



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

# TRABAJO DE FIN DE GRADO

---

ESTABILIZACIÓN DE LA LADERA LOCALIZADA EN EL PK 2+800 DE LA CARRETERA CV-363,  
TÉRMINO MUNICIPAL DE ARAS DE LOS OLMOS (VALENCIA)

---

*Presentado por*

San Lorenzo Molins, Francisco Javier

---

*Para la obtención del*

Grado en Ingeniería Civil

*Curso: 2020/2021*

*Fecha: 19 de Julio del 2021*

*Tutor: Garrido de la Torre, María Elvira*

*Cotutor: Hidalgo Signes, Carlos*

**ÍNDICE DE CONTENIDO:**

<b>1.INTRODUCCIÓN</b>	<b>6</b>	<b>7.ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y PROPUESTA DE ACTUACIÓN</b>	<b>46</b>
1.1 Antecedentes	6	7.1 Métodos de estabilización de laderas.	46
1.2 Objeto del estudio	7	7.2 Revisión de alternativas viables	47
1.3 Metodología de trabajo	7	7.3 Estudio de soluciones	50
1.4 Objetivos de desarrollo sostenible	7	7.4 Análisis de sensibilidad.	53
1.5 Software Empleado	7	7.5 Estabilidad de las alternativas más adecuadas	54
<b>2.TRABAJOS PREVIOS</b>	<b>8</b>	<b>8.DEFINICIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA</b>	<b>57</b>
2.1 Climatología	8	<b>9.RESTAURACIÓN DEL PAISAJE</b>	<b>62</b>
2.2 Sismicidad	8	<b>10.PLANIFICACIÓN DE TRABAJOS</b>	<b>68</b>
2.3 Geomorfología	9	<b>11.VALORACIÓN DE LAS OBRAS</b>	<b>69</b>
2.4 Hidrología	10	<b>12.RESUMEN Y CONCLUSIONES</b>	<b>70</b>
<b>3.GEOLOGÍA</b>	<b>11</b>	<b>ANEJOS:</b>	<b>72</b>
3.1 Geología regional	11		
3.2 Geología local	12		
<b>4.TRABAJO DE CAMPO</b>	<b>13</b>		
4.2 Drenaje transversal	17		
4.3 Patologías en la calzada	19		
4.4 Geología de detalle.	20		
4.5 Obra de emergencia	21		
4.6 Otras medidas de estabilización de ladera	22		
4.7 Conclusiones y recomendaciones	26		
<b>5.CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL TERRENO</b>	<b>26</b>		
5.1 Descripción de los trabajos	26		
5.2 Procedimiento de ensayo	27		
5.3 Caracterización del macizo rocoso	33		
5.4 Parametrización del terreno	37		
<b>6.ESTABILIDAD DE LA LADERA</b>	<b>38</b>		
6.1 Revisión teórica previa	38		
6.2 Análisis de la rotura	40		
6.3 Estabilidad global	41		

