeto de este estudio:

$$a_b = 0,18g$$

Coefficiente de riesgo (ρ)

Coefficiente que depende de las características de la construcción y del periodo de vida para el que se proyecta. Para el caso de construcciones de normal importancia (Periodo de vida $t = 50$ años).

$$\rho = 1.00$$

Aceleración sísmica de cálculo (a_c)

Es la aceleración sísmica a utilizar en todos los cálculos. Consiste en el producto de la aceleración sísmica básica (a_b) por el coeficiente de riesgo (ρ) y por el coeficiente de amplificación del terreno (S).

S: Coeficiente de amplificación del terreno. Toma el valor:

$$\text{Para } \rho \cdot a_b \leq 0,1g \quad S = \frac{C}{1,25}$$

$$\text{Para } 0,1g < \rho \cdot a_b < 0,4g \quad S = \frac{C}{1,25} + 3,33 \cdot \left(\rho \cdot \frac{a_b}{g} - 0,1 \right) \cdot \left(1 - \frac{C}{1,25} \right)$$

$$\text{Para } 0,4g \leq \rho \cdot a_b \quad S = 1,0$$

Siendo C el coeficiente del tipo de terreno. En nuestro caso 1,6.

$$\text{Dado que } \rho \cdot a_b = 0,18g \text{ se aplica } S = \frac{C}{1,25} + 3,33 \cdot \left(\rho \cdot \frac{a_b}{g} - 0,1 \right) \cdot \left(1 - \frac{C}{1,25} \right)$$

Así,

$$S = 1,28$$

Por tanto:

$$a_c = S \cdot a_b = \frac{C}{1,25} + 3,33 \cdot \left(\rho \cdot \frac{a_b}{g} - 0,1 \right) \cdot \left(1 - \frac{C}{1,25} \right) = 1,04g$$

Coefficiente de contribución (K).

Coefficiente que tiene en cuenta la distinta contribución, a la peligrosidad sísmica de cada punto, de la sismicidad de la Península y de la correspondiente a la falla Azores-Gibraltar. En esta parcela:

$$K = 1,00$$

Tipo de terreno

El terreno se clasifica según su naturaleza, su compacidad y su consistencia. Se consideran los 30 m. de terreno situados por debajo de la cimentación. Este terreno se clasifica como:

terreno tipo II

Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales (V_s)

Depende del tipo de terreno existente. Para terreno tipo II:

$$750 \text{ m/s} \geq V_s > 400 \text{ m/s}$$

Coefficiente de suelo (C)

Coefficiente que también depende del tipo de terreno existente. Para terreno tipo III:

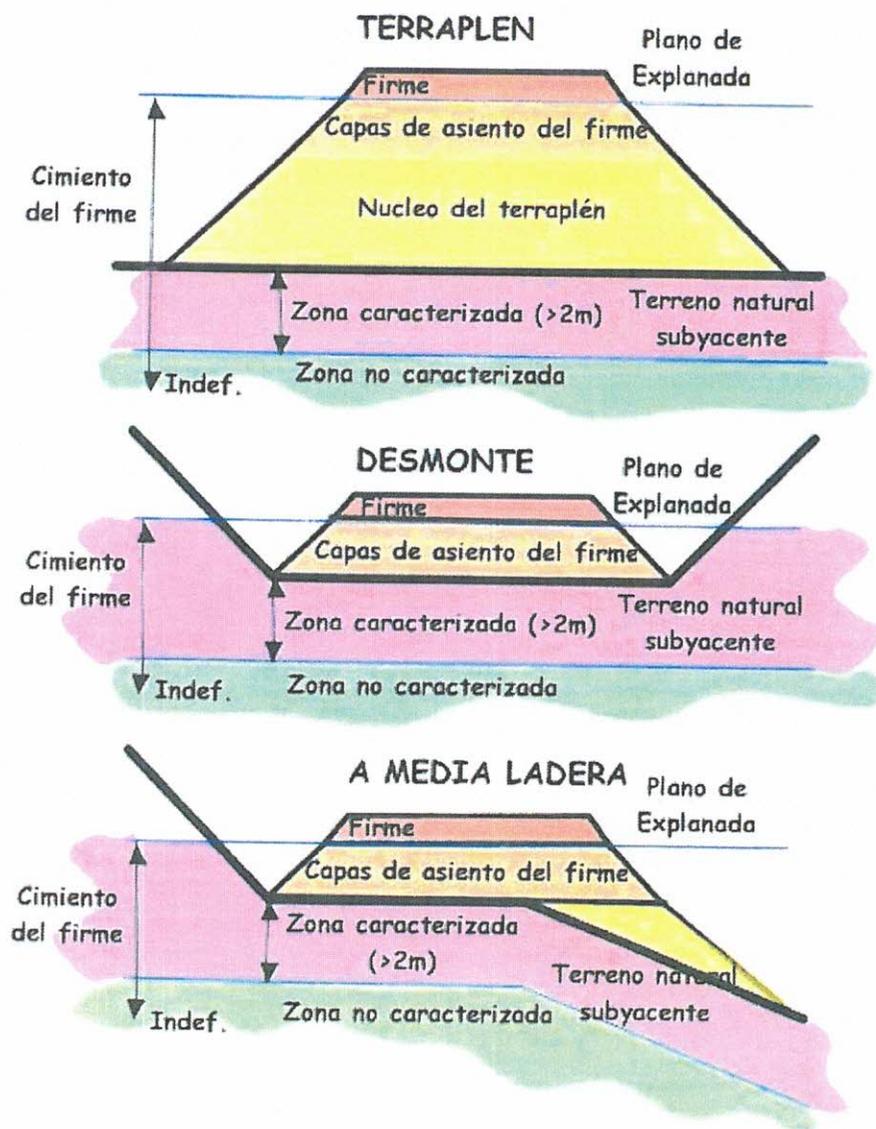
$$C = 1,2$$

Para construcciones de normal importancia o especial importancia si la aceleración sísmica de cálculo (a_c) es igual o superior a $1,04g$, la norma NCSE-02 es de obligado cumplimiento, **no obstante y dado que es una obra civil con taludes de tierra la norma sísmica no es de obligado cumplimiento.**

2.4. Características de la obra.

El área que ocupa el presente estudio está situada en el Polígono 40, Parcelas 141, 159 del T.M. Vélez Málaga, Málaga.

Esquema del cimiento del firme que se contemplará en la construcción de las presas para terraplenes y taludes:



El cimiento del firme está constituido a su vez por el Terreno Natural Subyacente tanto en fondo de desmonte, como de terraplenes a media ladera, estarán formadas por el mismo Terreno Natural bien compactado constituyendo las capas de asiento de firme.

Las capas de asiento están formadas por capas de suelos o materiales de aportación, o por la estabilización de los existentes, cuya finalidad es facilitar las labores de construcción, mejorar y homogeneizar la capacidad soporte del cimiento del firme, proteger los suelos susceptibles al agua mediante impermeabilización o evacuación, y obtener las superficies geométricas precisas.

3. TRABAJOS REALIZADOS.

El reconocimiento se ha efectuado mediante cinco calicatas de 2,10 metros de profundidad realizadas con retroexcavadora, un perfil de tomografía eléctrica multielectrodo, un perfil de sísmica de refracción y ensayos de laboratorio con las muestras recuperadas.

3.1. Calicatas realizadas con retro excavadora.

Se trata de excavaciones en zanja que permiten la observación del terreno hasta una profundidad moderada, (3,50 ó 7,00 m.). Se realizan manualmente, o de forma mucho más habitual, con la ayuda de un brazo mecánico retroexcavador.

La apertura de las calicatas de reconocimiento, permiten conocer la estratigrafía y la litología de las capas más superficiales del suelo, observando de forma directa determinados parámetros geotécnicos de interés para la redacción del estudio, tales como la presencia de elementos orgánicos, tenacidad del suelo, etc.

Además de las observaciones de tipo estratigráfico y litológico, se pueden obtener datos sobre el grado de excavabilidad del terreno reconocido, comparando a partir de los medios mecánicos utilizados en la apertura de la calicata, según la siguiente tabla:

GRADO DE EXCAVABILIDAD	MEDIOS MECÁNICOS
Fácilmente excavable	Avance con retroexcavadora mixta
Difícilmente excavable	Avance con retroexcavadora potente
No excavable	Avance con martillo picador o explosivos

Tabla 1

En la zona de estudio el grado de excavabilidad es difícilmente excavable y el avance se ha realizado con retroexcavadora mixta.

De igual forma, se puede obtener un grado de estabilidad de las paredes de las calicatas de las mismas, según el comportamiento que ofrecen al ser excavadas con los medios utilizados, comparando con los parámetros de la tabla adjunta:

GRADO DE ESTABILIDAD	COMPORTAMIENTO	TIPO DE TERRENO
1	Paredes estables	- Suelos arcillosos cohesivos - Macizo rocoso masivo
2	Caídas de gravas y bolos	- Suelos granulares - Macizo rocoso diaclasado
3	Caída de bloques	- Macizo rocoso diaclasado y meteorizado
4	Inestabilidad por descalce	- Alternancia de niveles duros y blandos
5	Inestabilidad por rotura circular	- Suelos arcillosos y limosos de cohesión baja
6	Desplome	- Rellenos antrópicos - Suelos granulares con nivel freático - Suelos arcillosos y limosos de cohesión baja con nivel freático

Tabla 2. Grado de estabilidad de las paredes según el comportamiento de las mismas en su apertura

En las calicatas realizadas el terreno presenta un grado de estabilidad nº 1 con paredes estables típicas macizo rocoso masivo.

También a través de una calicata se puede determinar la posición del nivel freático con precisión, una vez que transcurra el tiempo necesario para que se estabilice, permiten además, la ejecución de algunos ensayos in situ a diferente cota, como el de molinete o el ensayo de penetración, etc.

Realizada la apertura de las calicatas, y observada la columna estratigráfica de la misma, se puede proceder a la toma de muestras de los niveles que se deduzcan más interesantes para la finalidad del estudio. Las muestras se definen como todo fragmento que conserve todas o algunas de las propiedades del suelo en que se extraen, y cuya finalidad suele ser la identificación y clasificación, la determinación de los parámetros resistentes, etc.

Los tipos de muestras habituales que se pueden obtener, tanto de catas como de sondeos, se pueden clasificar en función de su utilidad, según el criterio de la siguiente tabla.

TIPO DE MUESTRA		UTILIDAD
INALTERADAS	Muestras inalterada de sondeo	Todos los ensayos
	Muestras inalterada de calicata	
ALTERADAS	Muestra en saco	Ensayos de identificación y compactación
	Muestra de humedad	Ensayos de identificación y humedad natural
	Muestra alterada de sondeo	Ensayos de identificación

Tabla 3. Tipo de muestras en función de su procedencia y su utilidad

Una vez concluidas las observaciones necesarias, levantamientos de la columna estratigráfica, toma de muestras de suelo y de agua si procede, y de cualquier otro tipo de requisito que interese, se deja constancia fotográfica de la realización de la calicata, y de los materiales extraídos, precediendo generalmente al relleno de la misma con los materiales excavados de la propia apertura de la calicata.

3.2. Tomografía Eléctrica Multielectrodo.

Introducción

Los métodos eléctricos de prospección se basan en la existencia de variaciones de las propiedades eléctricas, en especial la resistividad de las distintas formaciones del subsuelo, teniendo como objetivo determinar la distribución en profundidad (resistividades y espesores) de los niveles geoelectrónicos presentes.

La resistividad de medios porosos, tanto de origen antrópico como natural, depende fundamentalmente, del grado de humedad de éstos y de la conductividad del fluido que rellena sus poros, dado que la resistividad de la fase sólida es, a los efectos de prospección, infinita (salvo presencia de elementos metálicos). Dicha humedad depende, a su vez, de la porosidad que presente el medio y del grado de saturación.

Considerando las dimensiones de las zonas de trabajo propias de estos medios, es razonable asumir una cierta homogeneidad en la conductividad del agua de las formaciones, por lo que la resistividad real será función, fundamentalmente, de la porosidad (que a su vez dependerá del tamaño y selección de grano y de la proporción de finos) y del grado de humedad.

De esta forma, la variación de los valores de resistividad muestra una distribución de las zonas con mayor o menor tamaño de grano y con distinta proporción de agua.

Principios básicos de geofísica.

Propiedades electromagnéticas de las rocas.

La aplicación de los métodos eléctricos exige el conocimiento de las propiedades electromagnéticas de las rocas y de los minerales que lo constituyen. Estas propiedades se expresan fundamentalmente por medio de tres magnitudes físicas:

- A. la resistividad eléctrica (ρ) o bien su inversa, la conductividad eléctrica (σ).
- B. la constante dieléctrica (ϵ).
- C. la permeabilidad magnética (μ).

Las propiedades que interesan desde el punto de vista de la prospección son las que poseen las rocas y los minerales tal y como aparecen en la naturaleza, con unas determinadas condiciones de humedad, temperatura, impurezas, fisuras y diaclasas, etc.

La resistividad eléctrica.

Si se aplica un potencial V a un cuerpo de sección constante A , la corriente I es proporcional a V según la fórmula:

$$V = I \cdot R \qquad R = \frac{V}{I}$$

Siendo R la resistencia del cuerpo.

La resistencia (R) de un material determinado es proporcional a la longitud que este posee e inversamente proporcional a la sección A atravesada.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad \text{o} \quad \rho = R \cdot \frac{A}{L}$$

donde ρ es la resistividad del material expresado en Ohmios metro ($\Omega \cdot m$).

La resistividad es una medida de la dificultad que la corriente eléctrica encuentra a su paso por un material. Análogamente, podría haberse considerado la facilidad de paso de la corriente eléctrica a través de un material, surgiendo el concepto de la conductividad eléctrica.

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

donde σ es la conductividad en mho/m

Dispositivo de medida wenner

Se trata de un dispositivo robusto que fue popularizado por los primeros investigadores acerca de la tomografía eléctrica. La mayor parte de los primeros estudios en 2D de tomografía eléctrica fueron llevados a cabo usando este dispositivo. El dispositivo Wenner estándar es denominado técnicamente dispositivo Wenner alpha. Para un dispositivo de cuatro electrodos existen tres posibles permutaciones de las posiciones de los electrodos (Carpenter, R. y Habberjam, L. 1956).

Esta es una configuración que se ha popularizado por el trabajo experimental llevado a cabo por el grupo de investigación de la Universidad de Birmingham (Griffiths y Turnbull 1985) en la figura 10, se muestra para la configuración Wenner, que los contornos dibujados para la sensibilidad son casi horizontales debajo del centro del dispositivo, hecho que nos indica que este dispositivo es sensible a los cambios de resistividad vertical del subsuelo, no así para aquellos cambios de resistividad horizontales.

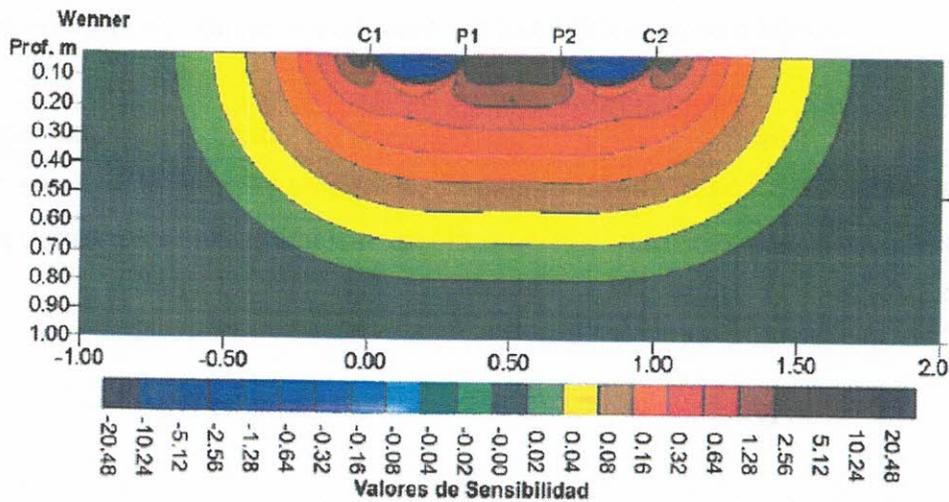


Figura 1: sección de sensibilidad del dispositivo Wenner alpha

En general, el dispositivo Wenner es bueno resolviendo cambios verticales de resistividad, es decir, estructuras horizontales, pero relativamente pobre en detectar los cambios horizontales, o lo que es lo mismo, estructuras verticales estrechas.

Para la configuración Wenner, la profundidad media de investigación es aproximadamente 0.5 veces la separación o espaciado "a" utilizada.

El factor geométrico k del dispositivo Wenner es $2\pi a$, valor menor que el factor geométrico de otras configuraciones, indicando que este dispositivo tiene una gran fortaleza frente al ruido. Este es un factor importante si los estudios se realizan en áreas con un gran ruido de fondo.

Sin embargo, este dispositivo no sólo tiene ventajas frente a otros dispositivos, sino que también presenta desventajas. Una de ellas es que la cobertura horizontal es relativamente pobre o escasa cuando el espaciado de los electrodos aumenta.

Inversión de los datos.

La rutina de inversión de los datos usados por el programa está basada en el método de mínimos cuadrados con suavizado forzado (de Groot-Hedlin y Constable, 1990 y Sasaki, 1992).

El método de mínimos cuadrados con suavizado forzado se basa en la siguiente ecuación:

$$(J^T \cdot J + u \cdot F)d = J^T \cdot g$$

siendo:

$$F = f_x \cdot f_x^T + f_z \cdot f_z^T$$

f_x = Filtro de achatamiento horizontal

f_z = Filtro de achatamiento vertical

J = Matriz de derivadas parciales

u = Factor de amortiguamiento

d = Vector del modelo de perturbación

g = Vector de discrepancia

Una ventaja de este método respecto de otros disponibles es que el factor de amortiguamiento y los filtros de achatamiento pueden ser ajustados para usarse con diferentes tipos de datos.

El programa soporta una nueva implementación del método de mínimos cuadrados basada en la técnica de optimización *cuasi-Newton* (Loke y Barker, 1996). Esta técnica puede ser hasta 10 veces más rápida que el método de mínimos cuadrados para un gran conjunto de datos y requiere menos memoria.

También puede utilizarse el método de Gauss-Newton, el cual recalcula el Jacobiano de la matriz de las derivadas parciales después de cada iteración. Este método es mucho más lento que el método *cuasi-Newton*, pero en áreas con un gran contraste de resistividad, mayores de 10 a 1, ofrece resultados ligeramente mejores (Loke y Dahlin, 2002)

Una tercera opción es utilizar el método Gauss-Newton para las primeras dos o tres iteraciones y después utilizar el método *cuasi-Newton*.

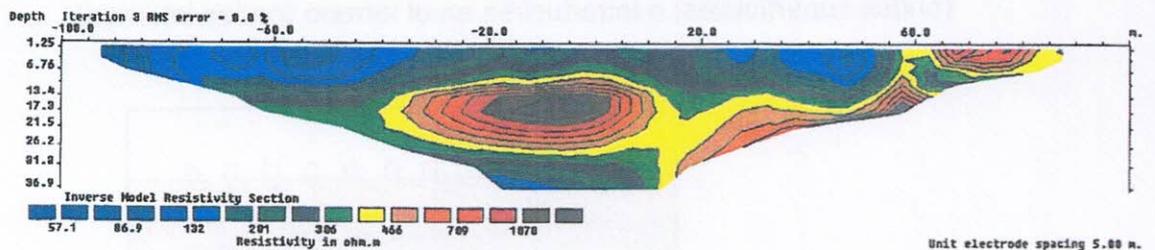
El modelo bidimensional usado por el programa de interpretación RES2DINV divide la superficie del terreno en bloques rectangulares.

El propósito de este programa es determinar la resistividad de los bloques que crearán la pseudosección de resistividades que coincida con los valores medidos.

Interpretación de resultados obtenidos.

Trabajos de campo

Se ha realizado una tomografía eléctrica de 200 metros de apertura de ala, con 5.00 metros de separación de electrodos a lo largo de la zona a investigar. Se ha utilizado el dispositivo de medida Wenner consiguiéndose una penetración de unos 36,90 metros.



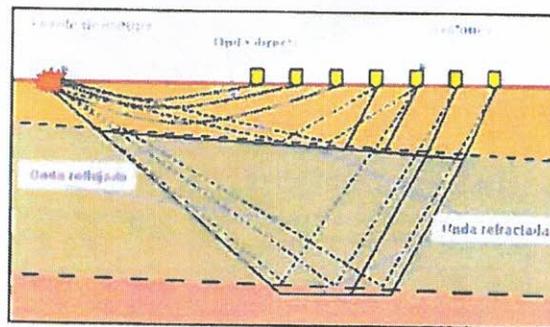
La ubicación del perfil se puede observar en el plano nº2. En esta diagrama se pueden diferenciar dos niveles en función de su excavabilidad:

- Un nivel a techo con colores azulados que posee una resistividad media de 57,10 – 132,00 Ω/m que será de excavabilidad moderada a difícil hasta unos 3,50 – 6,00 metros, (según zonas), este nivel está formado por los micaesquistos algo alterados de ahí que se pueden excavar.
- A muro aparece la roca sana con colores de verdosos a morados y valores de resistividad de 201 - 1078 Ω/m , estos materiales son los micaesquistos sanos y en los puntos más resistivos, (colores morados), sería necesario el uso de explosivos para excavarlos.

3.3. Sísmica de Refracción.

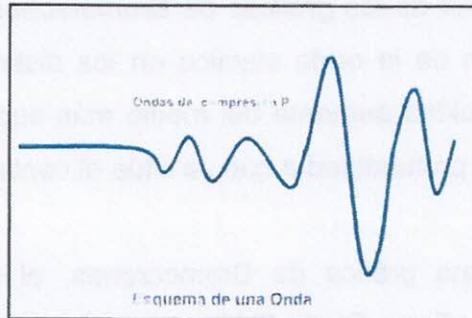
Los métodos sísmicos están basados en la distinta velocidad de propagación de las ondas sísmicas en el subsuelo, en función de las constantes elásticas de los materiales que atraviesan.