**ÍNDICE DE ILUSTRACIONES:**

Ilustración 1 Imagen satélite de la zona de estudio. Fuente: Google Earth .....	6
Ilustración 2 Zona del desprendimiento. Fuente: Google Earth .....	6
Ilustración 3 Temperaturas medias y precipitaciones. Fuente: Meteoblue. ....	8
Ilustración 4 Temperaturas máximas. Fuente: Meteoblue. ....	8
Ilustración 5 Mapa sísmico de España. Fuente: Norma Sismorresistente NCSE-02 .....	9
Ilustración 6 Geomorfología de la zona en 2003. Fuente: Google Earth .....	9
Ilustración 7 Geomorfología de la zona en 2020. Fuente: Google Earth .....	10
Ilustración 8 Mapa geológico de la zona de estudio. Fuente: IGME .....	11
Ilustración 9 Leyenda del mapa geológico. Fuente: IGME .....	12
Ilustración 10 Leyenda geológica detallada de la zona. Fuente: IGME .....	12
Ilustración 11 Imagen satélite al pie de la ladera. Fuente Google Eath. ....	13
Ilustración 12 Panel informativo del puerto de Losilla. Fuente: Elaboración propia. ....	14
Ilustración 13 Zona de la que se extrajeron margas. Fuente: Elaboración propia .....	14
Ilustración 14 Margas fracturadas. Fuente: Elaboración propia .....	15
Ilustración 15 Cuneta ocupada por fragmentos de roca. Fuente: Elaboración propia. ....	15
Ilustración 16 Bordillo de contención inexistente. Fuente: Elaboración propia. ....	16
Ilustración 17 Cuneta. Fuente: Elaboración propia. ....	16
Ilustración 18 ODT de mampostería Fuente: Elaboración propia .....	17
Ilustración 19 ODT con gran acumulación de sedientos. Fuente: Elaboración propia .....	17
Ilustración 20 ODT de hormigón. Fuente: Elaboración propia .....	17
Ilustración 21 ODT. Fuente: Elaboración propia. ....	18
Ilustración 22 ODT en la zona del desprendimiento. Fuente: Elaboración propia. ....	18
Ilustración 23 ODT en la zona del desprendimiento. Fuente: Elaboración propia. ....	19
Ilustración 24 Estado del firme, punzonamiento. Fuente: Elaboración propia. ....	19
Ilustración 25 Estado del firme. Fuente: Elaboración propia .....	19
Ilustración 26 Estado del firme. Fuente: Elaboración propia .....	19
Ilustración 27 Estratos de margas y calizas. Fuente: Elaboración propia .....	20
Ilustración 28 Potencia de los estratos. Fuente: Elaboración propia. ....	20
Ilustración 29 Dirección de los estratos. Fuente: Elaboración propia. ....	20
Ilustración 30 Muro de hormigón armado, la solución adoptada. Fuente: Elaboración propia. ....	21
Ilustración 31 Grietas de tracción al pie del muro. Fuente: Elaboración propia .....	21
Ilustración 32 Trazado de la zona afectada. Fuente: Elaboración propia .....	21
Ilustración 33 Muro de mampostería reparado. Fuente: Elaboración propia .....	22
Ilustración 34 Muro de mampostería reforzado con anclajes autopercorantes y muro de escollera. Fuente: Elaboración propia .....	22
Ilustración 35 Detalle de los anclajes y la malla. Fuente: Elaboración propia .....	22
Ilustración 36 Patología típica del muro de mampostería: panzas. Fuente: Elaboración propia. ....	23
Ilustración 37 Detalle de la sujeción de la malla. Fuente: Elaboración propia. ....	23
Ilustración 38 Detalle de la malla. Fuente: Elaboración propia. ....	23
Ilustración 39 Contrafuerte. Fuente: Elaboración propia. ....	23
Ilustración 40 Grupo de contrafuertes. Fuente: Elaboración propia .....	24
Ilustración 41 Detalle, muro de escollera. Fuente: Elaboración propia .....	24
Ilustración 42 Acabado del muro de escollera. Fuente: Elaboración propia. ....	24