Estos métodos requieren la introducción en el terreno de una energía (producida generalmente mediante explosivos o golpeando en el terreno con un peso), generando así unas ondas sísmicas que pueden viajar por la superficie (ondas superficiales) o introducirse en el terreno (ondas internas).



Las ondas internas pueden ser de dos tipos:

- a) Ondas Longitudinales, también llamadas P, son las primera en llegar y corresponden a una vibración paralela a la dirección de propagación de la onda, por dilataciones y compresiones sucesivas.
- b) Ondas Transversales, u Ondas S o de Cizalla. Corresponden a una vibración perpendicular a la dirección de propagación.

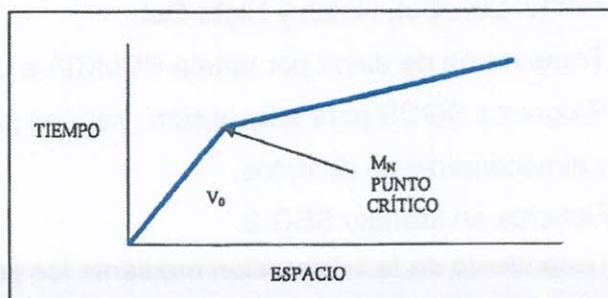


Las ondas generadas se propagan en todas direcciones y si encuentran al penetrar un medio de propagación distinto al anterior, una parte de la energía se refleja volviendo a la superficie y parte se refracta, siguiendo su viaje en profundidad.

Dentro de la energía refractada, una parte experimenta la refracción total viajando a lo largo del contacto entre los dos medios y volviendo así mismo a la superficie.

El método de Sísmica de Refracción consiste en medir, mediante unos receptores superficiales o geófonos, los tiempos de llegada de las ondas refractadas en los diversos contactos del terreno.

Los tiempos de llegada, o retardos, de las primeras llegadas se representan en una gráfica de tiempo-distancia o Dromocrona.



A partir de las gráficas de *Dromocronas* podemos calcular la velocidad de propagación de la onda sísmica en los distintos medios atravesados, (siempre que la velocidad aumente del medio más superficial al inmediatamente inferior), así como la profundidad a que se sitúa el contacto entre los dos medios.

En una gráfica de *Dromocronas*, el punto donde la recta cambia de pendiente se llama Punto Crítico, el cual marca el paso de un medio de velocidad V_0 a otro de velocidad V_1 , siendo $V_0 < V_1$.

Con Sísmica de Refracción no son interpretables capas de poco espesor, ni secuencias alternantes.

Los cambios litológicos laterales se pueden apreciar sobre la gráfica de *Dromocronas*, pero no se pueden interpretar por los principios de la Refracción.

INSTRUMENTAL SÍSMICA DE REFRACCIÓN

El Sismógrafo utilizado por **PROGEO** es un sismógrafo de 24 canales simultáneos **GEODE-24**.

Las características principales de este sismógrafo son:

- 24 bits de resolución.
- Ancho de banda: 1.75 Hz a 20 kHz.
- Filtros: Low Cut, Notch y High Cut.
- Transmisión de datos por tarjeta PCMCIA a ordenador portátil.
- Programa SGOS para adquisición, vista en pantalla, impresión, filtrado y almacenamiento de datos.
- Ficheros en formato SEG-2.
- Tratamiento de la información mediante los programas SIPQC o SeisImager/2D de OYO Corporation.

RESULTADOS SÍSMICA DE REFRACCIÓN.

El tratamiento de la información sísmica se ha realizado con el programa informático **SeisImager de OYO Corporación**.

La interpretación se ha realizado mediante análisis tomográfico, delimitando mediante isóneas los intervalos de una misma velocidad sísmica.

En el Anejo adjuntamos, para cada Perfil Sísmico realizado, una hoja de resultados que consta de:

- Gráfica de Interpretación del Perfil Sísmico, según una sección del terreno a favor del mismo, representando:
 - La superficie topográfica.
 - Las distintas capas detectadas, con su velocidad sísmica, expresada en m/seg.

Los criterios de Ripabilidad se establecen para un escarificado con rendimiento óptimo, pudiendo ser posible el mismo con un tractor más pequeño a bajo rendimiento.

Estos criterios se han definido, básicamente, mediante las **Tablas de Rendimiento de Desgarradores Caterpillar** para distintos modelos de Bulldozer de un vástago o vástagos múltiples.

Los Criterios de Ripabilidad y Correlación del Grado de Alternación que se pueden asumir son:

- < 800 m/s: material Excavable. G.A.: VI. Completo.
- 800-1.200: material de Ripabilidad Fácil. G.A.: V. Muy Alto.
- 1.200-1.600: material de Ripabilidad Moderada. G.A.: IV. Alto.
- 1.600-2.000: material de Ripabilidad Difícil. G.A.: III. Moderado.
- 2.000-2.400: material de Ripabilidad Marginal. G.A.: II Ligero.
- > 2.400: Material No Ripable. GA.: I. Nulo.

La **Clasificación del Tractor recomendado** correspondería, según a la Potencia del mismo expresada en Kilovatios, y el Peso en Toneladas, a:

TRACTOR	CLASE	POTENCIA (KW)	PESO (t)
PEQUEÑO		< 100	<15
LIGERO	1	100-150	15-25
MEDIO	2	150-220	25-35
PESADO	3	220-350	35-55
MUY PESADO	4	>350	>55

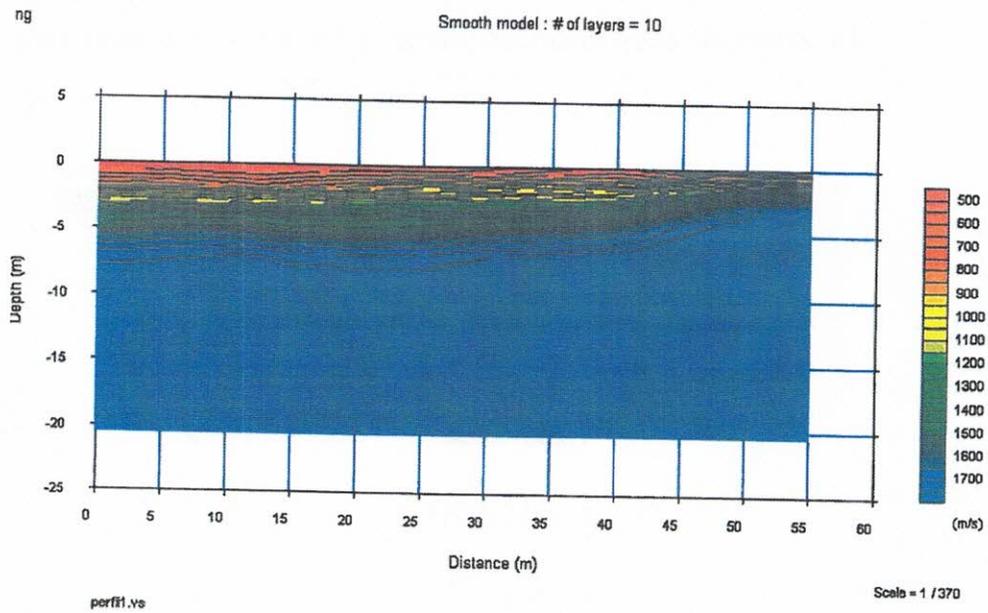
La correlación entre Velocidad Sísmica y Tractor recomendado sería:

<u>Vp (m/s)</u>	<u>Clase Tractor</u>
< 800	Pequeño
800-1.200	1
1.200-1.600	2
1.600-2.000	3
2.000-2.400	4
> 2.400	Voladura

ANÁLISIS DE RESULTADOS

PERFIL SÍSMICO N° 1.-

El perfil sísmico 1 está ubicado en la posición que muestra el plano 2 posee 60,00 metros de longitud con espaciamento de geófonos cada 5 metros y cinco puntos de disparo, con registro de 12 geófonos.



En esta diagrafía se pueden interpretar tres niveles en función de la excavabilidad de la roca:

- Nivel 1 de 0,00 – 2,00: Excavable.
- Nivel 2 de 2,00 – 5,00: Excavabilidad Moderada a Díficil.
- Nivel 3 > 5,00: Excavabilidad Muy díficil, ayuda puntual de martillo o voladura.

4. COMENTARIO GEOTECNICO.

4.1. Niveles Geotécnicos.

Tras el análisis de los resultados obtenidos en las calicatas, el perfil de tomografía eléctrica multielectrodo, la sísmica de refracción y ensayos de laboratorio con las muestras recuperadas, podemos distinguir los siguientes niveles u horizontes geotécnicos principales en la profundidad investigada.

NIVEL I: Esquistos oscuros del Paleozoico.

NIVEL I: Esquistos oscuros del Paleozoico.

Este nivel se ha detectado en las calicatas por debajo del suelo vegetal y se prolonga en profundidad hasta el final de la profundidad investigada.

Se trata de un nivel esquistos que en profundidad va a dificultar sustancialmente su excavación.

Durante la realización de las pruebas de prospección geotécnicas se ha recuperado una muestra alterada en la calicata nº 1 a 0,50 metros de profundidad, para caracterizar con la suficiente precisión este terreno, obteniéndose las siguientes proporciones de los diferentes materiales:

CA-1	% Finos	% Arena	% Grava
A 0,50 m. de profundidad	21,30	13,20	65,50

El material presenta los siguientes Límites de Atterberg:

Límite líquido: 0,00

Límite plástico: 0,00.

Índice de plasticidad: 0,00.

Teniendo en cuenta todos estos datos de laboratorio y utilizando la clasificación de Casagrande clasificamos este nivel como roca alterada que según la clasificación del sistema unificado de suelos es un GC.

En el ensayo de apisonado Próctor se ha obtenido una densidad máxima de 1,99 gr/cm³, y una humedad óptima del 11,00 %. Por lo que se recomienda tomar éstos valores como referencia a la hora de realizar los terraplenes.

También se ha realizado un ensayo de hinchamiento libre obteniéndose 0,09 % lo que indica que el material no es expansivo.

En la muestra analizada el contenido de materia orgánica es de 0,04 mg/kg y de sales solubles de 0,80 gr/100gr de suelo.

El índice C.B.R. obtenido es de 9,60 al 100% y de 8,70 al 95%, lo que indica según la CLASIFICACIÓN NORMA 6.1. IC SECCIONES DE FIRME "ARTICULO 330-PG-3", que se trata de un suelo de **TOLERABLE**, la limitación la posee por el tamaño del material que este cosos sería en torno al 75 % inferior a 15 cm.

4.2.- Nivel freático.

El nivel freático no se ha detectado durante la ejecución de las calicatas que han alcanzado hasta 2,10 metros de profundidad.

5.- RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS Y DE ESTABILIZACIÓN

A continuación se darán las características geotécnicas de los terrenos existentes en la obra para el dimensionamiento previo.

5.1.- Capacidad portante en la base de los terraplenes de la balsa

Para el material que aparece en la obra formado por micaesquistos paleozoicos se le puede atribuir un índice de S.P.T. tipo de 50 quedándonos dentro del lado de la seguridad lo que indica una consistencia del material media con una resistencia al corte sin drenaje de 5,00 – 6,00 Kg/cm².

Si tenemos en cuenta que la carga transmitida por un metro de terraplén se puede estimar en 0'2 Kg/cm², un terraplén de 10 metros de altura transmitiría una tensión al terreno de 2'0 Kg/cm², uno de 15 metros 3'0 Kg/cm² y así sucesivamente.

En una primera estimación, para el cálculo de la estabilidad del terraplén por rotura en su cimiento y considerando que realizamos los terraplenes el nivel geotécnico I, consideramos una resistencia al corte sin drenaje de 5,00 Kg/cm². La carga de hundimiento del suelo en estas condiciones sería en torno a 2,00 Kg/cm² valor superior al transmitido por un terraplén de 10,00 metros. **El factor de seguridad en este caso sería de 1,50 para terraplenes de 15,00 metros de altura.**

Podemos analizar el mismo supuesto utilizando una herramienta más avanzada, utilizando el programa informático SLOPE/W, de GEO-SLOPE Internacional Ltd. (Calgary, Alberta, Canadá). Es un paquete de software que utiliza la teoría de equilibrio límite para calcular el factor de seguridad. Permite realizar el análisis mediante diferentes métodos: Fellenius, Bishop, Janbu, Spencer, Morgenstern-Price, Corps of Engineers, Lowe-Karafiath y GLE (Generalized Limit Equilibrium). En cada caso, y en función de la adecuación al problema, puede optarse por uno o varios métodos para el cálculo del mínimo factor de seguridad. Supongamos la siguiente sección:

TERRAPLÉN:

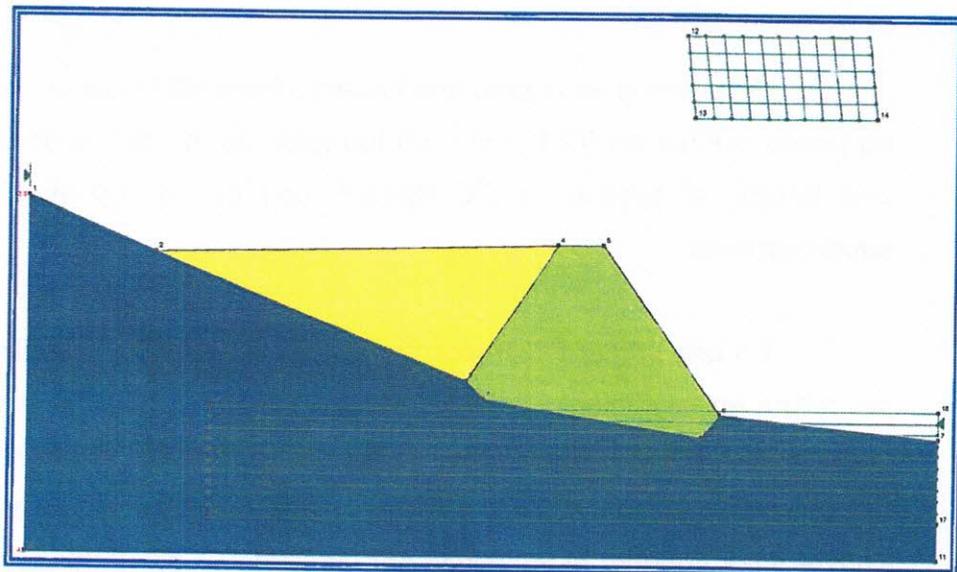
ALTURA MÁXIMA: 5,00 metros

DENSIDAD: 1,80 kg/cm³

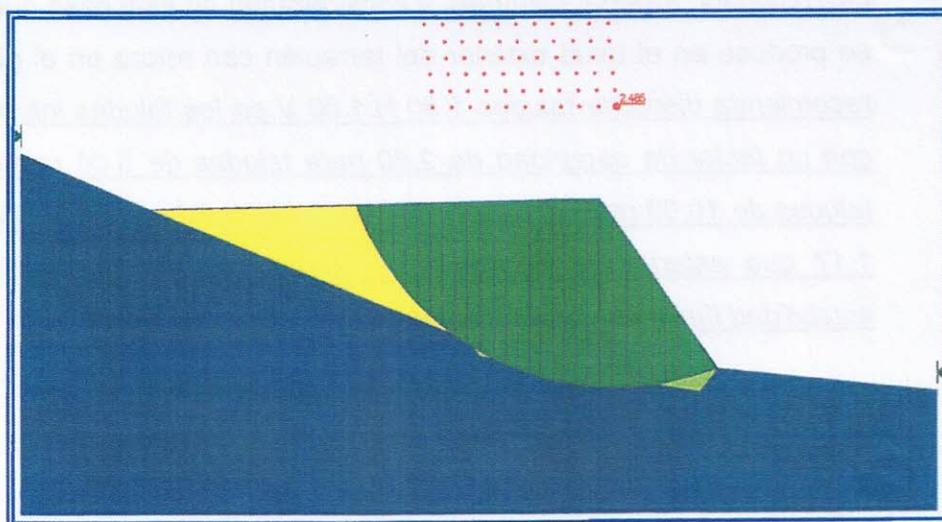
C: 0,18 kg/cm²

ϕ : 32,57°

TALUD 2,00 H:1,00 V



En el tanteo realizado para el supuesto mencionado, el factor de seguridad obtenido para una superficie de rotura que afecte a la totalidad del terraplén por fallo en el apoyo del mismo sería de 1,50, por lo que no se producirá la rotura en la base del terraplén ya que el terreno tiene la capacidad portante requerida por el cuerpo que se erigirá sobre él.



5.2. -Estabilidad intrínseca de taludes

5.2.1.- Taludes de los terraplenes.

Empleando para el análisis de la estabilidad intrínseca de los taludes de los terraplenes el programa informático SLOPE/W, de GEO-SLOPE Internacional Ltd. (Calgary, Alberta, Canadá), y considerando en este caso que el deslizamiento se produce en el talud exterior del terraplén con rotura en el pie del mismo, se recomienda disponer taludes 1,50 H:1,00 V en los taludes interiores y exteriores, con un factor de seguridad de 2,50 para taludes de 5,00 metros de altura para taludes de 10,00 metros se recomienda 2,00 H: 1V con un factor de seguridad de 1,17 que estaría por encima de 1,15 que es el valor mínimo permitido de estabilidad límite conforme a la normativa más extendida.

ALTURA MAXIMA: 14,50 metros

DENSIDAD: 1,80 kg/cm³

C: 0,187 kg/cm²

ϕ : 32,57°

TALUD 1,50 H: 1,00 V PARA 5,00 METROS DE ALTURA Y 2,00 H 1,00 V PARA 15,00 METROS DE ALTURA.

El terreno de préstamo de la obra se trata de roca alterada por lo que no se trata del material más ideal para la realización de terraplén, por lo que habrá que traer material de préstamo para la realización de los taludes y utilizar los niveles de roca alterada con mayor concentración de finos para su correcta compactación.

5.2.2.- Análisis de estabilidad en desmontes.

Una recomendación habitual en éstos casos en los que no se conocen los parámetros resistentes del terreno, es la de respetar los taludes naturales existentes, no sobrepasando las pendientes máximas que se observen en la zona.

Teniendo en cuenta esto y a falta de más datos se pueden adoptar como norma general el empleo de taludes 1,50 H: 1,00 V hasta 5,00 metros de altura y 2,00 H:1,00 V hasta 15,00 metros de altura. Para taludes de alturas superiores se deberá estudiar particularmente cada caso.

5.2.3.- Idoneidad de materiales para el empleo en terraplenes.

Según los ensayos realizados en el informe previo por el laboratorio TECNISONDEOS el suelo no es expansivo y se trata de un suelo **TOLERABLE**.

El terreno de préstamo de la obra se trata de roca alterada por lo que no se trata del material más ideal para la realización de terreplén, por lo que habrá que traer material de préstamo para la realización de los taludes y utilizar los niveles de roca alterada con mayor concentración de finos para su correcta compactación.

5.3.- Clasificación del terreno según su ripabilidad.

La resistencia del material frente al arranque mecánico está íntimamente ligado a la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en un medio material, de acuerdo con el material que aparece en la obra la velocidad media de propagación para unas ESQUISTOS es de 1200 - 2000 m/s, por lo que el material es difícilmente excavable.

TIPO DE ROCA	VELOCIDAD SÍSMICA (m/s)
Granito	3.000-6.000
Granito Meteorizado	1.200-1.600
Suelos normales	240-460
Suelos consolidados	460-600
Arenas sueltas	250-1.200
Mezclas de grava y tierras sueltas	450-1.100
Mezclas de grava y tierras consolidadas	1.200-2.100
Arenas y Gravas	1.000-2.000
Esquistos	1200 - 2000
Areniscas	1.400-4.500
Conglomerados	1.200-7.000
Morrena glacial	1.200-2.100
Pizarras sedimentarias	1.200-2.100
Pizarras metamórficas	1.800-3.000

Velocidad de propagación de las ondas sísmicas en materiales diversos.

5.4.- Recomendaciones

Es importante recordar que en la mayoría de los casos, las inestabilidades de los taludes tanto en desmontes como en terraplenes se producen no por fallo del mismo en lo que respecta a su estabilidad intrínseca, sino más bien a un deterioro de este por erosión y meteorización. Así pues, es recomendable adoptar medidas de protección como cunetas de guarda y bajantes adecuados que eviten la erosión por escorrentía de agua. Así mismo, sería conveniente favorecer en lo posible la revegetación de los taludes artificiales realizados.

El tipo de obra a proyectar, supone que los terraplenes deberán recrecerse conforme aumente la altura del vertido. En este caso recomendamos que los terraplenes se dimensionen para la altura más crítica prevista.

De acuerdo con todos los datos suministrados por la campaña de campo así como los ensayos de laboratorio se deduce que el material que aparece en la obra – Esquistos - es un suelo **TOLERABLE**, según la clasificación del PG-3 por lo que se puede utilizar en todas las partes del terraplén.

Además se recomienda que los taludes de los terraplenes sean como mínimo 1,50 H : 1,00 V para taludes exteriores y interiores, considerando una altura máxima de 5,00 metros y de 2,00 H : 1,00 V para taludes de 15,00 metros.

La zona difícilmente excavable por lo que habrá problemas en la excavación de las obras.

CONCLUSIONES

1. El suelo que aparece en la obra no es expansivo por lo que no habrá que adoptar medidas algunas al respecto.
2. El terreno es TOLERABLE según el PG-3 por lo que habrá que utilizar los mejores materiales que se observen en obra, no obstante el terreno de préstamo de la obra se trata de roca alterada por lo que no se trata del material más ideal para la realización del terreplén, por lo que habrá que traer material de préstamo para la realización de los taludes y utilizar los niveles de roca alterada con mayor concentración de finos para su correcta compactación.
3. Presenta una cohesión de $0,187 \text{ Kg/cm}^2$ y ángulo de rozamiento interno de $32,57^\circ$, estos son los valores a utilizar en el cálculo de estabilidad de taludes.
4. Son terrenos difícilmente excavables por lo que habrá problemas durante la excavación de la balsa.
5. Para la realización de los terraplenes habrá que sanear la base de cimiento hasta firme mínimo $0,30 - 0,60$ eliminando todo el nivel de suelo vegetal.

Por último, únicamente recordar que la información suministrada por la campaña de reconocimientos, sobre todo respecto al nivel freático, es solo totalmente fidedigna en los puntos explorados y en la fecha de su ejecución, de modo que su extrapolación al resto del terreno objeto de estudio no es más que una interpretación razonable según el estado actual de la técnica. En consecuencia, conviene que al inicio de la construcción, la Dirección de la Obra confirme que el subsuelo (terreno y agua) hallado está en consonancia con las conclusiones anteriores

Este informe consta de una memoria de treinta y nueve (39) páginas realizadas por PROGEO, numeradas correlativamente, y tres (3) planos.

Córdoba, Octubre de 2.017.

Fdo.: Técnico Autor del Informe.



Antonio Delgado Velázquez

Licenciado en Ciencias Geológicas

Ingeniero Técnico de Minas

Prohibida la reproducción parcial de este documento sin la aprobación expresa de PROGEO

APÉNDICE 3. ESTUDIO GEOFÍSICO

INFORME

**ESTUDIO GEOFÍSICO – PROYECTO CONSTRUCTIVO DE Balsa de
Riego en el Cerro de la Encina
Vélez-Málaga (Málaga)**

Explore **better**

CLIENTE: **wats** 
JUNIO 2021

**Técnicas
Geofísicas** 

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	1
3. TÉCNICA GEOFÍSICA EMPLEADA – SÍSMICA DE REFRACCIÓN	1
4. TRABAJOS REALIZADOS	2
5. RESULTADOS OBTENIDOS - RIPABILIDAD	3
5.1 Perfil PS-1	5
5.2 Perfil PS-2	5
5.3 Perfil PS-3	6
5.4 Modelo Pseudo 3D	7
6. CONCLUSIONES	9
Anejo 1: PERFILES DE RIPABILIDAD	10
Anejo 2: DROMOCRONAS	13

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe se realiza a petición de la empresa WATS, para efectuar un reconocimiento geofísico en el marco de un proyecto constructivo de una balsa de riego en el paraje del Cerro de La Encina, situada en el término municipal de Vélez-Málaga, provincia de Málaga.



Figura 1: Plano de situación (ETRS89 30N).

Los trabajos han consistido en la ejecución de una serie de perfiles de investigación mediante la técnica de investigación geofísica de Sísmica de Refracción (SR), habiéndose llevado a cabo los trabajos de campo el día 2 de junio de 2021

2. OBJETIVOS

El objetivo del estudio ha sido determinar las características del subsuelo y en especial, determinar la cota de emplazamiento del sustrato sano inalterado en la zona de estudio, de cara a estimar la ripabilidad del terreno.

3. TÉCNICA GEOFÍSICA EMPLEADA – SÍSMICA DE REFRACCIÓN

La técnica de prospección por medio de sísmica de refracción consiste en la generación de ondas sísmicas por medio de un martillo o explosivo, y el registro de aquellas que experimentan refracción total a lo largo de los contactos en medios de velocidades diferentes. Las ondas registradas son las primarias o longitudinales (Ondas P), en las que el movimiento de las partículas se produce en sentido de propagación de la onda, por medio de compresiones y dilataciones.

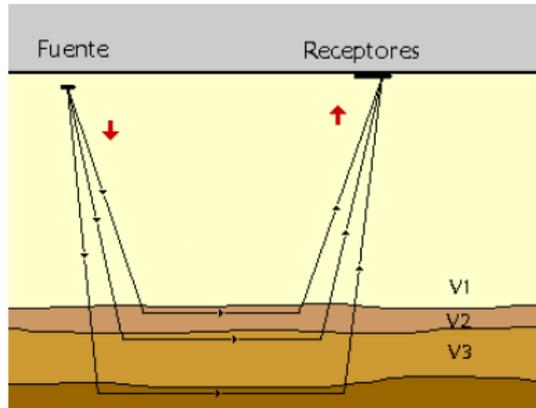


Figura 2: Esquema del sistema Sísmica de Refracción.

El sistema determina el tiempo de viaje por el subsuelo de las ondas producidas por impactos del martillo sobre una plancha de acero en la superficie del terreno hasta su llegada a los geófonos una vez refractadas (Figura 2). Los geófonos son traductores que transforman la vibración del terreno producida por las ondas en señal eléctrica.

La sísmica de refracción utiliza los tiempos de las primeras llegadas del sismograma que corresponden a las ondas refractadas en las distintas capas del subsuelo. Cada una de estas capas se distingue por su impedancia acústica y se le llama refractor. El resultado de este método es una imagen sísmica del terreno en forma de campo de velocidades ($V(x,z)$), que posteriormente será interpretado geológicamente.

4. TRABAJOS REALIZADOS

Los trabajos realizados han consistido en la ejecución de tres perfiles de sísmica de refracción de 150 m de longitud unitaria (450 m en total) con geófonos separados cada 3 metros.



Figura 3: Plano de situación de los trabajos de investigación realizados en el paraje del Cerro de la Encina (ETRS89 30N).



Figura 4: Imágenes tomadas durante la realización de los trabajos.

5. RESULTADOS OBTENIDOS - RIPABILIDAD

Desde el punto de vista de la excavabilidad del terreno, en base a la realización de múltiples experiencias prácticas se pueden correlacionar los valores de velocidad sísmica (V_p), onda compresional, de las formaciones de rocas con su facilidad o dificultad de excavación. En términos generales se establece la siguiente clasificación según la velocidad sísmica en cuanto al arranque en el caso de los materiales graníticos presentes en la zona de estudio:

- Roca: velocidad de propagación sísmica, $V_p > 2.000$ m/s., material que requiere generalmente la ayuda de explosivos para su arranque o medios hidráulicos.
- Transito: Velocidad sísmica, V_p entre 1.200 m/s. y 2.000 m/s., se trata de material ripable (dependiendo de la potencia del tractor), aunque el límite superior puede ser objeto de discusión.
- Tierras: Velocidad sísmica, $V_p < 1.200$ m/s., aquí se agrupan las formaciones muy meteorizadas, rellenos, acarreo, etc.

Hay que resaltar que la ripabilidad o excavabilidad de los macizos rocosos no es un parámetro que pueda clasificarse en términos absolutos porque dependen de varios factores, entre ellos, los más relevantes son:

- Grado de compacidad del macizo rocoso.
- Presencia de juntas y espaciado.
- Relleno de las juntas.
- Orientación y buzamiento del macizo.
- Tipo de maquinaria a emplear en la excavación.

De todos los factores expuestos, el primero es el más determinante, que a su vez está relacionado con velocidad de las ondas de compresión (V_p) a través del medio rocoso. Por este motivo, es habitual la utilización de tablas empíricas para establecer la correlación entre valores de V_p y ripabilidad. Una de las tablas de uso más frecuentes son las del fabricante Caterpillar. En este estudio se emplea la obtenida para un tractor D-9 (Figura 9. Tabla de Ripabilidades).



Figura 5: Caterpillar D-9

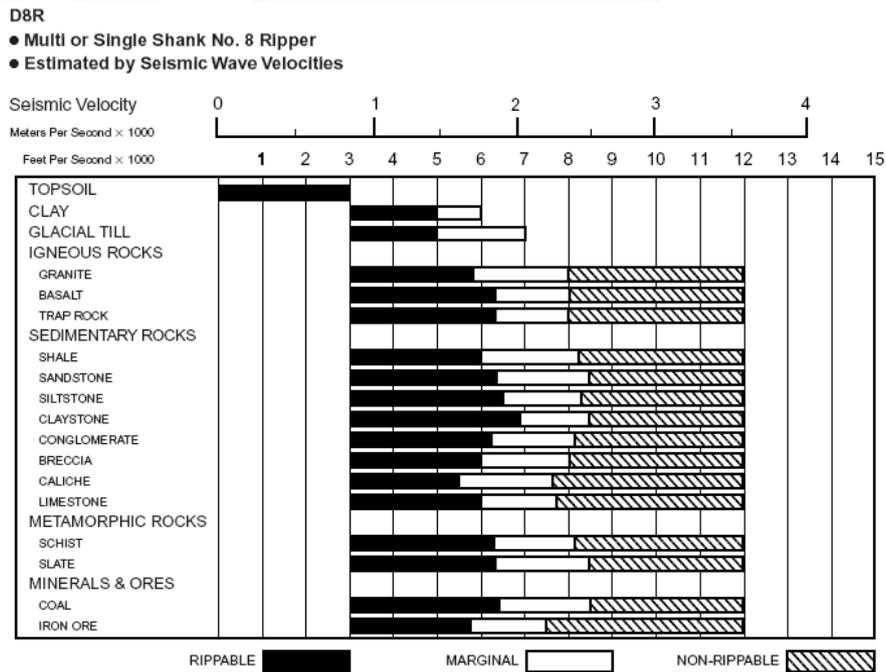


Figura 6: Tabla de ripabilidades basada en la máquina Caterpillar D-9. Caterpillar, Handbook of Ripping 8th Edition.

De acuerdo a dicha tabla, se establecen los siguientes niveles de ripabilidad en los perfiles realizados, según se describe a continuación:

- Materiales muy alterados, con velocidades < 600 m/s. Se trata de materiales excavables con una pala convencional.
- Materiales de transición (alterados a no alterados), con velocidades medias comprendidas entre los 600 y 1.700 m/s. Se considera material RIPABLE para un tractor tipo D-9 (Carterpillar).
- Materiales marginales, con velocidades medias comprendidas entre los 1.700 y 2.300 m/s. Se considera material potencialmente RIPABLE para un tractor tipo D-9 (Carterpillar) aunque en determinados puntos podría no serlo.
- Materiales no alterados: Velocidades superiores a 2.300 m/s. Se consideran NO RIPABLES para un tractor D-9, siendo necesario para su excavación el empleo de explosivos o martillos neumáticos.

5.1 Perfil PS-1

La siguiente imagen (Figura 7), muestra la ripabilidad obtenida para el perfil PS-1. El perfil muestra una cubierta de alteración gradacional que condiciona el nivel de ripabilidad de los materiales que sigue la topografía, presentando capas de potencia más o menos constante, con una ligera tendencia a incrementarse hacia el noreste, a excepción de una ligera inflexión que someriza el sustrato entre los metros 18 y 28 del perfil. En detalle:

- Apenas aparecen materiales de baja velocidad y por tanto excavables y donde lo hacen, no superan el metro de potencia.
- Los materiales ripables se prolongan desde la superficie del terreno hasta los 4 y 14 m de profundidad.
- El material no ripable se alcanza entre los 6 y 20 m de profundidad.
- La potencia de materiales ripables (incluyendo marginales) oscila, a excepción de la zona de sustrato elevada al inicio del perfil, entre los 9 y 20 m.

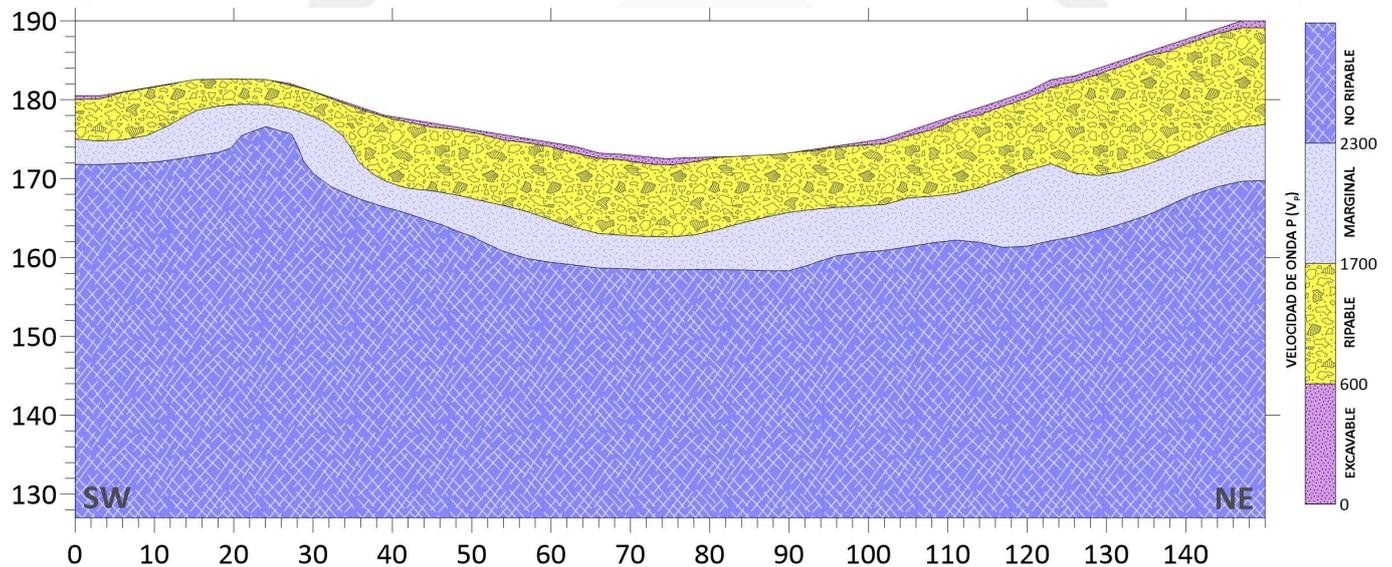


Figura 7: Ripabilidad obtenida en el perfil PS-1.

5.2 Perfil PS-2

En el caso del perfil sísmico PS-2 (Figura 8) se observa un comportamiento similar al anterior. Se destacan los siguientes aspectos:

- No se observan potencias de entidad de materiales excavables de baja velocidad siendo su presencia discontinua y residual.
- Los materiales ripables se disponen directamente en la superficie del terreno en algunas partes del perfil. Los mismos cuanten con una potencia de entre 5 y 10 m.
- El material no ripable se alcanza entre los 14 y 20 m de profundidad, a excepción de una pequeña zona en torno a los metros 88 y 115 en donde una elevación puntual del sustrato rocoso sano hace que se sitúe a tan solo 8 m.

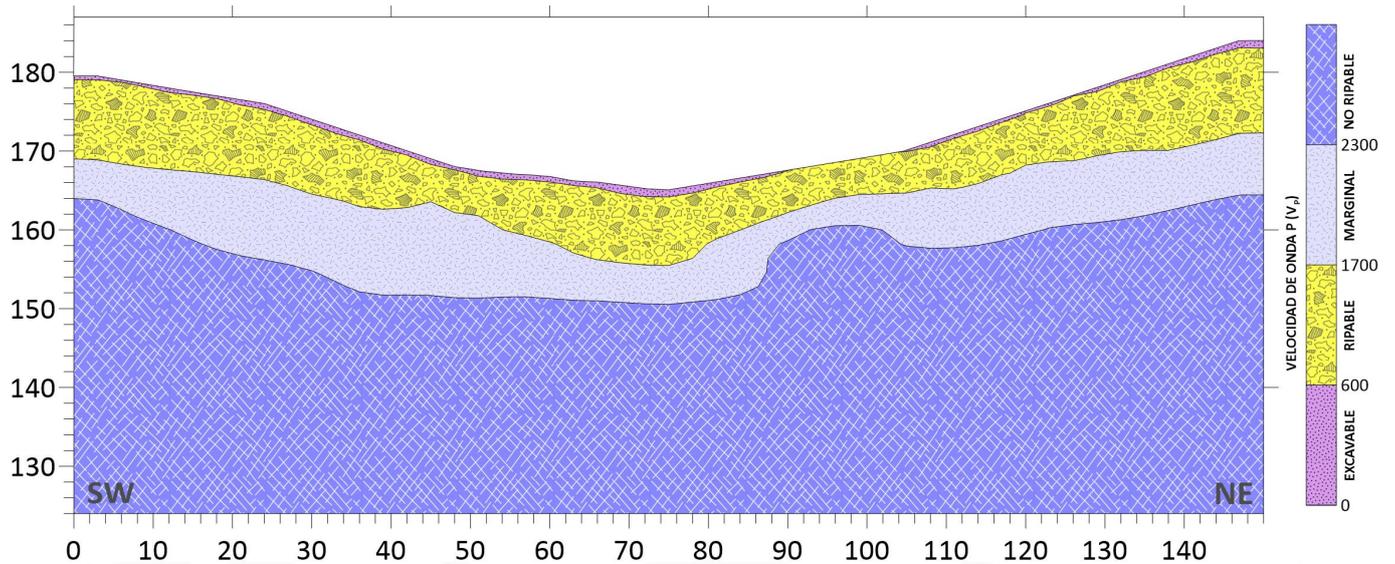


Figura 8: Ripabilidad obtenida en el perfil PS-2.

5.3 Perfil PS-3

EL perfil PS-3 intersecta transversalmente la traza de los eprfiles PS-1 y PS-2. La ripabilidad obtenida muestra capas de alteración subhorizontales con leves variaciones de potencia. Así, podemos ver como:

- Apenas se diferencia una cobertura de materiales excavables de baja velocidad siendo su presencia discontinua y residual, con menos de un metro de potencia.
- Los materiales ripables se disponen directamente en la superficie del terreno en algunas partes del perfil. Los mismos cuanten con una potencia de entre 5 y 8 m.
- El material no ripable se alcanza entre los 9 y 15 m de profundidad por lo que la potencia de materiales ripables (incluyendo los marginales) oscila entre dichos valores.

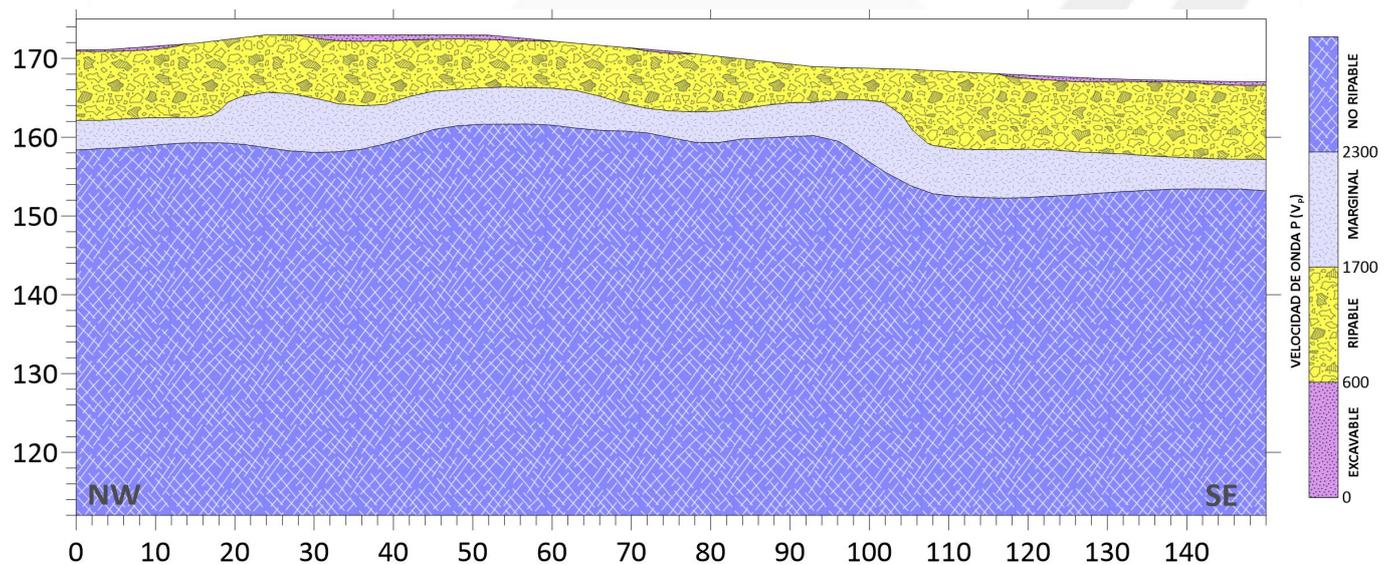


Figura 9: Ripabilidad obtenida en el perfil PS-3.

5.4 Modelo Pseudo 3D

Las siguientes imágenes muestran un modelo pseudo 3D elaborado a partir de los perfiles de investigación realizados en la zona de estudio.

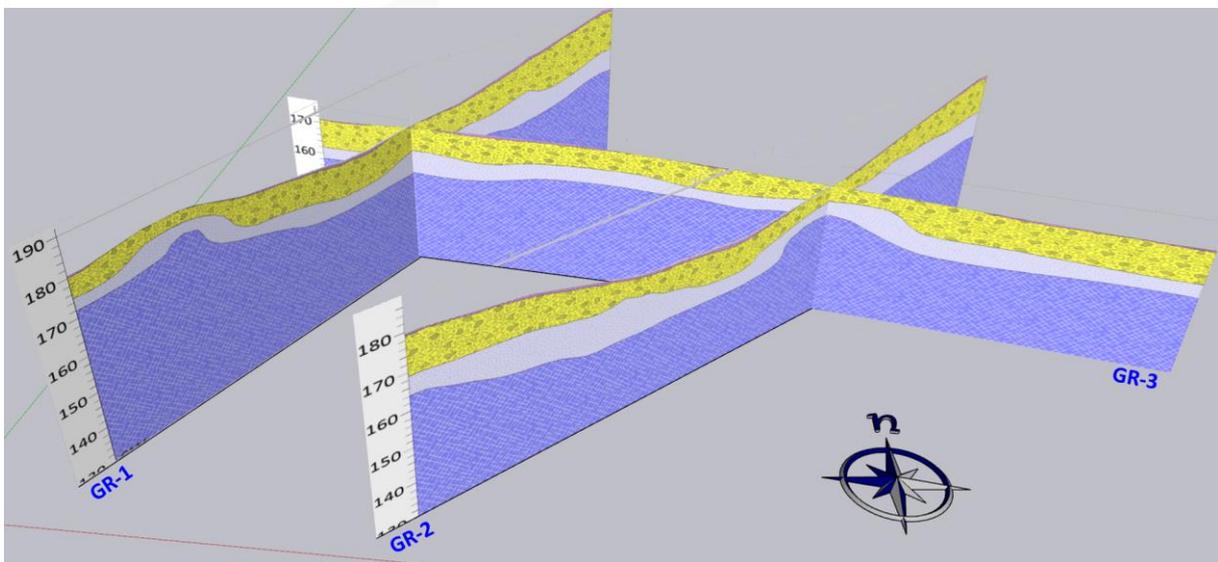


Figura 10: Modelo Pseudo 3D. Imagen 1.