Ilustración 43 Muro de mampostería, para sostener la zona afectada por la erosión diferencial. Fuente: Elaboración propia .....	25
Ilustración 44 Mallazo para la hidrosiembra. Fuente: Elaboración propia. ....	25
Ilustración 45 Rotura de la maya por exceso de peso. Fuente: Elaboración propia .....	25
Ilustración 46 Roca caliza de donde se extraen las probetas a estudiar. Fuente: Elaboración propia .....	26
Ilustración 47 Muestras de margas y calizas para el ensayo de densidad. Fuente: Elaboración propia .....	27
Ilustración 48 Muestras de margas para el ensayo de alterabilidad. Fuente: Elaboración propia. .	27
Ilustración 49 Etiqueta informativa de las bandas extensiométricas usadas en el ensayo a compresión simple. Fuente: Elaboración propia .....	28
Ilustración 50 Colocación de las bandas a la P2. Fuente: Elaboración propia .....	28
Ilustración 51 Prensa de 2000 kN. Mod. 285200 M.CINETÍFICA. Fuente: Elaboración propia. ...	28
Ilustración 52 Las 4 probetas que se eligen para el ensayo de compresión simple. Fuente: Elaboración propia .....	29
Ilustración 53 Muestras de marga sumergidas en el ensayo de alterabilidad al inicio. Fuente: Elaboración propia .....	30
Ilustración 54 Muestras de caliza sumergidas en el ensayo de alterabilidad, al inicio. Fuente: Elaboración propia .....	30
Ilustración 55 Muestras de caliza sumergidas en el ensayo de alterabilidad, parte final. Fuente: Elaboración propia .....	31
Ilustración 56 Muestras de marga M1, al final del ensayo de alterabilidad. Fuente: Elaboración propia .....	31
Ilustración 57 Muestra de marga M2, al final del ensayo. Fuente: Elaboración propia .....	31
Ilustración 58 Muestra de marga M3, al final del ensayo. Fuente: Elaboración propia .....	32
Ilustración 59 Procedimiento de parafinar las muestras. Fuente: Elaboración propia .....	32
Ilustración 61 Parámetros de deformabilidad de la P2. Fuente: Elaboración propia. ....	33
Ilustración 62 Valores de resistencia a compresión simple de rocas. Fuente: Ingeniería geológica, González de Vallejo et al. 2002 .....	34
Ilustración 63 Resultados mostrados por el software de impulsos de ultrasonidos a las muestras: P1, P2, P3 y P4. Fuente: Aplicación de registro de datos Pundit Lab + .....	35
Ilustración 64 Clasificación de rocas basada en el módulo relativo. Fuente: Ingeniería geológica, González de Vallejo et al. 2002 .....	36
Ilustración 65 Velocidad de propagación de las ondas en función de la roca. Fuente: Ingeniería geológica, González de Vallejo et al. 2002 .....	36
Ilustración 66 Clasificación de rocas en función de su resistencia a compresión simple. Fuente: Ingeniería geológica, González et al. 2002 .....	37
Ilustración 67 Esquema general de la rotura mixta de un talud. Fuente: Google imágenes. ....	38
Ilustración 68 Esquema de la rotura plana. Fuente: Manual de Taludes (IGME). ....	39
Ilustración 69 Esquema de la rotura en cuña. Fuente: Manual de Taludes (IGME). ....	39
Ilustración 70 Esquema de la rotura por vuelco. Fuente: Manual de Taludes (IGME). ....	39
Ilustración 71 Esquema rotura global. Fuente: Manual de Taludes (IGME). ....	39
Ilustración 72 Valores del parámetro D utilizados en la fórmula de Hoek-Brown. Fuente: Hoek- Brown et all, 2002. ....	42
Ilustración 73 Valores de GSI basado en observaciones geológicas. Fuente: Hoek-Brown et all, 2002. ....	43