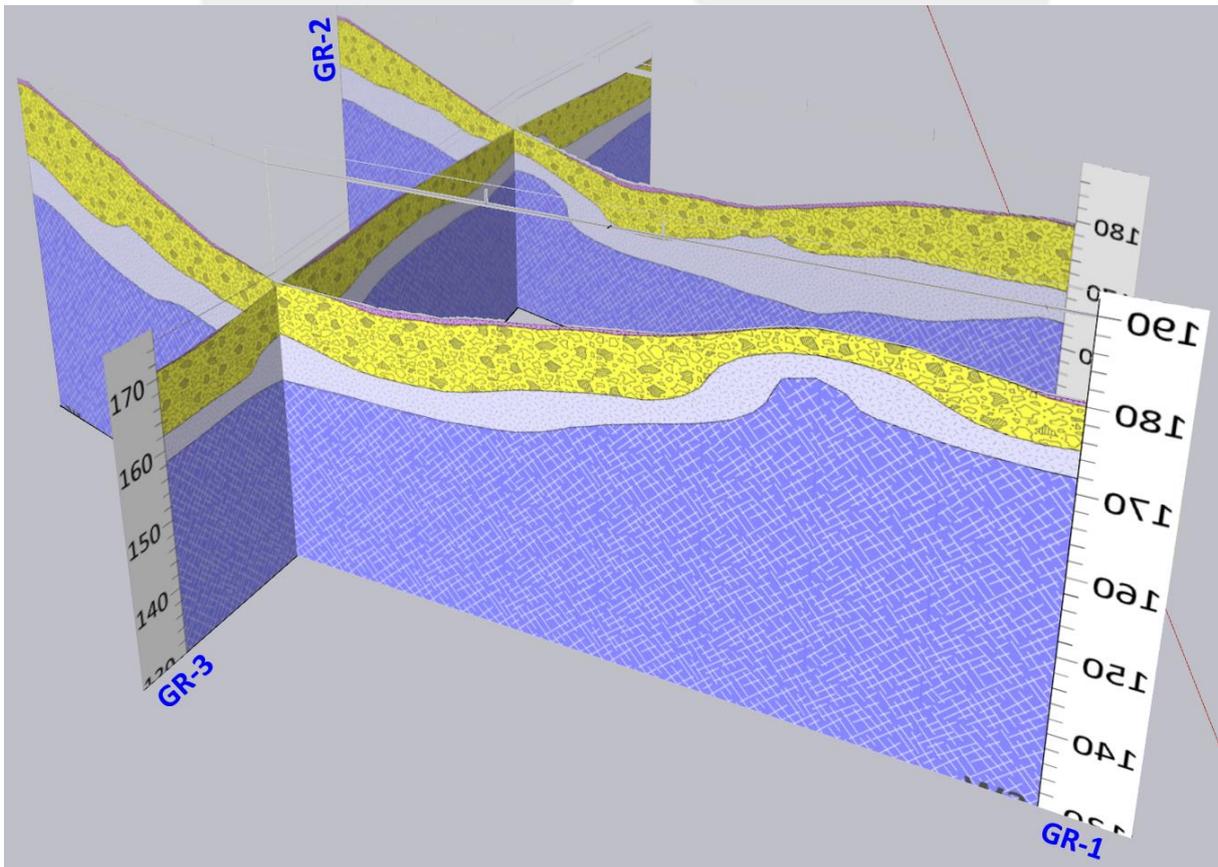


Figura 11: Modelo Pseudo 3D. Imagen 2.

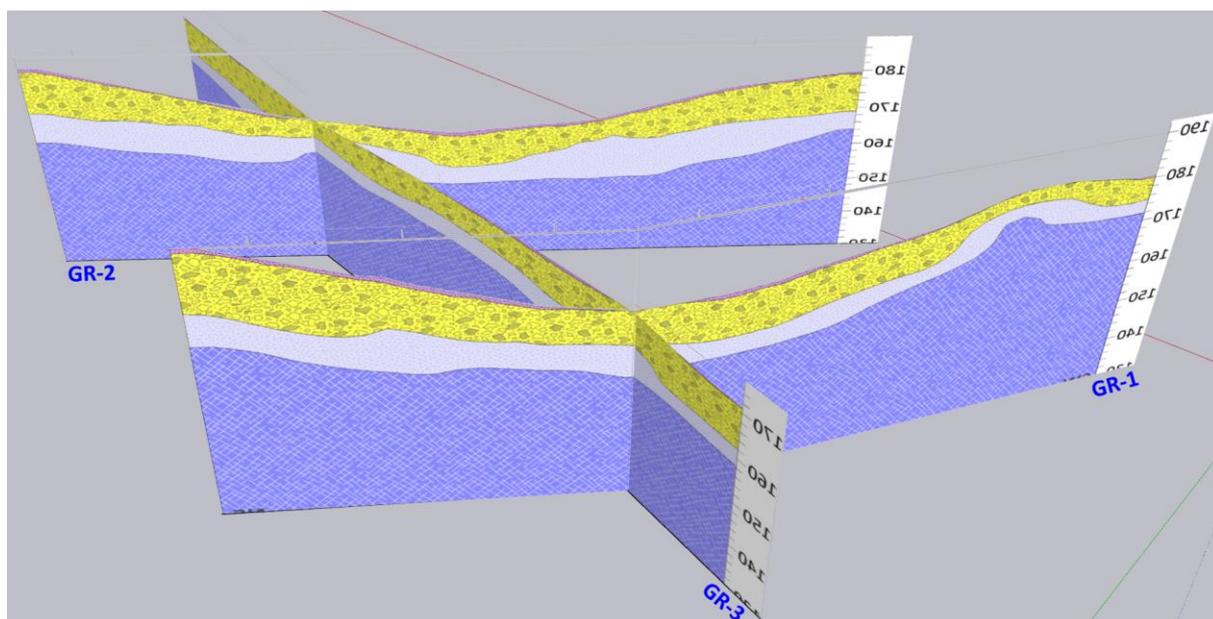


Figura 12: Modelo Pseudo 3D. Imagen 3.

6. CONCLUSIONES

El estudio geofísico realizado permite la obtención de las siguientes conclusiones:

1. El sustrato rocoso sano inalterado y no ripable (Caterpillar D-9) se emplaza, de acuerdo a los perfiles realizados, entre los 9 y 20 m de profundidad.
2. Los perfiles muestran bandas de alteración más o menos subhorizontales respecto a la topografía y por tanto, con variaciones suaves de potencia.
3. En los perfiles PS-1 y PS-2 se detectan elevaciones locales del sustrato inalterado no ripable.

Ávila, 8 de junio de 2021

TÉCNICAS GEOFÍSICAS, S.L



Fdo. J. Carrasco García
Director Técnico

Anejo 1: PERFILES DE RIPABILIDAD

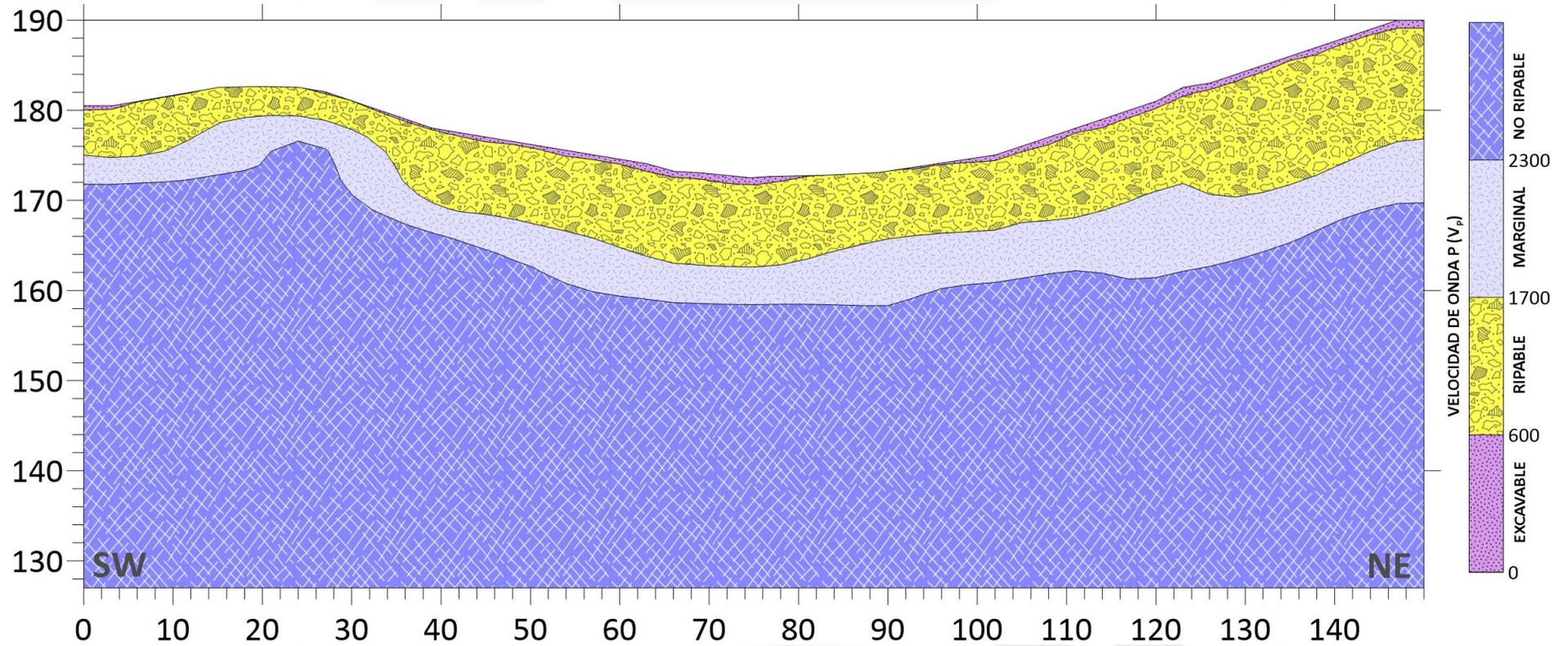


Figura 13: Perfil de ripabilidad obtenido en el PS-1.

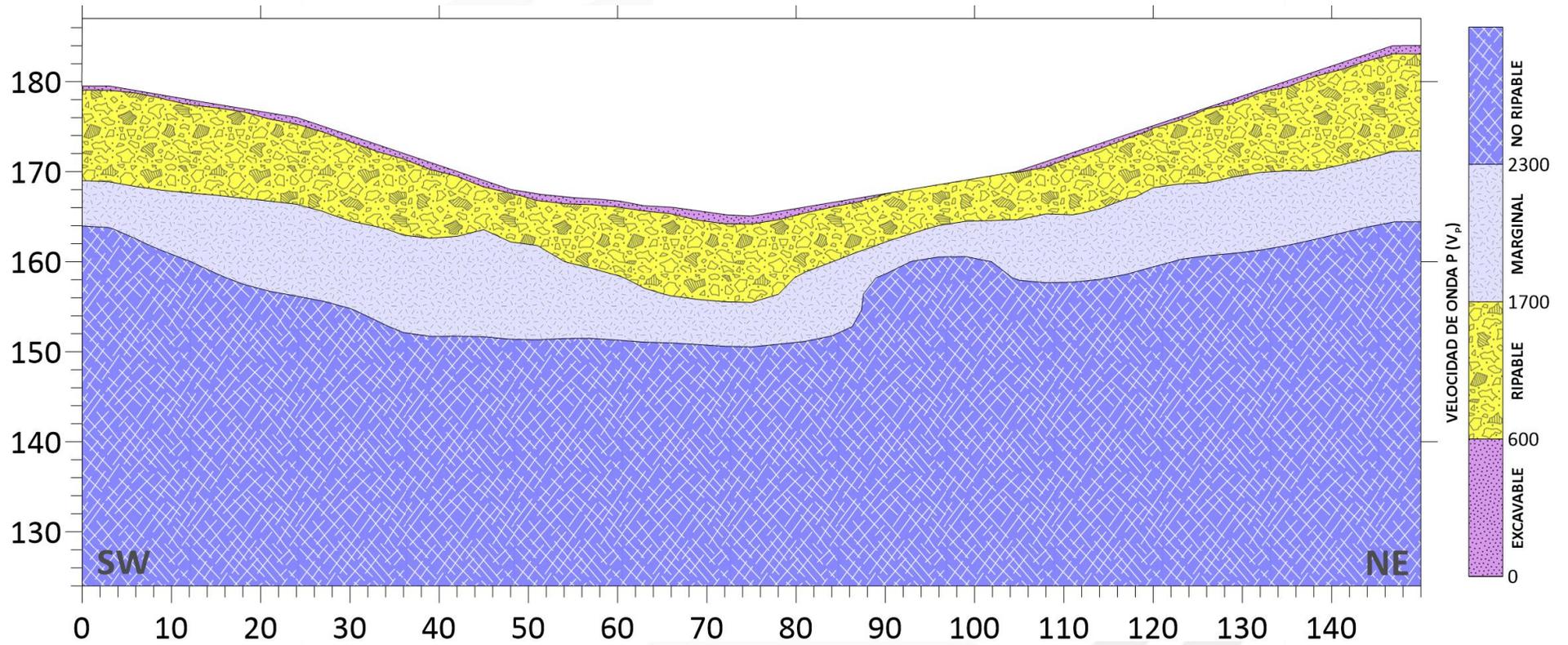


Figura 14: Perfil de ripabilidad obtenido en el PS-1.

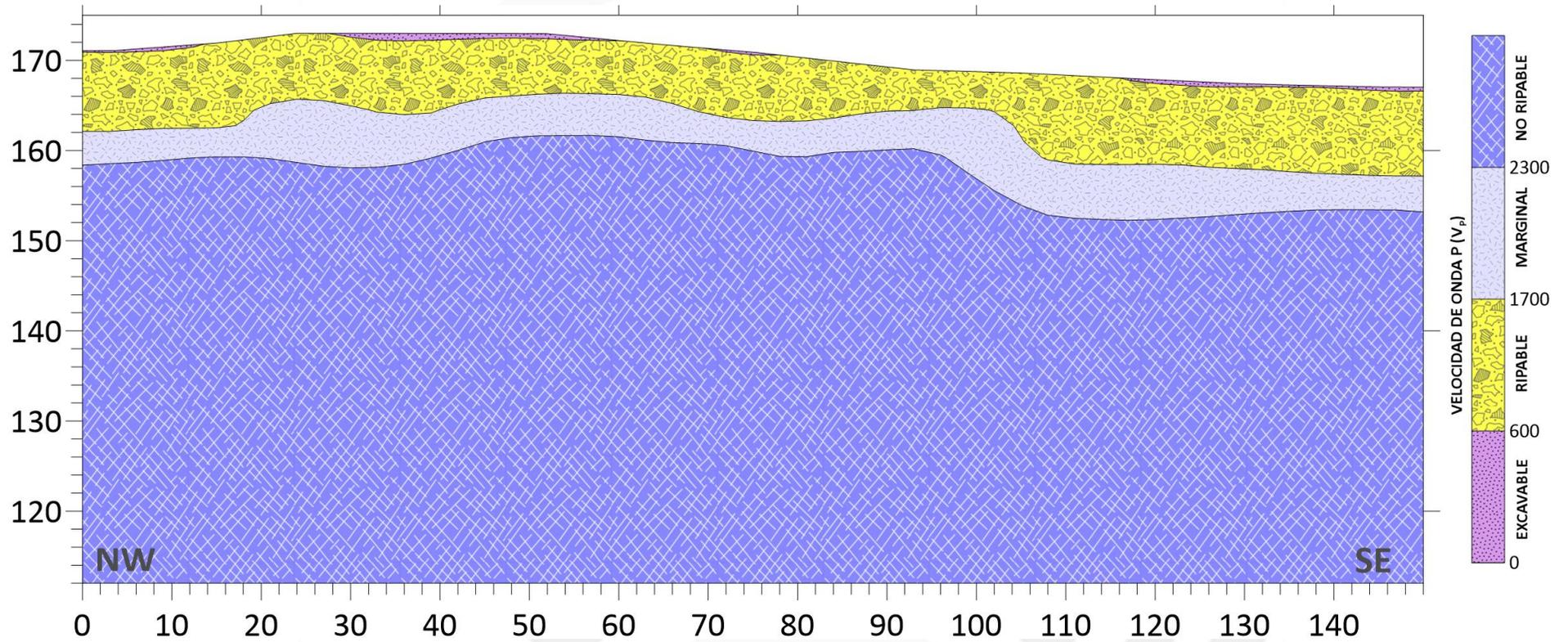


Figura 15: Perfil de ripabilidad obtenido en el PS-3.

Anejo 2: DROMOCRONAS

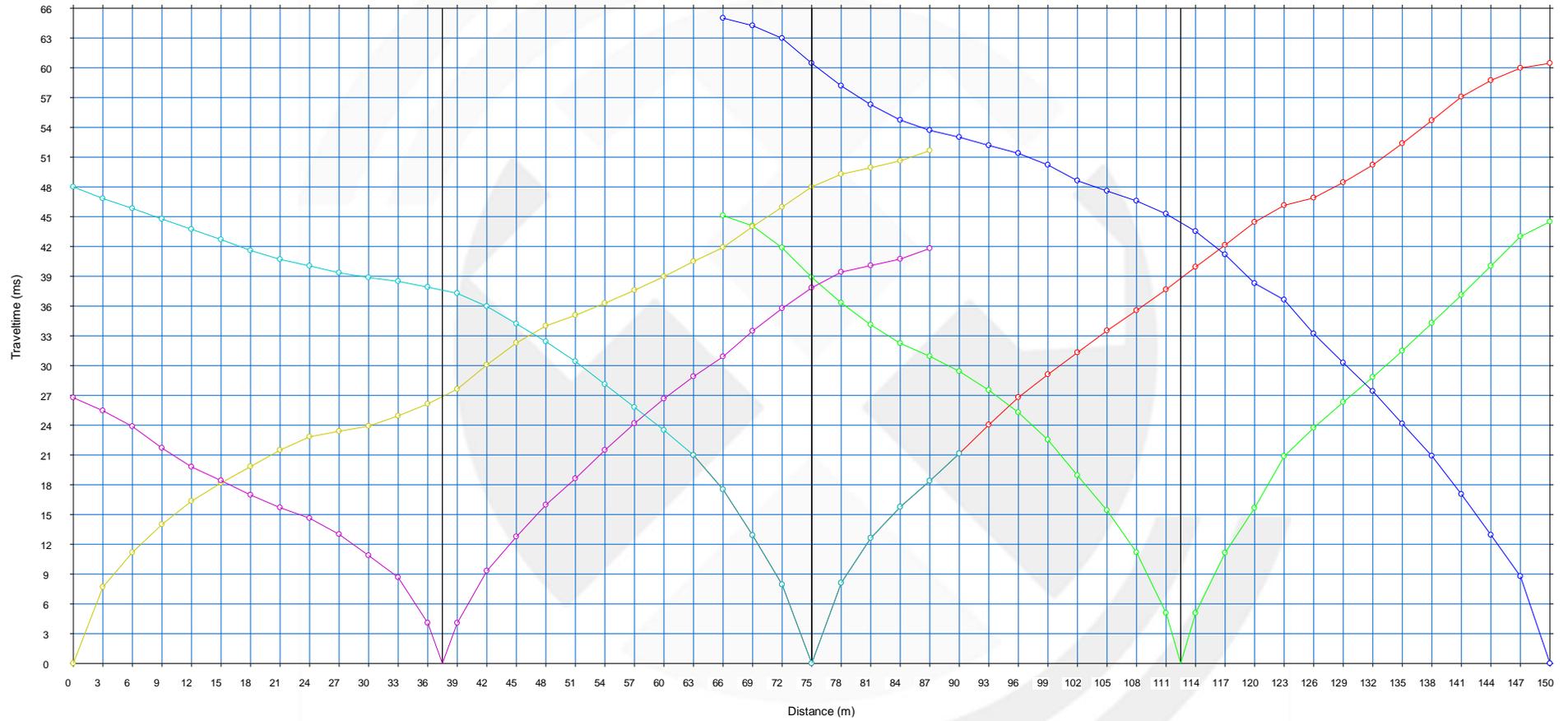


Figura 16: Dromocrona del perfil PS-1.

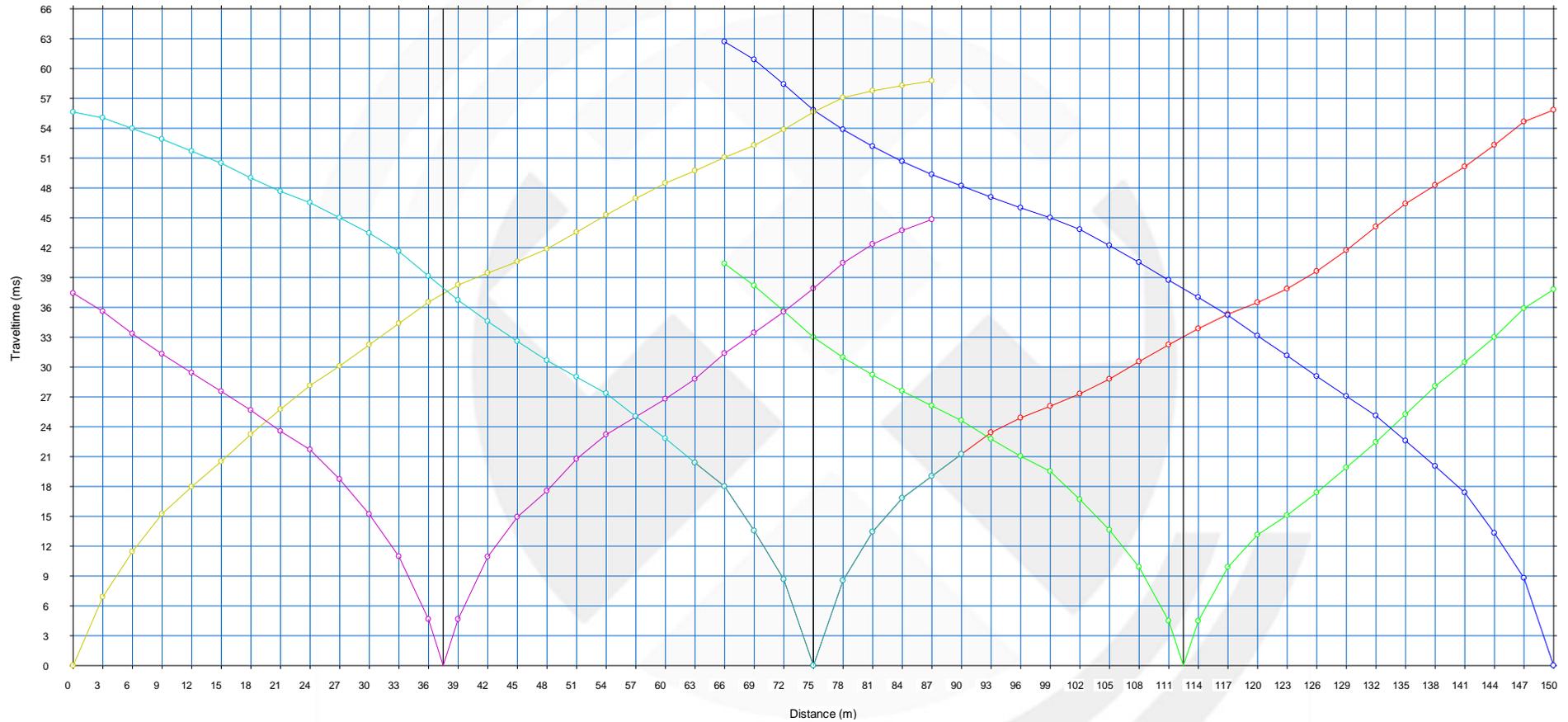


Figura 17: Dromocrona del perfil PS-2.

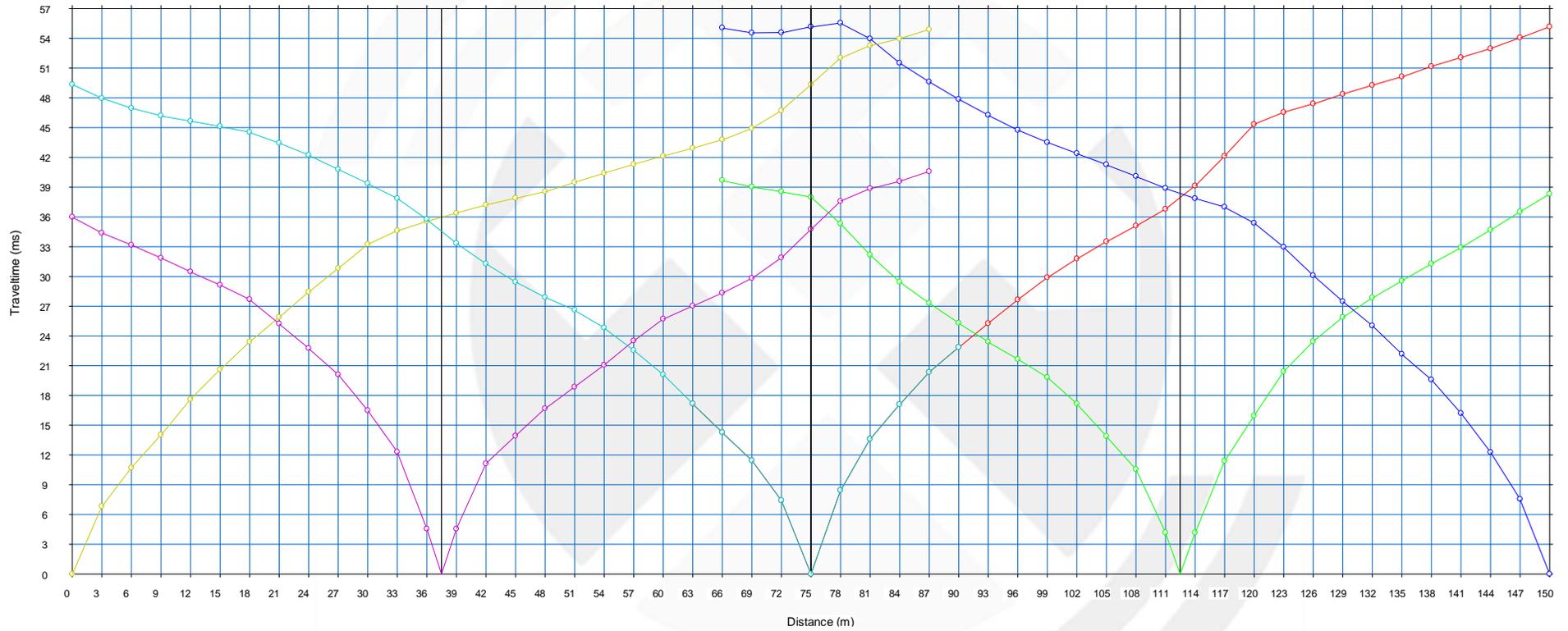


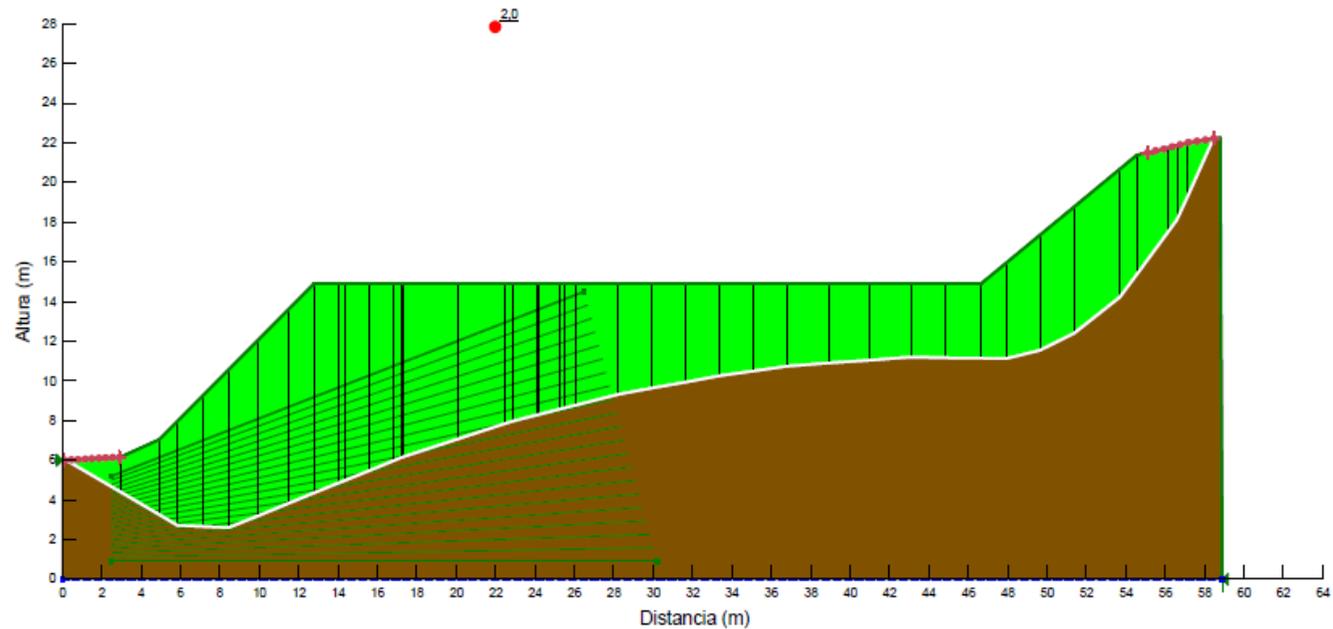
Figura 18: Dromocrona del perfil PS-3.

APÉNDICE 4. RESULTADO DEL CÁLCULO DE ESTABILIDAD

1. TALUD. HIPÓTESIS I. CONSTRUCCIÓN FINALIZADA. BISHOP

Título: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CERRO DE LA ENCINA
Nombre: BISHOP - HIPÓTESIS I
Hipótesis: CONSTRUCCION
Coef sísmico HORZ.: 0,154
Coef sísmico vert.: 0,048

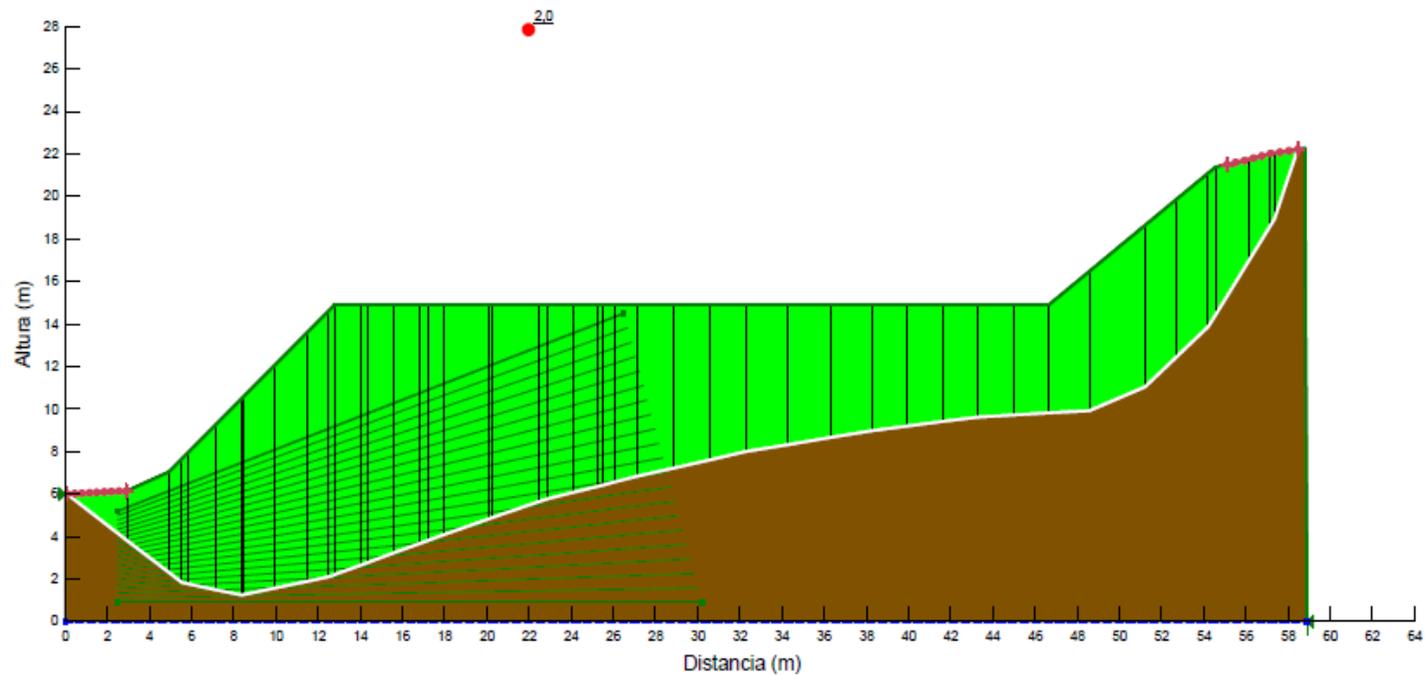
Color	Nombre	Modelo	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (kPa)	φ ¹ (°)	φ ² -β (°)	Línea piezométrica	Incluir I _{ta} en posición de poro por agua
■	Terreno natural	Mohr-Coulomb	17	17,85	30,57	0	1	No
■	Terreno natural compactado	Mohr-Coulomb	18	17,85	30,57	0	1	No



2. TALUD. HIPÓTESIS I. CONSTRUCCIÓN FINALIZADA. JANBU

Título: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CERRO DE LA ENCINA
Nombre: JANBU - HIPÓTESIS I
Hipótesis: CONSTRUCCION
Coef sísmico HORZ.: 0,154
Coef sísmico vert.: 0,048

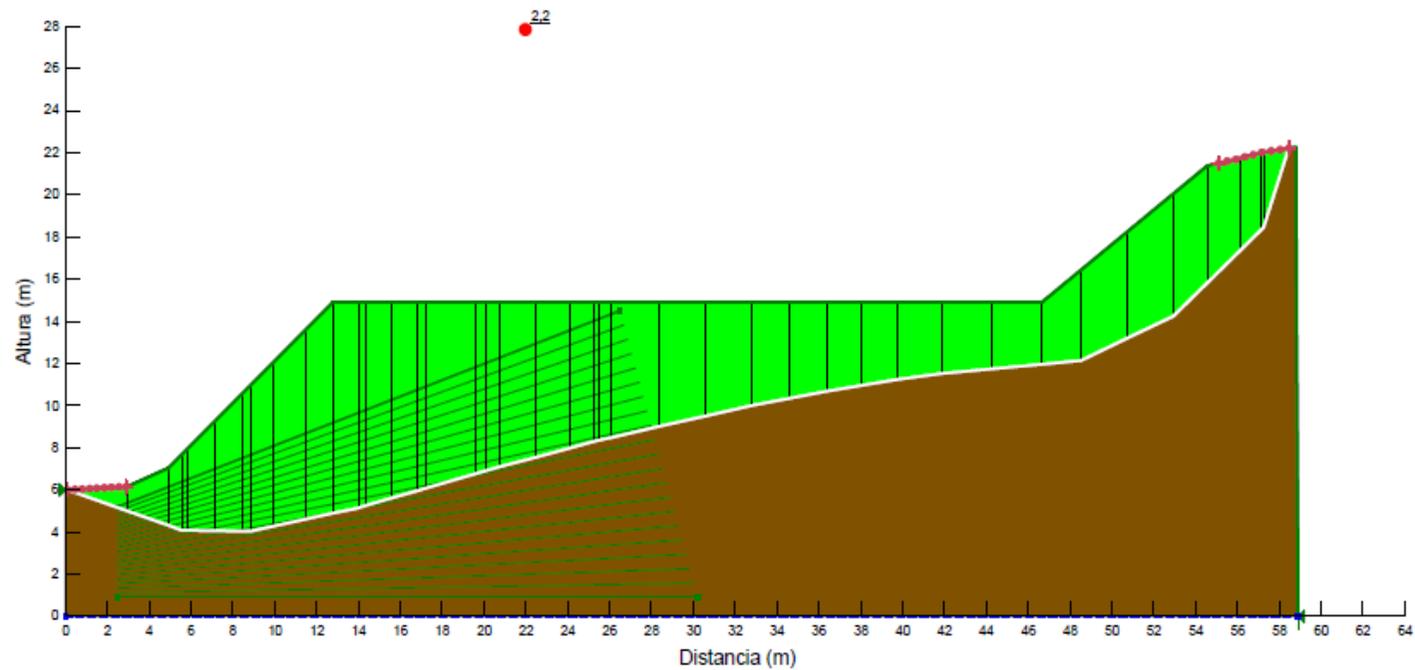
Color	Nombre	Modelo	Peso unitario (kN/m³)	Cohesión (KPA)	Phi (°)	Phi -B (°)	Línea piezométrica	Incluir Ru en presión de poro por agua
	Tiempo natural	Mohr-Coulomb	17	17,85	32,57	0	1	No
	Tiempo natural compactado	Mohr-Coulomb	18	17,85	32,57	0	1	No



3. TALUD. HIPÓTESIS I. CONSTRUCCIÓN FINALIZADA. MORGERNSTERN-PRICE

Título: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CERRO DE LA ENCINA
Nombre: MP - HIPÓTESIS I
Hipótesis: CONSTRUCCION
Coef sísmico HORZ.: 0,154
Coef sísmico vert.: 0,046

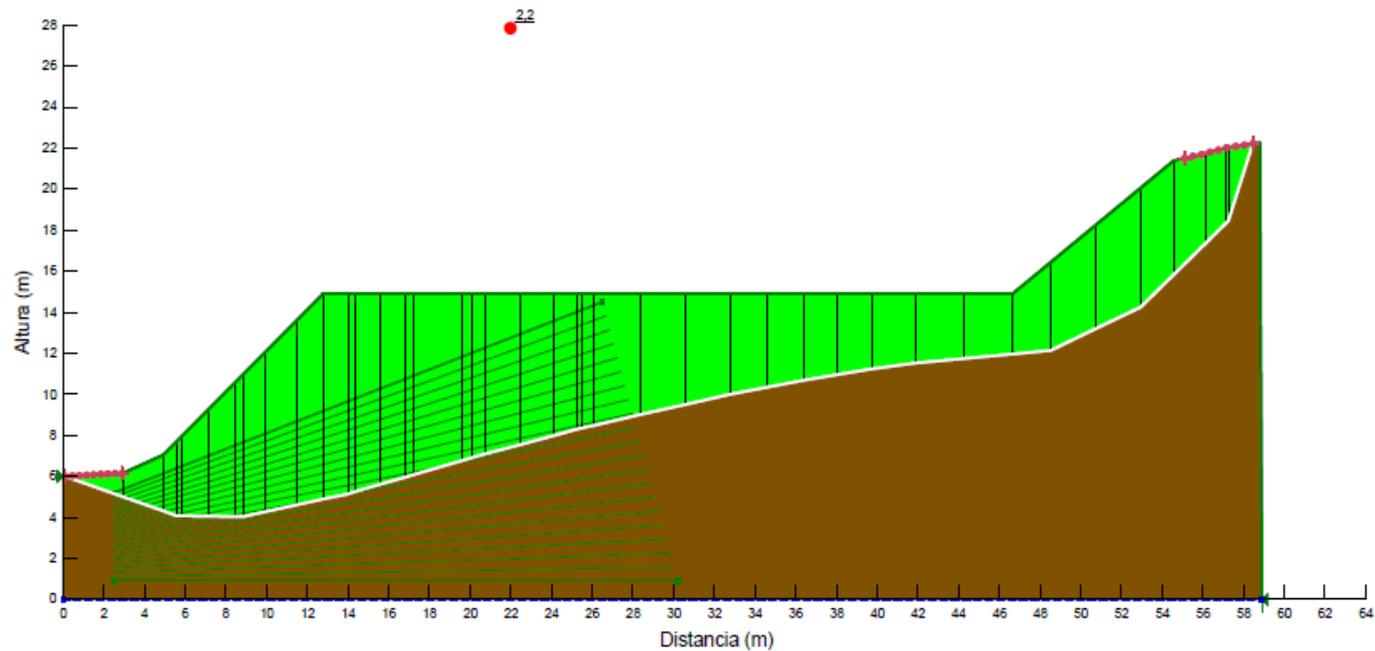
Color	Nombre	Modelo	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (KPa)	Phi' (°)	Phi -B (°)	Líneas piezométricas	Incluir Ru en presión de poro por agua
■	Terreno natural	Mohr-Coulomb	17	17,65	32,57	0	1	No
■	Terreno natural compactado	Mohr-Coulomb	18	17,65	32,57	0	1	No



4. TALUD. HIPÓTESIS I. CONSTRUCCIÓN FINALIZADA. SPENCER

Título: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CERRO DE LA ENCINA
Nombre: SPENCER - HIPÓTESIS I
Hipótesis: CONSTRUCCION
Coef sísmico HORZ.: 0,154
Coef sísmico vert.: 0,046

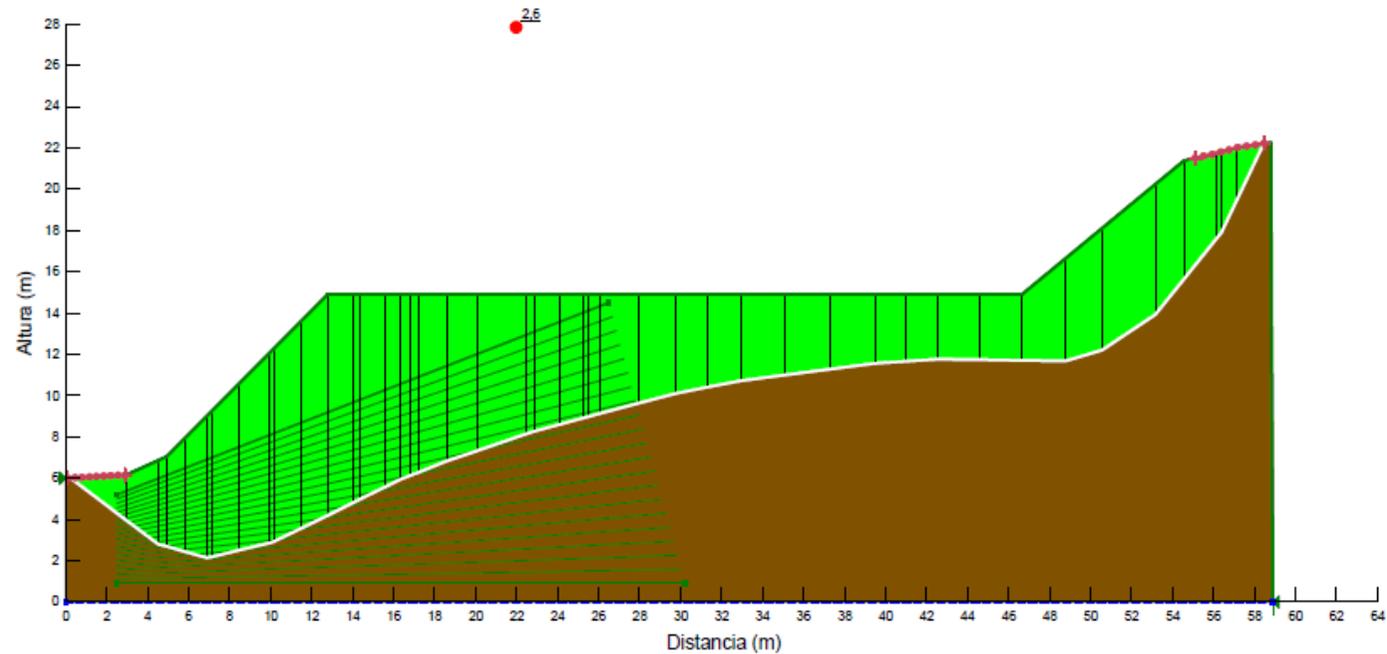
Color	Nombre	Modelo	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (kPa)	Phi (°)	Phi -B (°)	Línea piezométrica	Incluir P _u en presión de poro por agua
■	Terreno natural	Multi-Coulomb	17	17,85	32,57	0	1	No
■	Terreno natural consolidado	Multi-Coulomb	18	17,85	32,57	0	1	No