<b>Ilustración 74 Resultado de la estabilidad de la ladera con nivel freático, sin medidas. Fuente: Elaboración propia.....</b>	<b>44</b>
<b>Ilustración 75 Resultados de la estabilidad de la ladera con nivel freático, muro de hormigón armado. Fuente: Slide2. ....</b>	<b>45</b>
<b>Ilustración 76 Ejemplo de estructura jerárquica AHP. Fuente: Blog del Prof. Víctor Yepes. ....</b>	<b>49</b>
<b>Ilustración 77 Escala de comparación por pares, Saaty. Fuente: Blog del Prof. Víctor Yepes. ....</b>	<b>49</b>
<b>Ilustración 78 Índice aleatorio RI, para el cálculo de la consistencia. Fuente: Blog del Prof. Víctor Yepes.....</b>	<b>49</b>
<b>Ilustración 79 Porcentajes máximos de consistencia. Fuente: Blog del Prof. Víctor Yepes.....</b>	<b>49</b>
<b>Ilustración 80 Resultado de la estabilidad de la ladera con presencia de agua y con muro de mampostería con mortero de revoco. ....</b>	<b>54</b>
<b>Ilustración 81 Resultado de la estabilidad de la ladera con nivel freático y muro de mampostería con mortero M-7,5 N/mm<sup>2</sup>. ....</b>	<b>55</b>
<b>Ilustración 82 Resultado de la estabilidad de la ladera con nivel freático y muro de mampostería con micropilotes autoperforantes y mortero de revoco. ....</b>	<b>56</b>
<b>Ilustración 83 Resultado del análisis de la estabilidad con el muro de mampostería. Fuente: Elaboración propia.....</b>	<b>58</b>
<b>Ilustración 84 Detalle del muro. Fuente: Elaboración propia. ....</b>	<b>58</b>
<b>Ilustración 85 Zona de excavación. Fuente: Google Earth.....</b>	<b>59</b>
<b>Ilustración 86 Sección dren longitudinal cimentación. Fuente: Elaboración propia.....</b>	<b>60</b>
<b>Ilustración 87 Sección cuneta de coronación. Fuente: Elaboración propia.....</b>	<b>60</b>
<b>Ilustración 88 Drenes californianos. Fuente: Civogal.....</b>	<b>60</b>
<b>Ilustración 89 Sección cuneta de berma. Fuente: Elaboración propia.....</b>	<b>60</b>
<b>Ilustración 90 Vista de la ubicación de los drenes longitudinal superficial y transversal 1 y 2. Fuente: Google Earth.....</b>	<b>61</b>
<b>Ilustración 91 Sección de las bajantes usadas para el dren transversal 1 y 2.....</b>	<b>61</b>
<b>Ilustración 92 Esquema de muro de mampostería ordinaria tosca. Fuente: Tipología de muros de carreteras. ....</b>	<b>61</b>
<b>Ilustración 93 Frente del esquema de plantación recomendada. Fuente: Jorbá y Vallejo, 2010. ....</b>	<b>63</b>
<b>Ilustración 94 Perfil del esquema de plantación recomendable. Fuente: Jorbá y Vallejo, 2010. ....</b>	<b>64</b>
<b>Ilustración 95 Vista aérea de las zonas a restaurar. Fuente: Google Earth. ....</b>	<b>64</b>
<b>Ilustración 96 Manzanilla. Fuente: Elaboración propia.....</b>	<b>66</b>
<b>Ilustración 97 Cebada. Fuente: Elaboración propia.....</b>	<b>66</b>
<b>Ilustración 98 Uña de gato. Fuente: Elaboración propia. ....</b>	<b>66</b>
<b>Ilustración 99 Pino carrasco. Fuente: Elaboración propia. ....</b>	<b>67</b>
<b>Ilustración 100 Chaparro. Fuente: Elaboración propia. ....</b>	<b>67</b>
<b>Ilustración 101 Olivo. Fuente: Elaboración propia.....</b>	<b>67</b>
<b>Ilustración 102 PEM de las tareas a realizar. Fuente: Elaboración propia.....</b>	<b>69</b>