5. TALUD. HIPÓTESIS II. CONSTRUCCIÓN FINALIZADA. BISHOP

Título: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CERRO DE LA ENCINA
Nombre: BISHOP - HIPÓTESIS II
Hipótesis: CONSTRUCCION
Coef sísmico HORZ.: 0,04
Coef sísmico vert.: 0,107

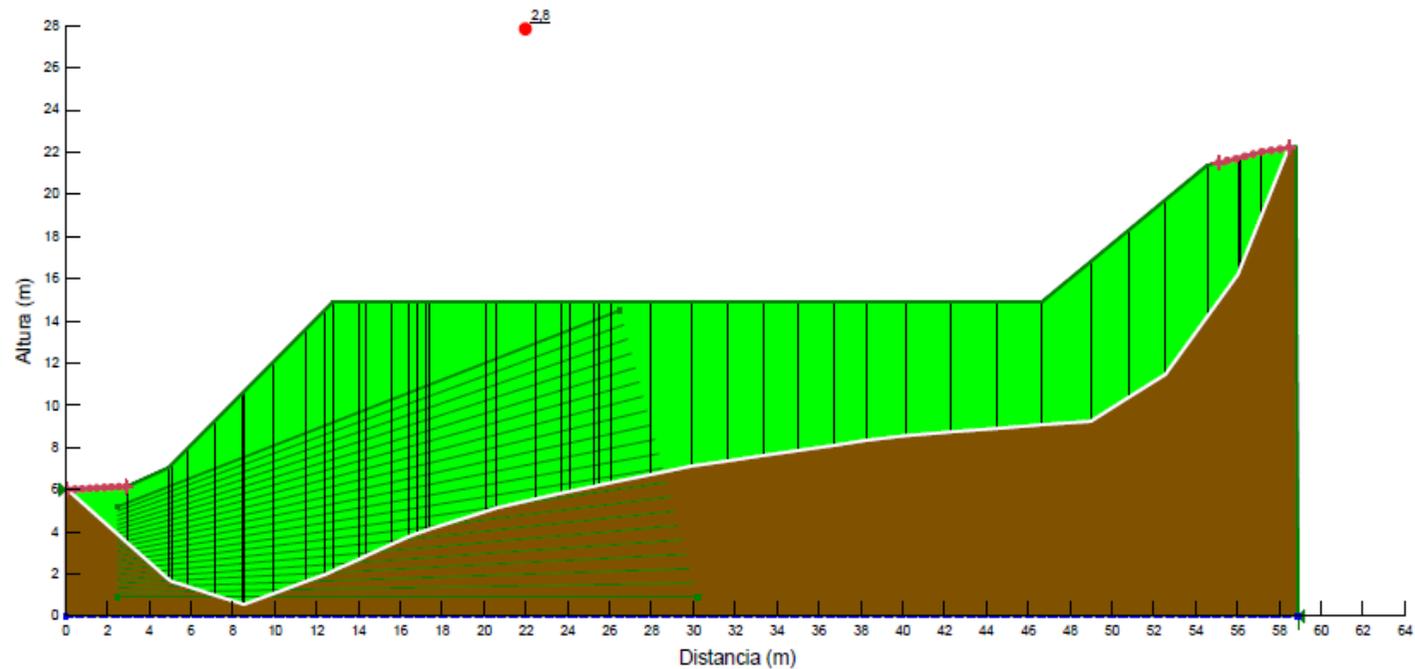
Color	Nombre	Modelo	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (kPa)	Phi° (°)	Phi° -B (°)	Lineas piezométricas	Incluir Ru en presión de poro por agua
■	Terreno natural	Mohr-Coulomb	17	17,85	32,57	0	1	No
■	Terreno natural compactado	Mohr-Coulomb	18	17,85	32,57	0	1	No



6. TALUD. HIPÓTESIS II. CONSTRUCCIÓN FINALIZADA. JANBU

Título: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CERRO DE LA ENCINA
Nombre: JANBU - HIPÓTESIS II
Hipótesis: CONSTRUCCION
Coef sísmico HORZ.: 0,04
Coef sísmico vert.: 0,107

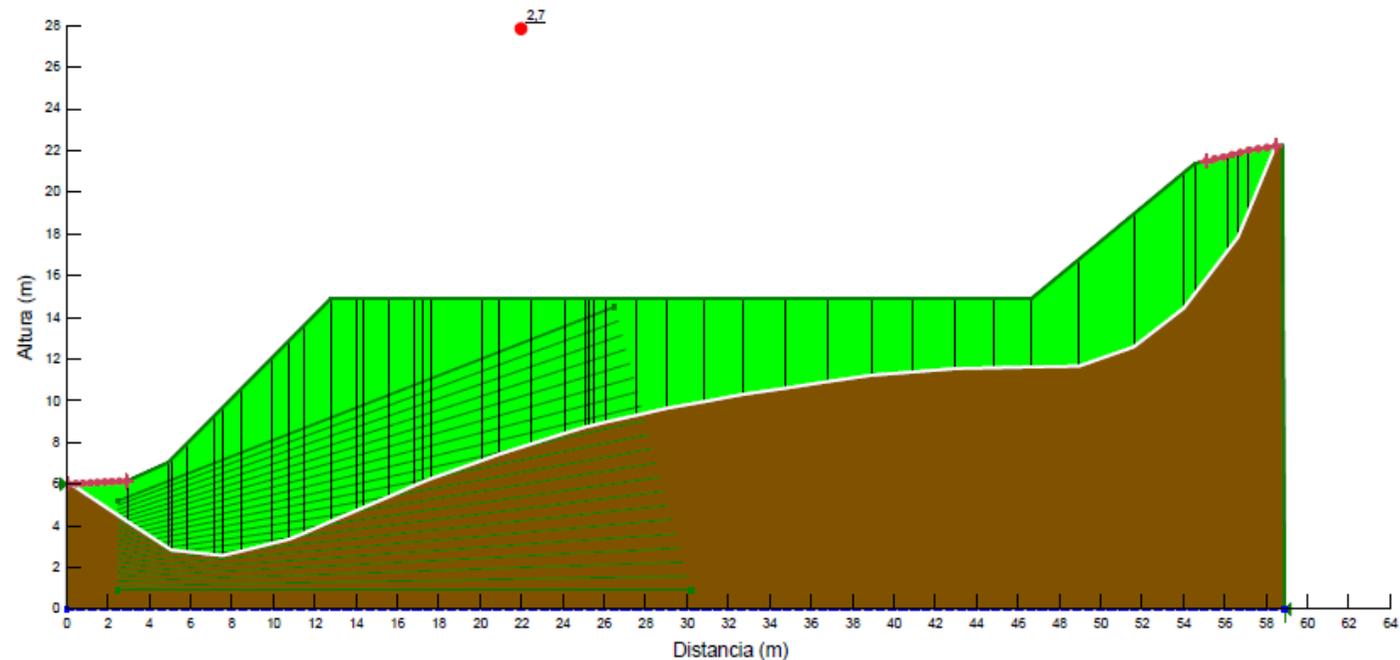
Color	Nombre	Modelo	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (KPa)	Phi' (°)	Phi -B (°)	Línea piezométrica	Incluir Ru en presión de poro por agua
■	Terreno natural	Mohr-Coulomb	17	17,65	32,57	0	1	No
■	Terreno natural compactado	Mohr-Coulomb	18	17,65	32,57	0	1	No



7. TALUD. HIPÓTESIS II. CONSTRUCCIÓN FINALIZADA. MORGERNSTERN-PRICE

Título: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CERRO DE LA ENCINA
Nombre: MP - HIPÓTESIS II
Hipótesis: CONSTRUCCION
Coef sísmico HORZ.: 0,04
Coef sísmico vert.: 0,107

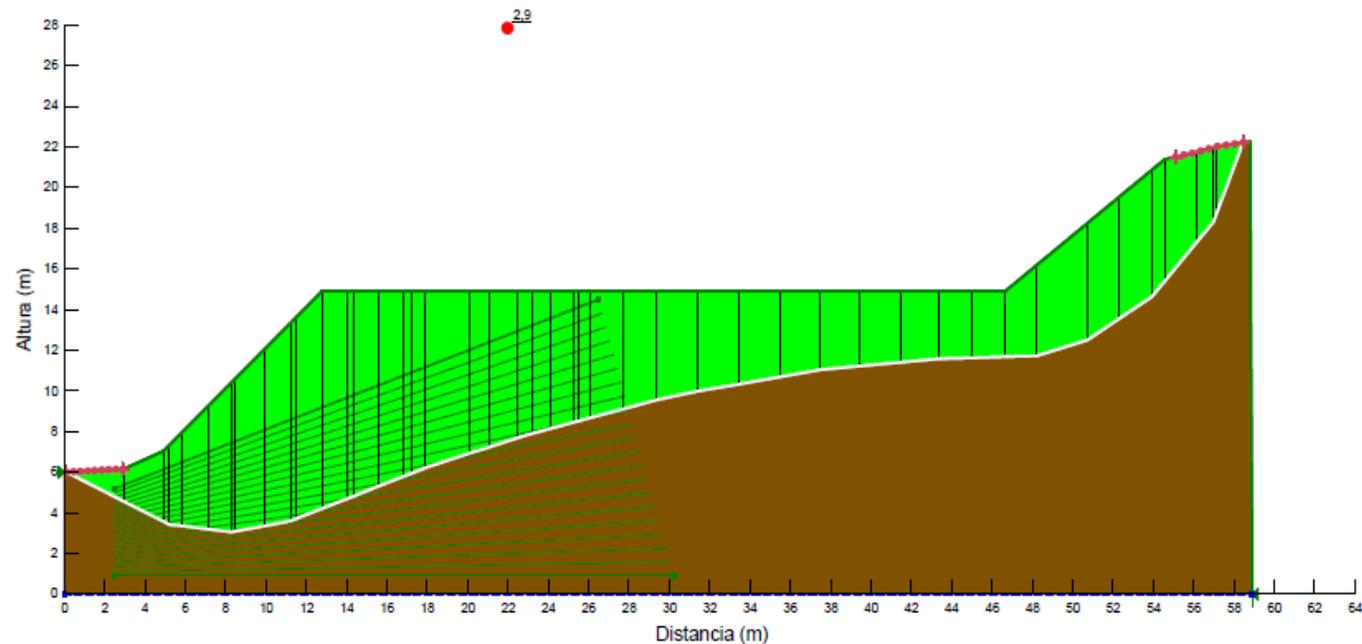
Color	Nombre	Modelo	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (KPA)	Phi' (°)	Phi -B (°)	Línea piezométrica	Incluir Ru en presión de poro por agua
■	Tiempo natural	Mohr-Coulomb	17	17,65	32,57	0	1	No
■	Tiempo natural compactado	Mohr-Coulomb	18	17,65	32,57	0	1	No



8. TALUD. HIPÓTESIS II. CONSTRUCCIÓN FINALIZADA. SPENCER

Título: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CERRO DE LA ENCINA
Nombre: SPENCER - HIPÓTESIS II
Hipótesis: CONSTRUCCION
Coef sísmico HORZ.: 0,04
Coef sísmico vert.: 0,107

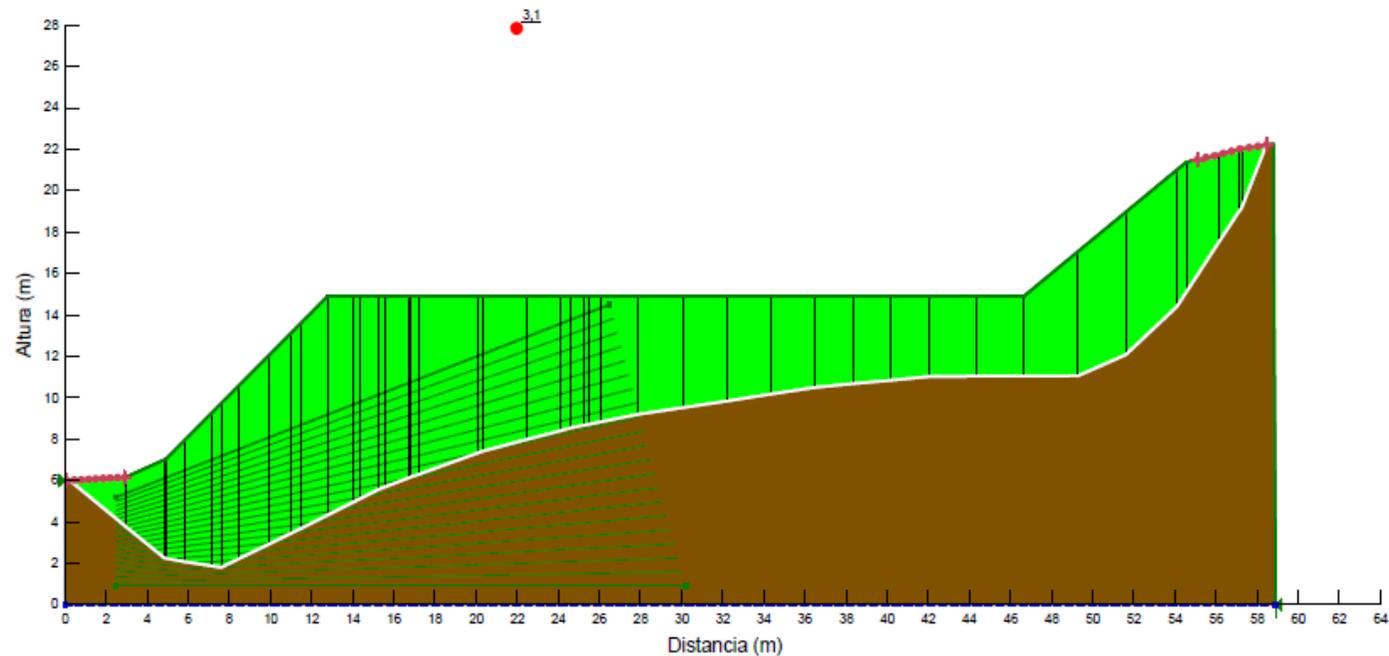
Color	Nombre	Modelo	Peso unitario (kN/m³)	Cohesión (kPa)	φ (°)	ψ (°)	Linea piezométrica	Incluir Pz en posición de poro por agua
■	Terreno natural	Mohr-Coulomb	17	17,65	32,57	0	1	No
■	Terreno natural compactado	Mohr-Coulomb	18	17,65	32,57	0	1	No



9. TALUD. HIPÓTESIS SIN SISMO. CONSTRUCCIÓN FINALIZADA. BISHOP

Título: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CERRO DE LA ENCINA
Nombre: BISHOP -SIN SISMO
Hipótesis: CONSTRUCCION
Coef sísmico HORZ.: 0
Coef sísmico vert.: 0

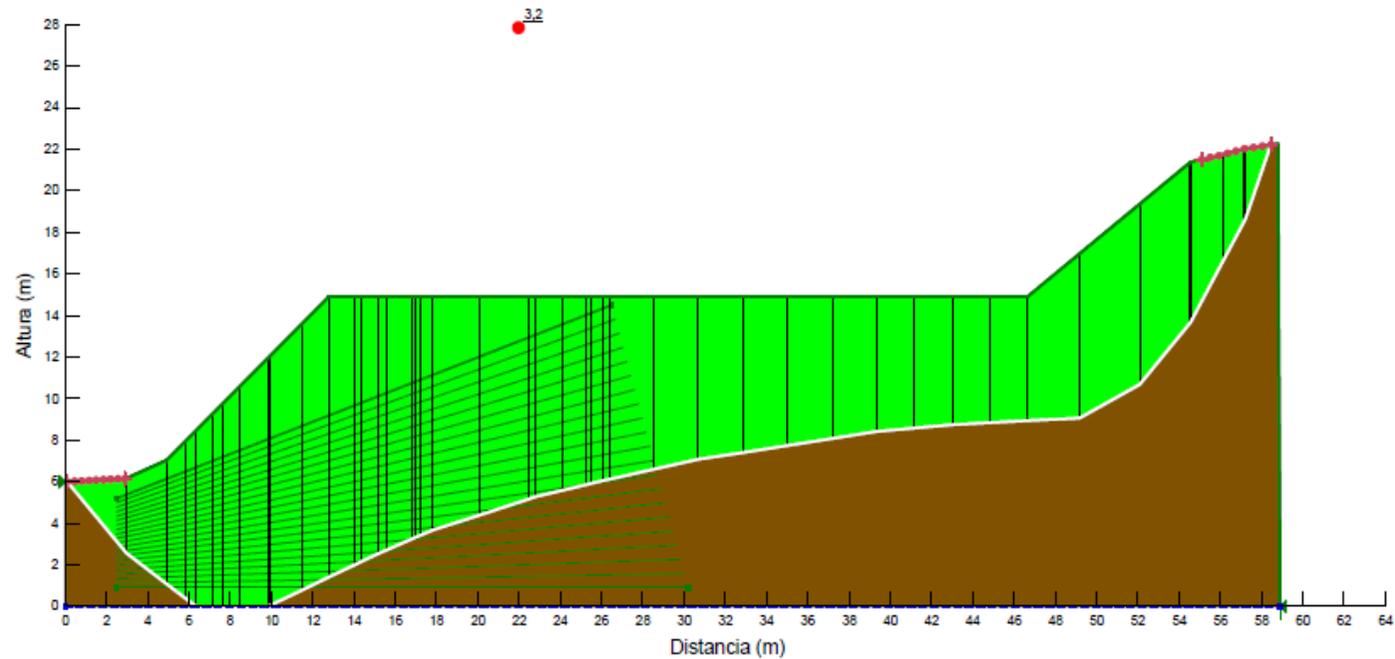
Color	Nombre	Modelo	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (kPa)	Φ (°)	Φ -B (°)	Línea piezométrica	Incluir P_u en presión de poro por agua
■	Tiempo natural	Mohr-Coulomb	17	17,85	32,57	0	1	No
■	Tiempo natural compactado	Mohr-Coulomb	18	17,85	32,57	0	1	No



10. TALUD. HIPÓTESIS SIN SISMO. CONSTRUCCIÓN FINALIZADA. JANBU

Título: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CERRO DE LA ENCINA
Nombre: JANBU - SIN SISMO
Hipótesis: CONSTRUCCION
Coef sísmico HORZ.: 0
Coef sísmico vert.: 0

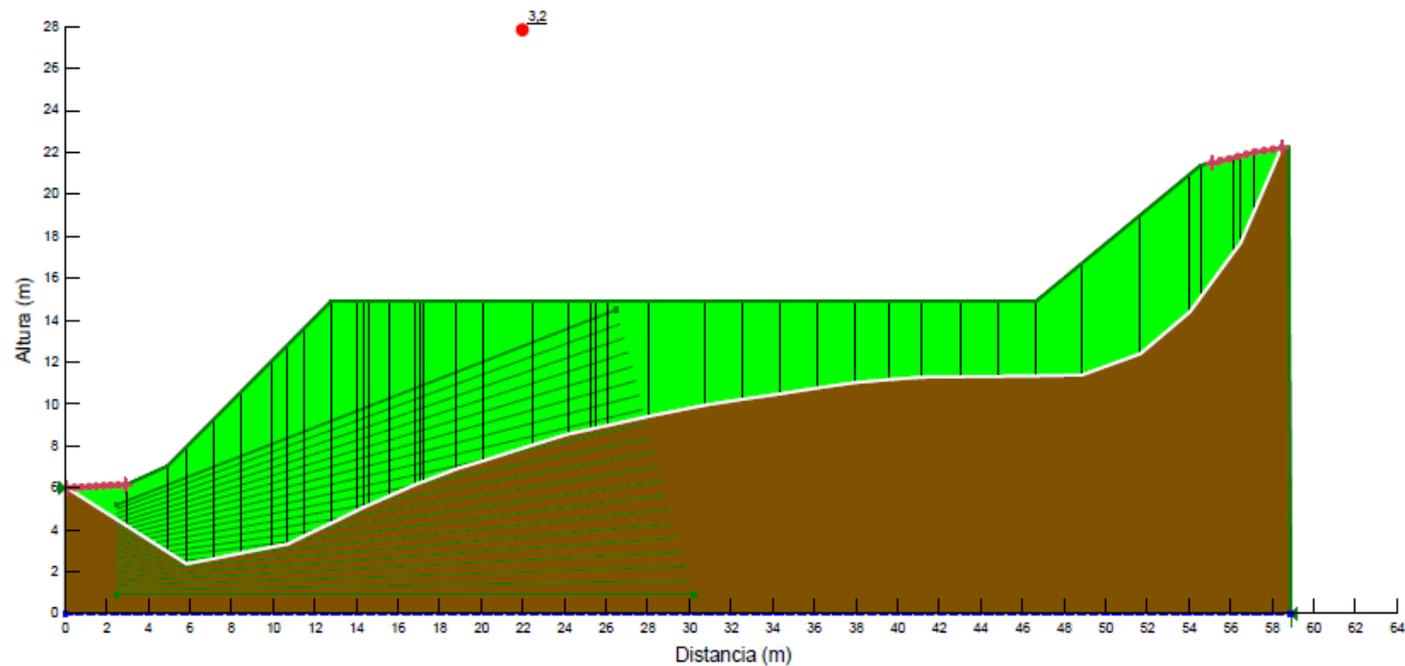
Color	Nombre	Modelo	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (kPa)	Phi (°)	Phi -B (°)	Línea piezométrica	Incluir Ru en presión de poro por agua
	Tiempo natural	Mohr-Coulomb	17	17,85	32,57	0	1	No
	Tiempo natural compactado	Mohr-Coulomb	18	17,85	32,57	0	1	No