**ÍNDICE DE TABLAS:**

<b>Tabla 1 Resultados del análisis a compresión simple.....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 2 Resultados del ensayo de alterabilidad.....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 3 Resultados del ensayo de alterabilidad.....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 4 Variaciones de peso obtenida en el ensayo de alterabilidad.....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 5 Resultados obtenidos en el ensayo de densidad. ....</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 6 Resultados de la velocidad de onda en muestras de caliza. ....</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 7 Resultados del Módulo de Young y Coef.Poisson, en función de los tiempos de onda y la velocidad de impulso. ....</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 8 Matriz de decisión de las variables o criterios. Determinación de pesos por el método SAATY (EMC) .....</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 9 Pesos de las variables o criterios. ....</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 10 Criterio de ponderación.....</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 11 Subcriterios de la variable 1.....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 12 Matriz de decisión respecto a la variable 1.....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 13 Pesos de las alternativas respecto a la variable de impacto ambiental. ....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 14 Subcriterios de la variable 2.....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 15 Matriz de decisión respecto a la variable 2.....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 16 Pesos de las alternativas respecto a la variable social.....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 17 Subcriterios de la variable 3.....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 18 Matriz de decisión respecto a la variable 3.....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 19 Pesos de las alternativas respecto a la variable de adecuación y facilidad constructiva. ..</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 20 Subcriterios de la variable 4.....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 21 Matriz de decisión respecto a la variable 4.....</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 22 Pesos de las alternativas respecto a la variable económica. ....</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 23 Matriz de decisión de las variables después del análisis de sensibilidad.....</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 24 Valores de los pesos de las alternativas después del análisis de sensibilidad.....</b>	<b>53</b>



## ÍNDICE DE GRÁFICAS:

<b>Gráfica 1 Ejemplo de muestra de resultado del programa. Fuente: Aplicación de registro de datos Pundit Lab+ .....</b>	<b>33</b>
<b>Gráfica 2 Relación tensión-deformación.....</b>	<b>34</b>



## 1.INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

La zona de estudio (Ilustración 1) se encuentra cerca de la población Aras de los Olmos, más concretamente, en el trazado de la carretera CV-363. Donde el 4 de Julio del 2019 tuvo lugar un desprendimiento en el P.K. 2+800. Este ocurrió durante las tareas de mantenimiento que estaban realizando dos operarios. Los operarios se encontraban en una grúa haciendo tareas de mantenimiento, más concretamente, tareas de estabilización de la ladera. El desprendimiento, se cobró la vida de estos dos operarios y obligó a cortar el tráfico de la CV-363 entre Losilla de Aras y Ademuz, por la Puebla de San Miguel.

Este tramo, perteneciente a la Red Provincial de Carreteras, discurre entre las poblaciones de Losilla y la Puebla de San Miguel. Este tramo, consta de dos carriles, uno para cada sentido que no están señalizados, con una anchura aproximada de 2,5 metros para cada carril. En cuanto a la configuración de la carretera se tiene la configuración en planta y en alzado. En planta predominan alineaciones rectas con curvas de 180°. En el alzado, se tiene un tramo que transcurre por una ladera, con bastante pendiente. Este tramo permite salvar un desnivel de unos 160 metros con una pendiente media del 5%. También, se ha observado que en las curvas ha sido donde más pendiente se ha visto. Es por esto que las curvas son de 180° y además tienen una visibilidad reducida.

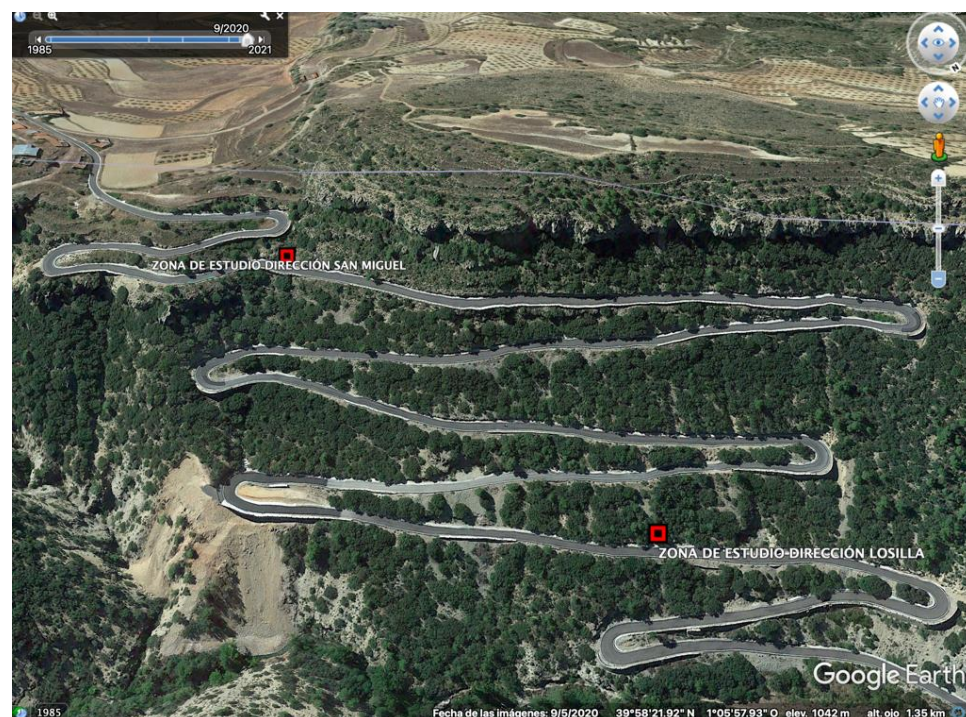


Ilustración 1 Imagen satélite de la zona de estudio. Fuente: Google Earth

A lo largo de todo el recorrido se observa que hay zonas que carecen de cunetas. En cuanto a los arcenes, no se observa ningún tipo de arcén a lo largo de toda la travesía.

A lo largo de todo el tramo se aprecian señalizaciones verticales, que indican el tipo de carretera o la proximidad de una curva. También se pueden encontrar señalizaciones para los ciclistas, que indican la pendiente o la distancia recorrida. Se pudo observar tanto en el firme como en las cunetas material que había caído de la ladera. en la mayor parte del tramo no hay arcenes, pero sí obras de drenaje transversal y longitudinal.