11. TALUD. HIPÓTESIS SIN SISMO. CONSTRUCCIÓN FINALIZADA. MORGERNSTERN-PRICE

Título: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CERRO DE LA ENCINA
Nombre: MP -SIN SISMO
Hipótesis: CONSTRUCCION
Coef sísmico HORZ.: 0
Coef sísmico vert.: 0

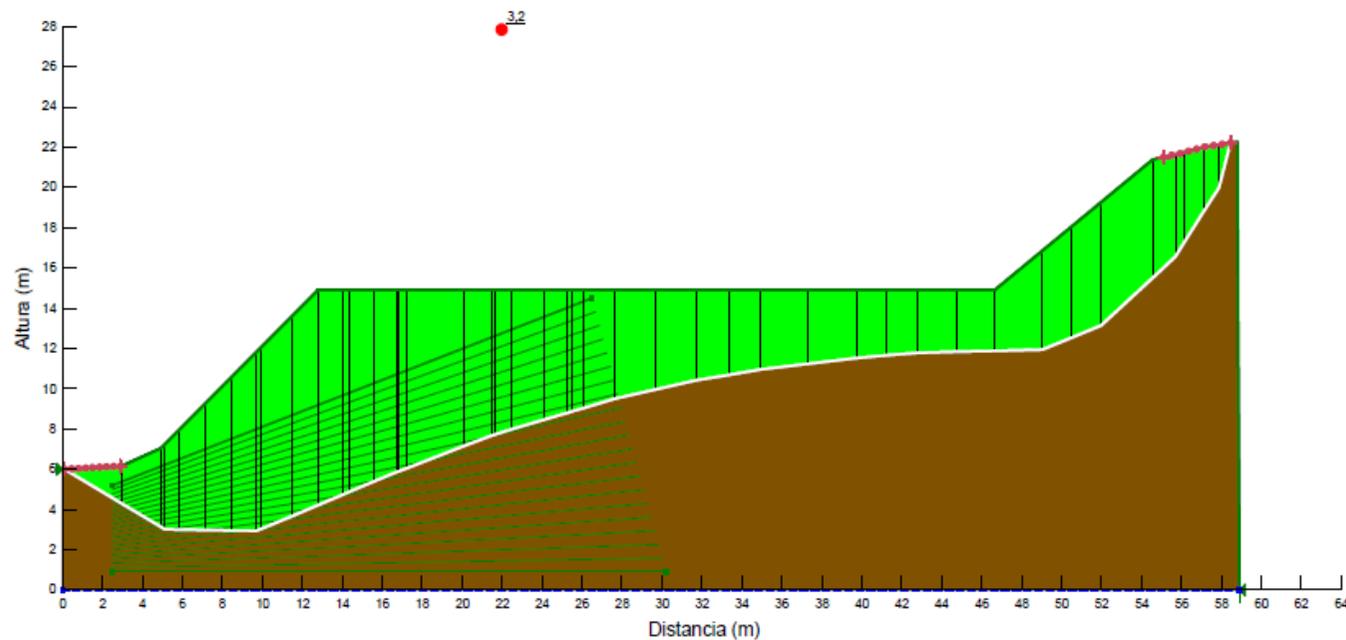
Color	Nombre	Modelo	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (KPA)	Phi' (°)	Phi -B (°)	Linea piezométrica	Incluir Ru en presión de poro por agua
■	Terreno natural	Mohr-Coulomb	17	17,85	32,57	0	1	No
■	Terreno natural compactado	Mohr-Coulomb	18	17,85	32,57	0	1	No



12. TALUD. HIPÓTESIS SIN SISMO. CONSTRUCCIÓN FINALIZADA. SPENCER

Título: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CERRO DE LA ENCINA
Nombre: SPENCER -SIN SISMO
Hipótesis: CONSTRUCCION
Coef sísmico HORZ.: 0
Coef sísmico vert.: 0

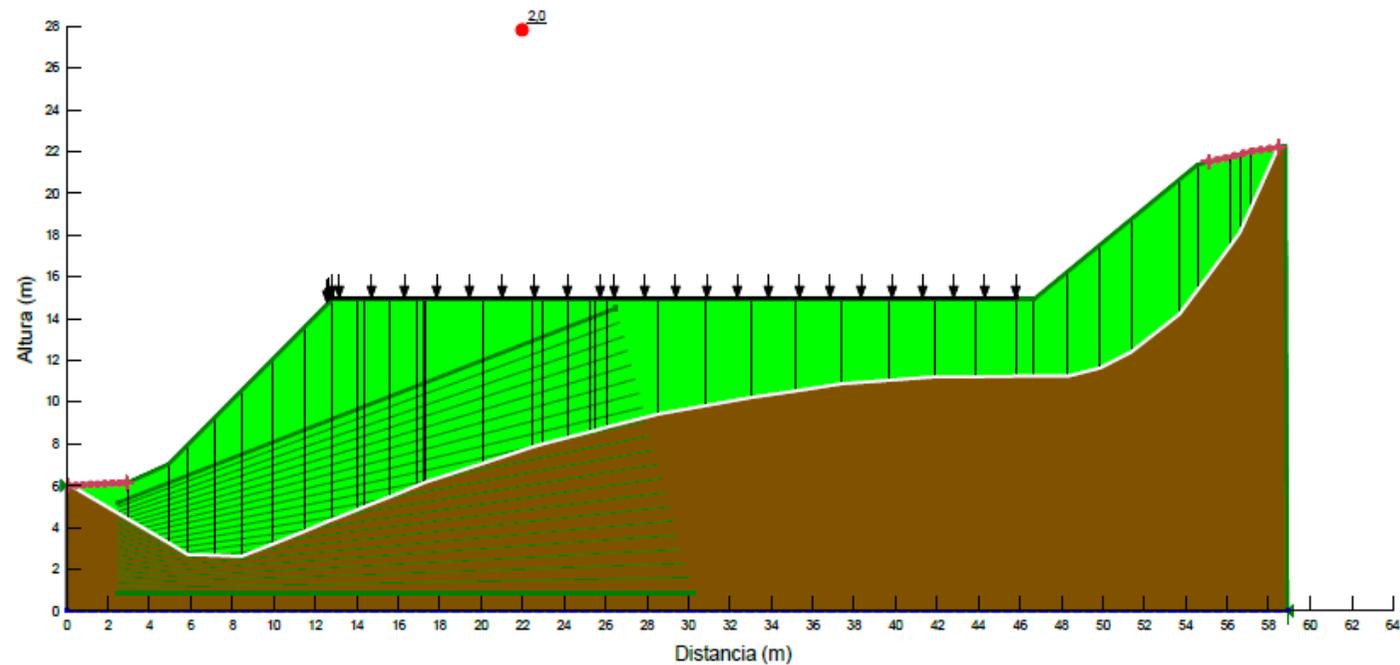
Color	Nombre	Modelo	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (kPa)	Phi° (°)	Phi° -δ (°)	Línea piezométrica	Incluir Ru en posición de poro por agua
■	Terreno natural	Mohr-Coulomb	17	17,65	32,57	0	1	No
■	Terreno natural compactado	Mohr-Coulomb	18	17,65	32,57	0	1	No



13. TALUD. HIPÓTESIS I. EXPLOTACIÓN. BISHOP

Título: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CERRO DE LA ENCINA
Nombre: BISHOP - HIPÓTESIS I
Hipótesis: EXPLOTACIÓN
Coef sísmico HORZ.: 0,154
Coef sísmico vert.: 0,046

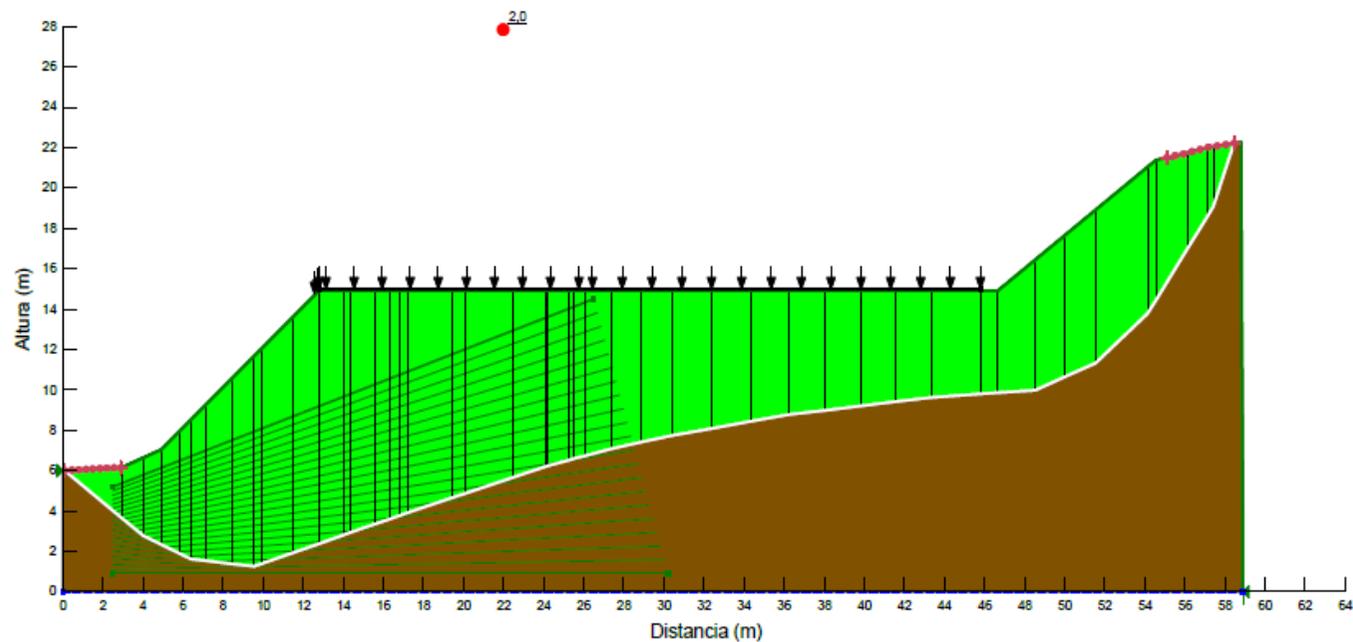
Color	Nombre	Modelo	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (kPa)	Phi (°)	Phi -δ (°)	Línea piezométrica	Incluir flu en presión de poro por agua
■	Tiempo natural	Mohr-Coulomb	17	17,85	32,57	0	1	No
■	Tiempo natural compactado	Mohr-Coulomb	18	17,85	32,57	0	1	No



14. TALUD. HIPÓTESIS I. EXPLOTACIÓN. JANBU

Título: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CERRO DE LA ENCINA
Nombre: JANBU - HIPÓTESIS I
Hipótesis: EXPLOTACIÓN
Coef sísmico HORZ.: 0,154
Coef sísmico vert.: 0,046

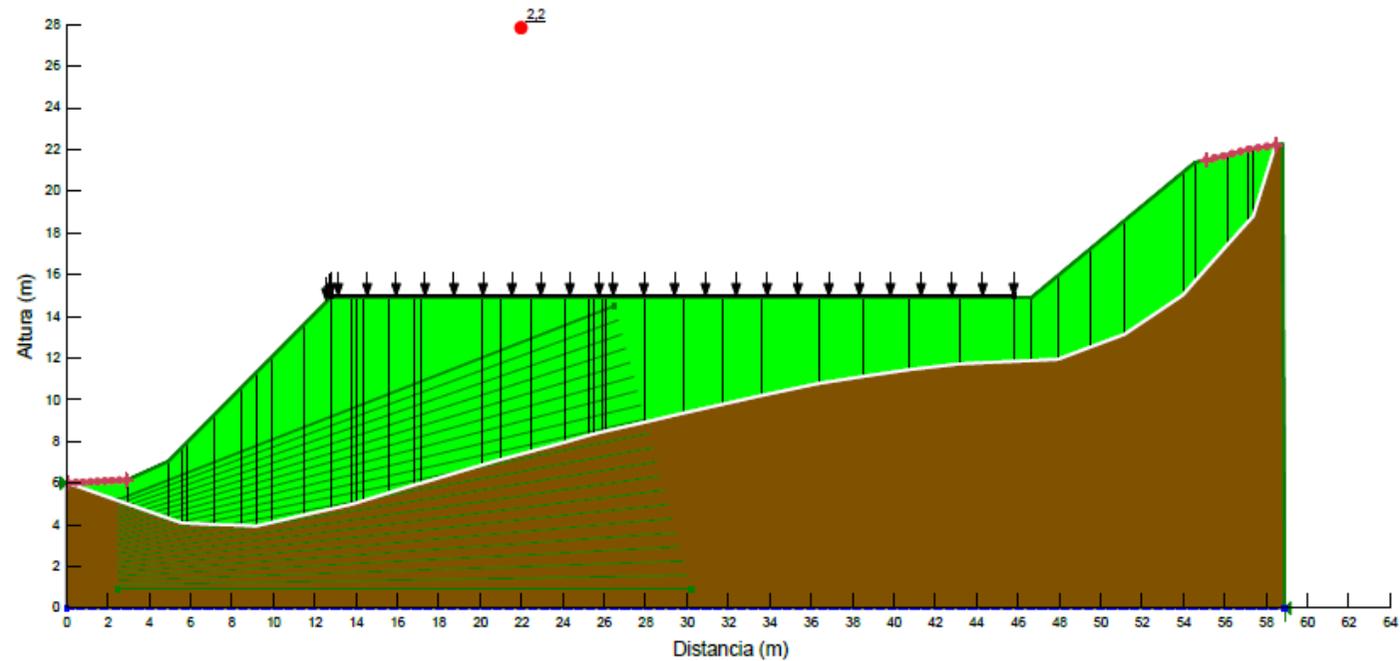
Color	Nombre	Modelo	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (kPa)	Phi° (°)	PHI -δ (°)	Línea piezométrica	Incluir Pu en posición de poro por agua
■	Terreno natural	Mohr-Coulomb	17	17,65	32,57	0	1	No
■	Terreno natural compactado	Mohr-Coulomb	18	17,65	32,57	0	1	No



15. TALUD. HIPÓTESIS I. EXPLOTACIÓN. MORGERNSTERN-PRICE

Título: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CERRO DE LA ENCINA
Nombre: MP - HIPÓTESIS I
Hipótesis: EXPLOTACIÓN
Coef sísmico HORZ.: 0,154
Coef sísmico vert.: 0,046

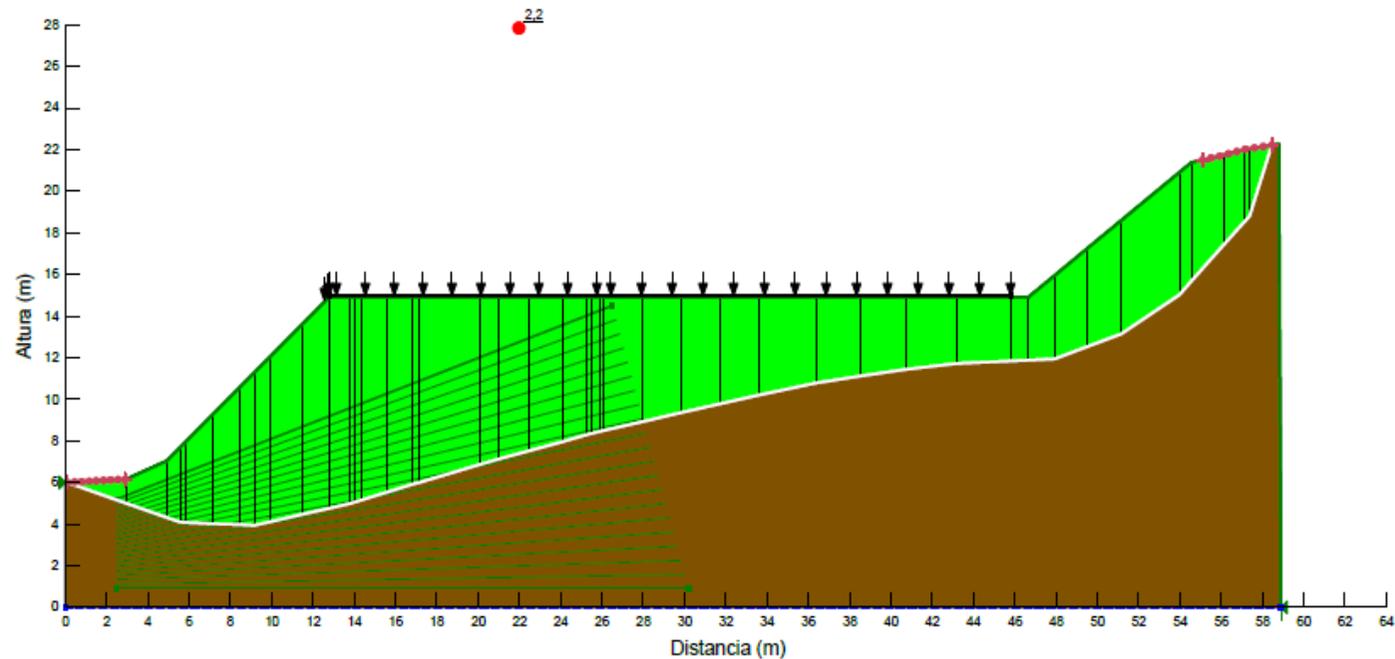
Color	Nombre	Modelo	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (KPa)	PH ⁺ (°)	PH ⁻ (°)	Línea piezométrica	Incluir Ru en presión de poro por agua
■	Tiempo natural	Mohr-Coulomb	17	17,65	32,57	0	1	No
■	Tiempo natural compactado	Mohr-Coulomb	18	17,65	32,57	0	1	No



16. TALUD. HIPÓTESIS I. EXPLOTACIÓN. SPENCER

Título: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CERRO DE LA ENCINA
Nombre: SPENCER - HIPÓTESIS I
Hipótesis: EXPLOTACIÓN
Coef sísmico HORZ.: 0,154
Coef sísmico vert.: 0,048

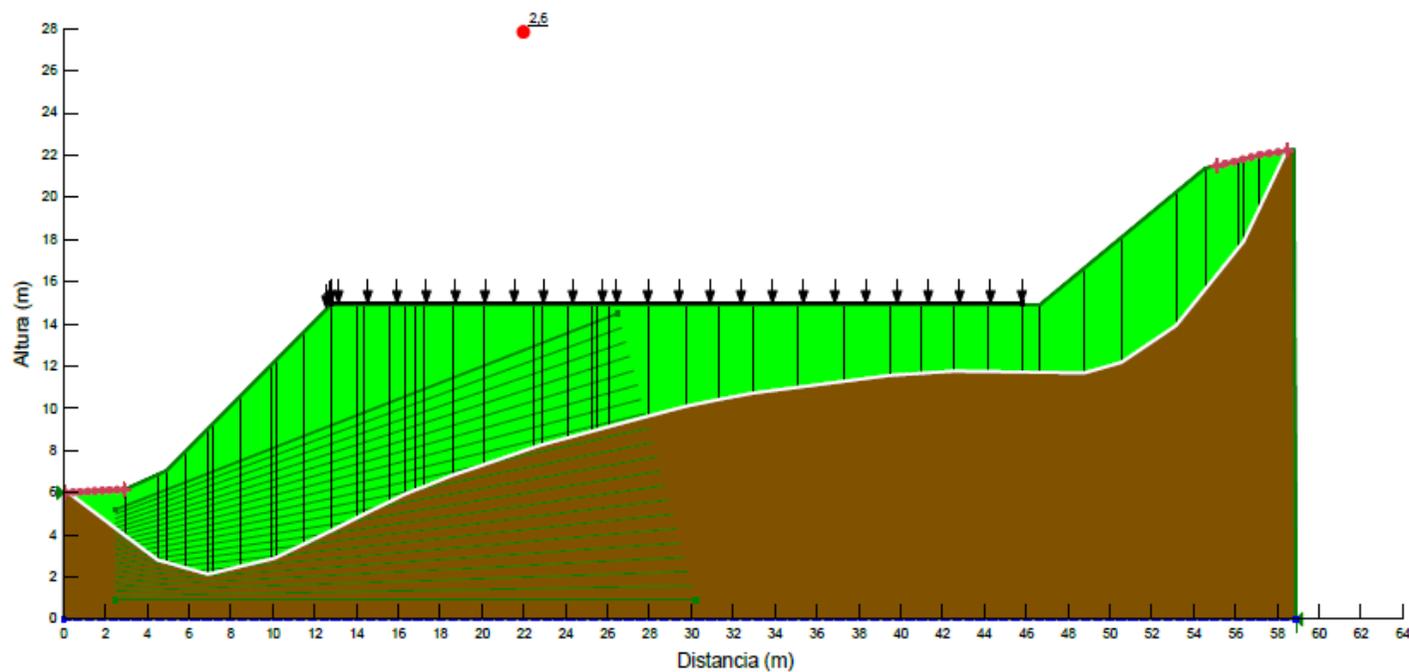
Color	Nombre	Modelo	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (kPa)	Phi (°)	Phi -B (°)	Línea piezométrica	Incluir flu en presión de poro por agua
■	Tiempo natural	Mohr-Coulomb	17	17,85	32,57	0	1	No
■	Tiempo natural compactado	Mohr-Coulomb	18	17,85	32,57	0	1	No



17. TALUD. HIPÓTESIS II. EXPLOTACIÓN. BISHOP

Título: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CERRO DE LA ENCINA
Nombre: BISHOP - HIPÓTESIS II
Hipótesis: EXPLOTACIÓN
Coef sísmico HORZ.: 0,04
Coef sísmico vert.: 0,107