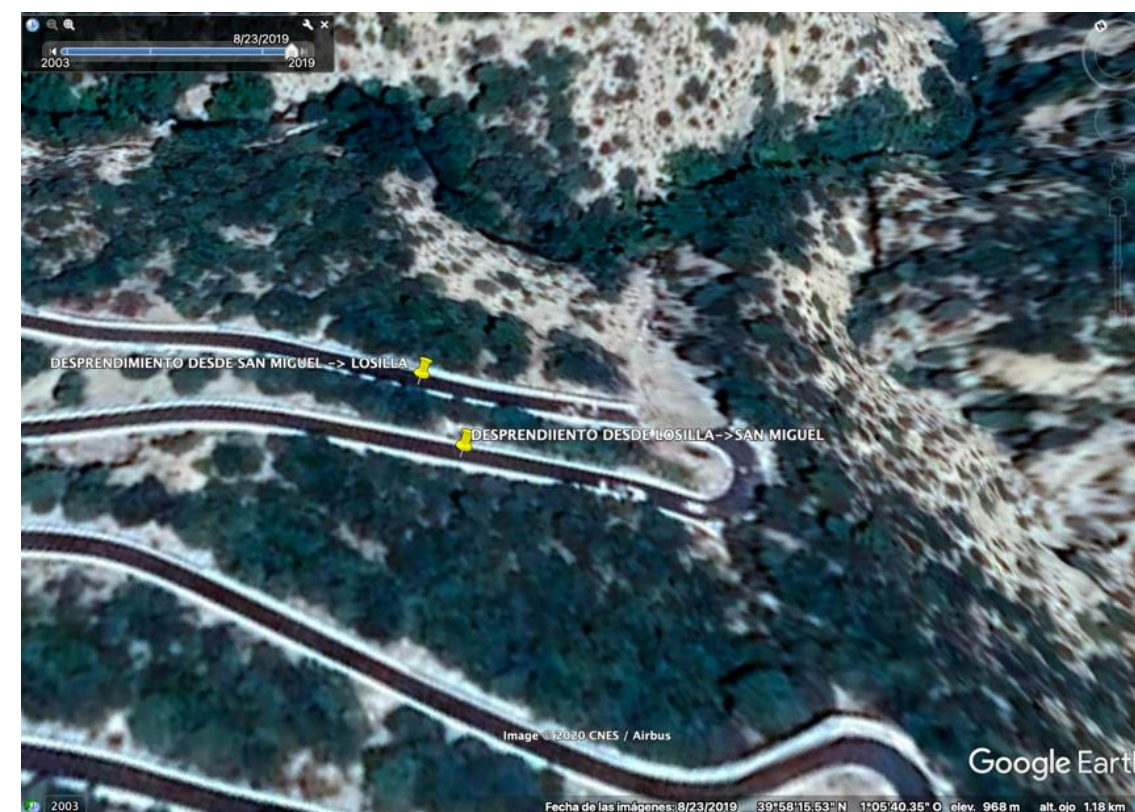


Ilustración 2 Zona del desprendimiento. Fuente: Google Earth

En cuanto a la zona del desprendimiento, (Ilustración 2) se puede decir que tras el brutal accidente, que se cobró la vida de dos personas, el estado de la carretera era nefasto, así como la estabilidad de la ladera. Por ello se llevó a cabo un proyecto de emergencia. Este proyecto que fue impulsado desde el área de Carreteras e Infraestructuras de la Diputación de Valencia consistía en la reconstrucción de la calzada en el tramo donde se produjo el desprendimiento, así como de la construcción de un muro de hormigón para conseguir la estabilización de la ladera y proteger a los usuarios de futuros desprendimientos, así como a los trabajadores, durante la ejecución de la carretera.





Este proyecto era de gran dificultad técnica por la complejidad geológico-geotécnica de la ladera en la que se han ejecutado las obras. También hay que destacar que era necesario disponer de información previa para definir la solución con las máximas garantías de seguridad tanto para los trabajadores como para los usuarios. Los trabajos comenzaron en septiembre de 2019 mediante la realización de una campaña geológico-geotécnica de reconocimiento del terreno, teniendo en cuenta las dificultades intrínsecas al ámbito de ejecución de las obras en la ladera del valle fluvial del río Arcos, un entorno de accesibilidad de maquinaria muy limitada por la geometría del trazado, tanto en planta como en alzado, con curvas reducidas que impiden el acceso de la maquinaria habitual de construcción.

Una vez finalizado el estudio del terreno y la accesibilidad de las obras, priorizando la seguridad de los trabajadores durante la reconstrucción, así como de los usuarios de la vía tras la rehabilitación, se optó por la realización de un conjunto de pantallas de micropilotes que, cimentados a la profundidad adecuada, definen una zona estable de trabajo para excavar y realizar el nuevo muro de contención que sostenga la plataforma de la carretera. Los trabajos, en avanzado estado de ejecución, han finalizado ya el complejo proceso de cimentación, que ha dado paso al alzado del muro de contención. Tras levantar el muro, los operarios de Carreteras procederán al relleno con material drenante, la restauración de los accesos y la repavimentación, antes de la señalización vial y el balizamiento que completen la obra y permitan la reapertura de la carretera.

En paralelo a esta actuación en el trayecto hacia Ademuz por la Puebla de San Miguel, la Diputación de Valencia inició recientemente las obras de acondicionamiento de la carretera CV-363 en el tramo comprendido entre Mas del Olmo y Ademuz. Esta actuación, con una inversión de 1,5 millones de euros y un plazo de ejecución de 8 meses, culmina el plan para la mejora de las carreteras de la red local en el Rincón de Ademuz iniciado en 2014.

Este proyecto de emergencia tuvo una inversión final de 1.985.500 € y finalizó en julio del 2020, con lo que la reapertura de la vía se producirá a finales del mismo mes, una vez reconstruida la calzada con las máximas garantías de seguridad en el P.K. 2+800 donde se registró el desprendimiento.