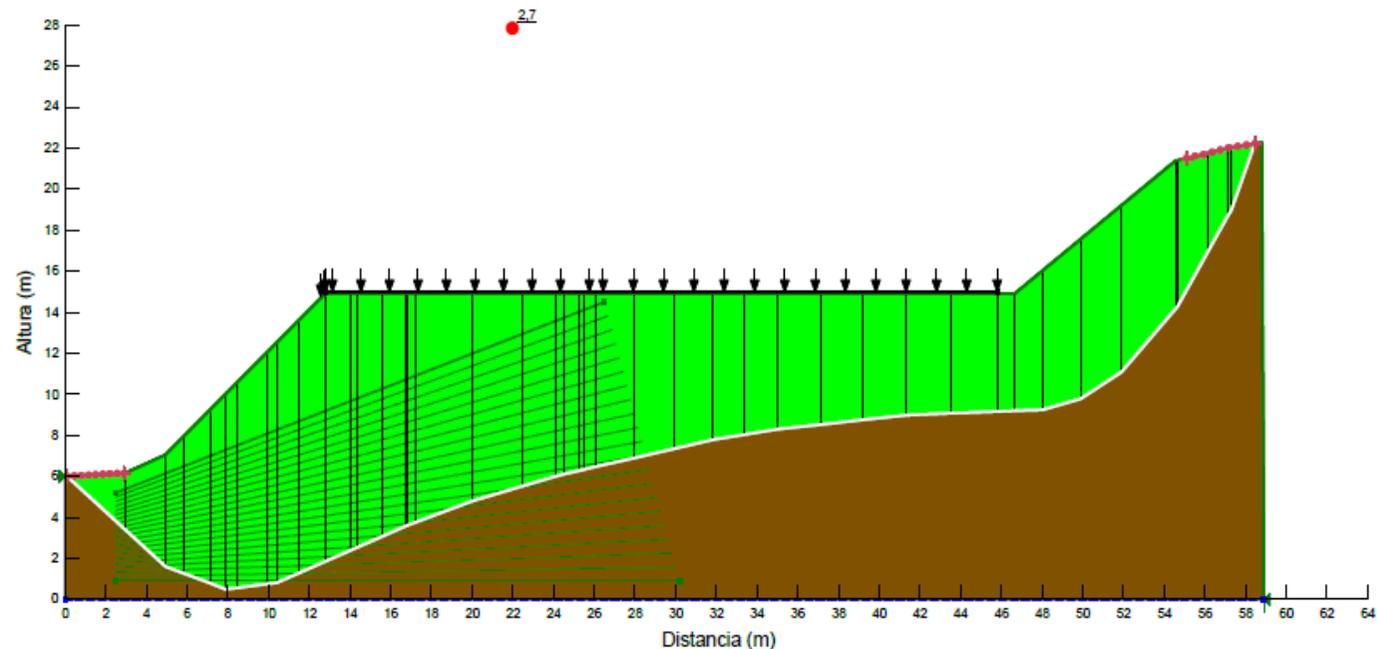
Color	Nombre	Modelo	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (KPa)	Phi' (°)	Phi -B (°)	Línea piezométrica	Incluir Ru en presión de poro por agua
■	Terreno natural	Mohr-Coulomb	17	17,65	32,57	0	1	No
■	Terreno natural compactado	Mohr-Coulomb	18	17,65	32,57	0	1	No



18. TALUD. HIPÓTESIS II. EXPLOTACIÓN. JANBU

Título: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CERRO DE LA ENCINA
Nombre: JANBU - HIPÓTESIS II
Hipótesis: EXPLOTACIÓN
Coef sísmico HORZ.: 0,04
Coef sísmico vert.: 0,107

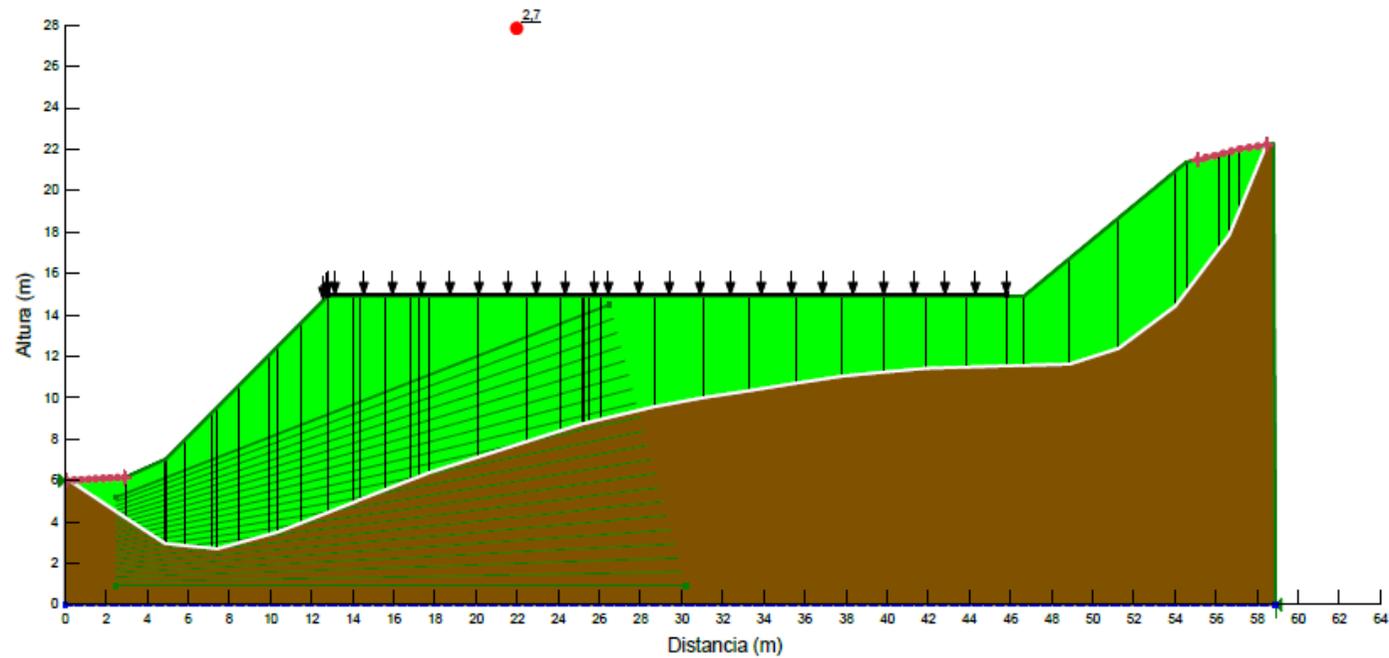
Color	Nombre	Modelo	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (kPa)	Phi° (°)	Phi-B (°)	Línea piezométrica	Incluir P _u en presión de poro por agua
■	Terreno natural	Multi-Coulomb	17	17,85	32,57	0	1	No
■	Terreno natural consolidado	Multi-Coulomb	18	17,85	32,57	0	1	No



19. TALUD. HIPÓTESIS II. EXPLOTACIÓN. MORGERNSTERN-PRICE

Título: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CERRO DE LA ENCINA
Nombre: MP - HIPÓTESIS II
Hipótesis: EXPLOTACIÓN
Coef sísmico HORZ.: 0,04
Coef sísmico vert.: 0,107

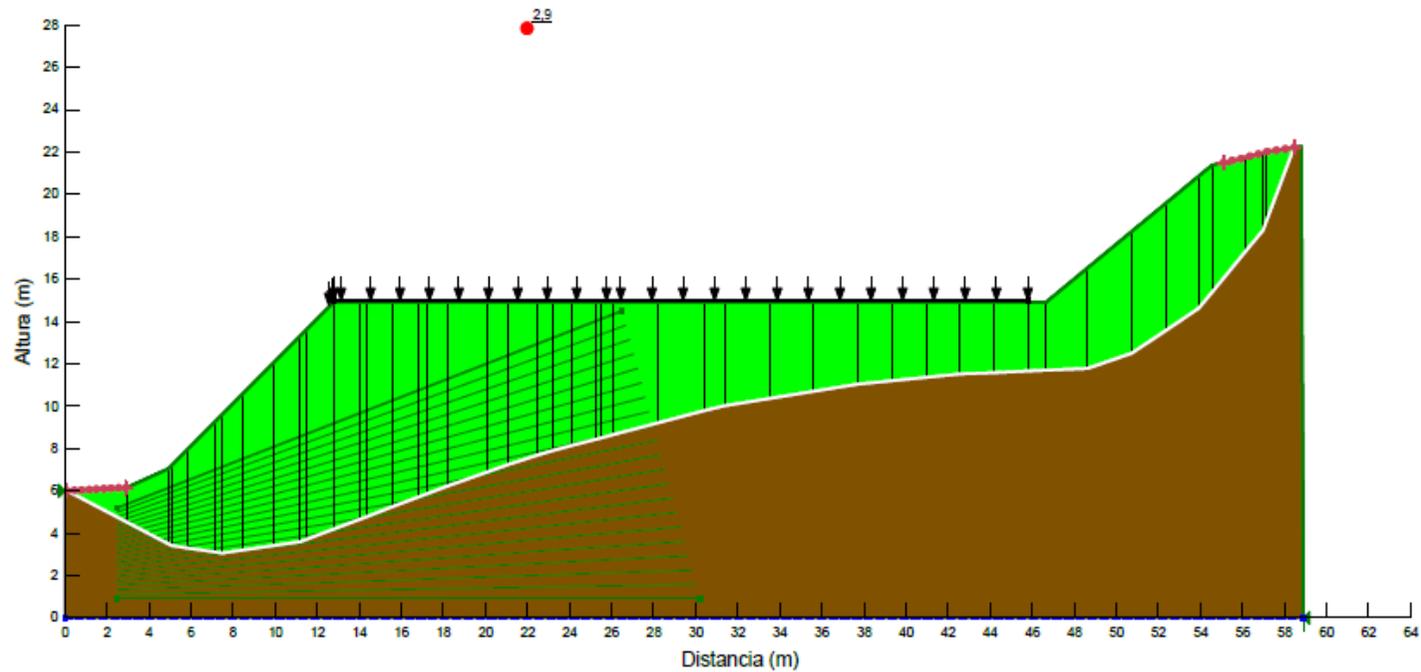
Color	Nombre	Modelo	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (kPa)	Phi (°)	Phi -B (°)	Línea piezométrica	Incluir Ru en presión de poro por agua
■	Terreno natural	Mohr-Coulomb	17	17,85	32,57	0	1	No
■	Terreno natural compactado	Mohr-Coulomb	18	17,85	32,57	0	1	No



20. TALUD. HIPÓTESIS II. EXPLOTACIÓN. SPENCER

Título: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CERRO DE LA ENCINA
Nombre: SPENCER - HIPÓTESIS II
Hipótesis: EXPLOTACIÓN
Coef sísmico HORZ.: 0,04
Coef sísmico vert.: 0,107

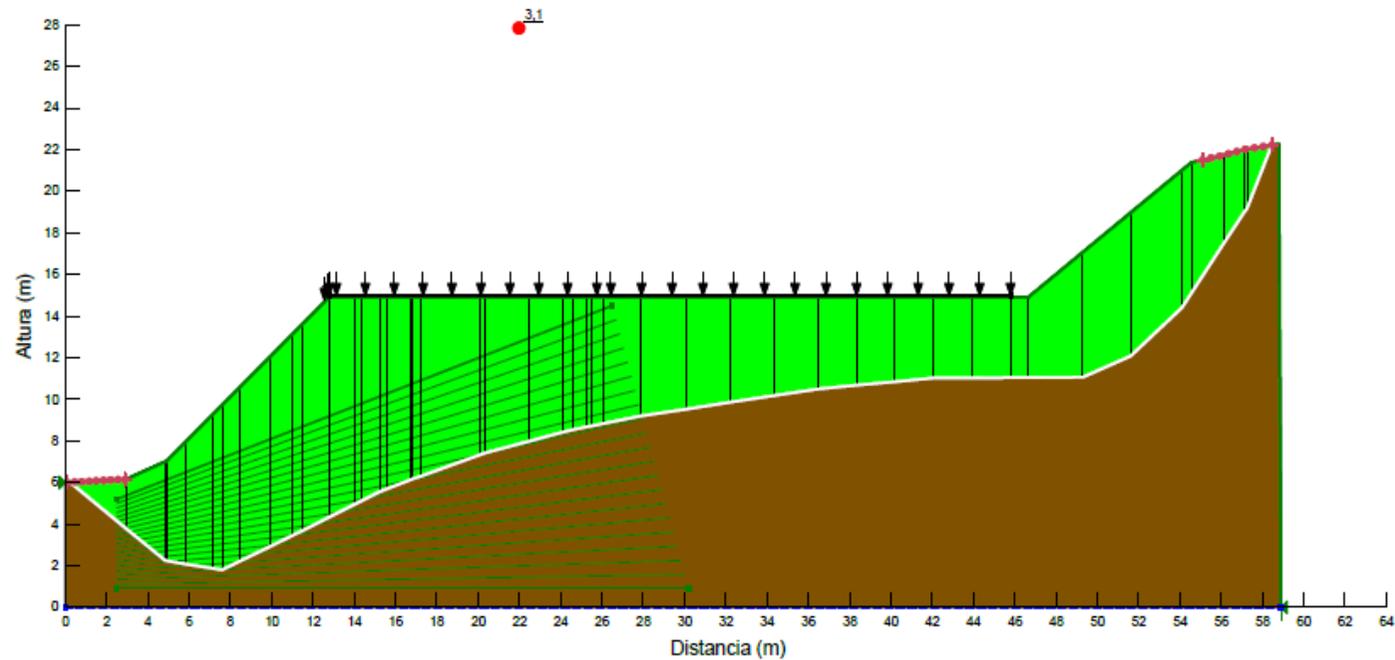
Color	Nombre	Modelo	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (KPA)	Phi (°)	Phi -B (°)	Línea piezométrica	Incluir Ru en presión de poro por agua
■	Terreno natural	Mohr-Coulomb	17	17,95	32,57	0	1	No
■	Terreno natural compactado	Mohr-Coulomb	18	17,95	32,57	0	1	No



21. TALUD. HIPÓTESIS SIN SISMO. EXPLOTACIÓN. BISHOP

Título: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CERRO DE LA ENCINA
Nombre: BISHOP -SIN SISMO
Hipótesis: EXPLOTACIÓN
Coef sísmico HORZ.: 0
Coef sísmico vert.: 0

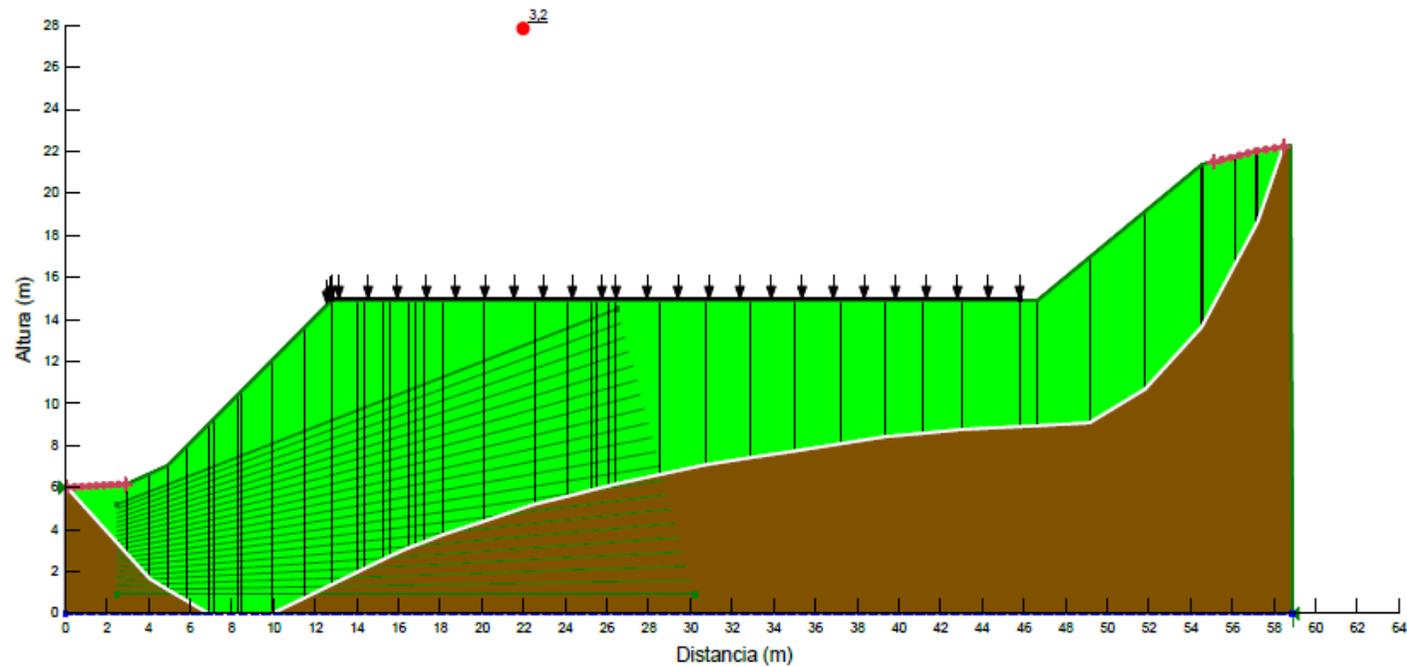
Color	Nombre	Modelo	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (kPa)	Phi (°)	Phi -B (°)	Línea piezométrica	Incluir flu en presión de poro por agua
■	Tiempo natural	Mohr-Coulomb	17	17,85	32,57	0	1	No
■	Tiempo natural compactado	Mohr-Coulomb	18	17,85	32,57	0	1	No



22. TALUD. HIPÓTESIS SIN SISMO. EXPLOTACIÓN. JANBU

Título: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CERRO DE LA ENCINA
Nombre: JANBU - SIN SISMO
Hipótesis: EXPLOTACIÓN
Coef sísmico HORZ.: 0
Coef sísmico vert.: 0

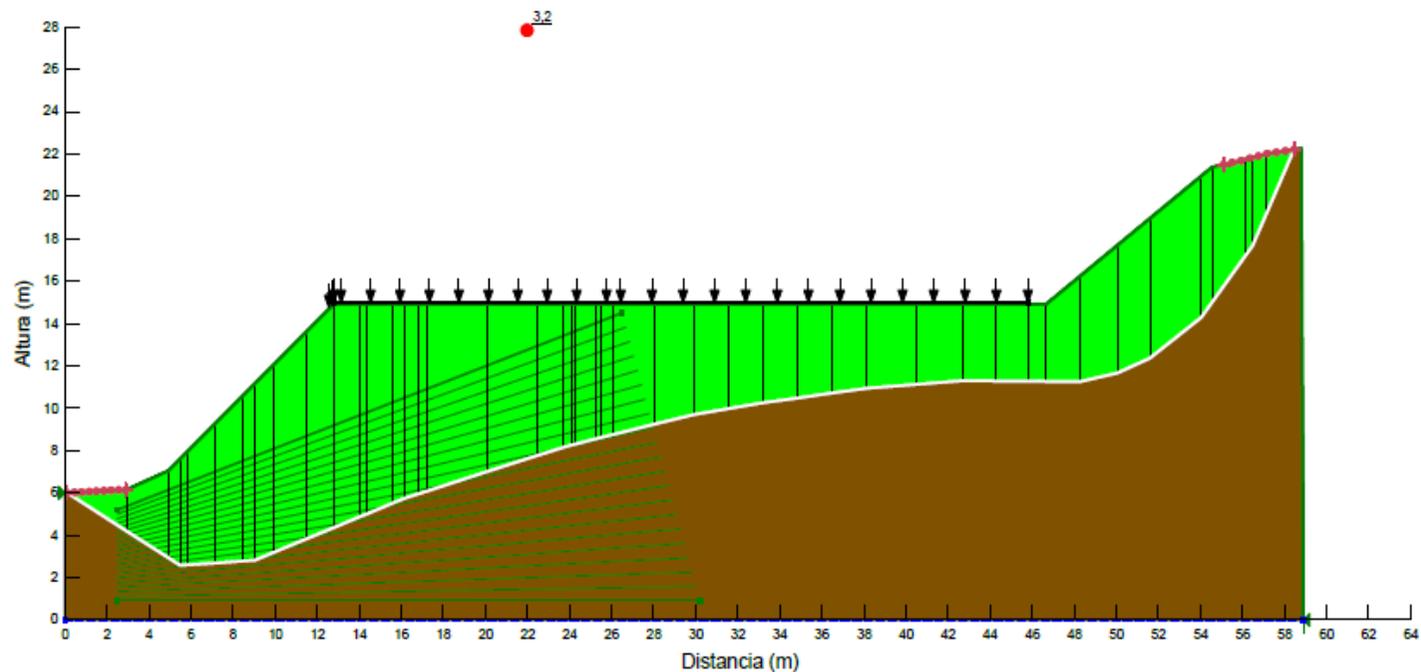
Color	Nombre	Modelo	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (KPA)	Phi' (°)	Phi -B (°)	Línea piezométrica	Incluir Ru en presión de poro por agua
■	Terreno natural	Mohr-Coulomb	17	17,65	32,57	0	1	No
■	Terreno natural compactado	Mohr-Coulomb	18	17,65	32,57	0	1	No



23. TALUD. HIPÓTESIS SIN SISMO. EXPLOTACIÓN. MORGERNSTERN-PRICE

Título: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CERRO DE LA ENCINA
Nombre: MP -SIN SISMO
Hipótesis: EXPLOTACIÓN
Coef sísmico HORZ.: 0
Coef sísmico vert.: 0

Color	Nombre	Modelo	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (KPA)	Phi (°)	Phi -B (°)	Linea piezométrica	Incluir Ru en presión de poro por agua
■	Terreno natural	Mohr-Coulomb	17	17,95	32,57	0	1	No
■	Terreno natural compactado	Mohr-Coulomb	18	17,95	32,57	0	1	No



24. TALUD. HIPÓTESIS SIN SISMO. EXPLOTACIÓN. SPENCER

Título: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CERRO DE LA ENCINA
Nombre: SPENCER -SIN SISMO
Hipótesis: EXPLOTACIÓN
Coef sísmico HORZ.: 0
Coef sísmico vert.: 0

Color	Nombre	Modelo	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (KPA)	Phi' (°)	Phi -B (°)	Línea piezométrica	Incluir flu en presión de poro por agua
■	Terreno natural	Mohr-Coulomb	17	17,65	32,57	0	1	No
■	Terreno natural compactado	Mohr-Coulomb	18	17,65	32,57	0	1	No