### **1.2 Objeto del estudio**

Como trabajo destinado a la consecución del título de Ingeniero Civil, este estudio, pretende analizar las distintas técnicas que existen para la estabilización de laderas y ver cual es la más adecuada para la zona de estudio, teniendo en cuenta el tipo de terreno que hay en la zona, para ello se realiza un estudio geológico-geotécnico, viendo posibles zonas de desprendimiento o patologías en la ladera. También se tiene en cuenta la climatología, la orografía, así como también la integración paisajística de la solución en la carretera CV-363, P.K. 2+800. Para llevar a cabo esto, el alumno encargado de la realización del proyecto tendrá que aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de las distintas asignaturas de la titulación de Grado en Ingeniería Civil, mediante la elaboración de un trabajo de fin de grado (TFG).

### **1.3 Metodología de trabajo**

Para la realización de este Trabajo de Fin de Grado, el proceso se ha dividido en 3 fases.

Fase 0:

En esta fase se recopilará toda la información posible, para así poder entender que ha ocurrido y que solución se ha adoptado, para así posteriormente poder realizar un análisis de este problema. También se comentan las posibles técnicas de estabilización de laderas que son viables para este problema en concreto.

Fase 1:

Se realiza una visita de campo, familiarizarse con el entorno en el que se va a trabajar, ver los posibles problemas que existen con más detalle, ver la solución adoptada y realizar un buen análisis de la geología local. En la visita se recorrerá todo el tramo de estudio para ver su estado y recoger alguna muestra para posteriormente someterla a ensayos de laboratorio y saber así realmente el estado de la ladera.

Fase 2:

En esta última fase se procede a realizar el estudio de las diversas soluciones, viendo cual es la más viable en cuanto a coste de construcción y de mantenimiento, tiempo de ejecución e integración paisajística. Finalmente se escoge la solución adecuada y se desarrolla.

### **1.4 Objetivos de desarrollo sostenible**

Este trabajo de fin de grado se alinea con los siguientes objetivos de desarrollo sostenible, según la Agenda 2030:

- 9. Industria, innovación e infraestructura.
- 12. Producción y consumo responsables.
- 13. Acción por el clima.
- 15. Vida de ecosistemas terrestres.

En el *Anejo 5*. Objetivo de desarrollo sostenible (ODS), se describen de forma detalla los motivos por los que este trabajo se alinea con los objetivos de desarrollo sostenible mencionados anteriormente y las metas que se cumplen.

### **1.5 Software Empleado**

Para ver si la ladera del estudio era estable o no se ha usado el programa *Slide2*. Este es un programa de análisis de estabilidad de taludes en 2D que utiliza el método de equilibrio límite.



## 2. TRABAJOS PREVIOS

### 2.1 Climatología

Tratándose de estudiar la estabilidad de la ladera, es necesario hacer mención de la climatología, especialmente en lo que se refiere a la frecuencia con la que llueve o nieva y el volumen, a la hora de entender el comportamiento de la zona de estudio y de la solución que se debe de adoptar, para conseguir la estabilidad del talud inestable. Pues el agua juega un papel fundamental en la estabilidad ya que provoca que el nivel freático varíe respecto a las condiciones normales.

La población Aras de los Olmos se encuentra a 933 metros sobre el nivel del mar, la ladera afectada a 1174 msnm. El **clima** en esta zona es generalmente **cálido y templado**.

A continuación, se muestra una gráfica (Ilustración 3) con los datos más significativos de precipitaciones y temperaturas medias, que se han registrados en Aras de los Olmos cada mes durante los últimos 30 años.

Se observa que la **precipitación** en Aras de los Olmos es **significativa**, está presente durante todos los meses del año, con precipitaciones incluso durante el mes más seco, a pesar de esto no se considera que sea un clima húmedo. Además, se muestra de una forma muy visual la ventana operativa a la hora de realizar tareas de mejora de la estabilidad o tareas de mantenimiento, que sería desde finales de abril hasta principios de noviembre.

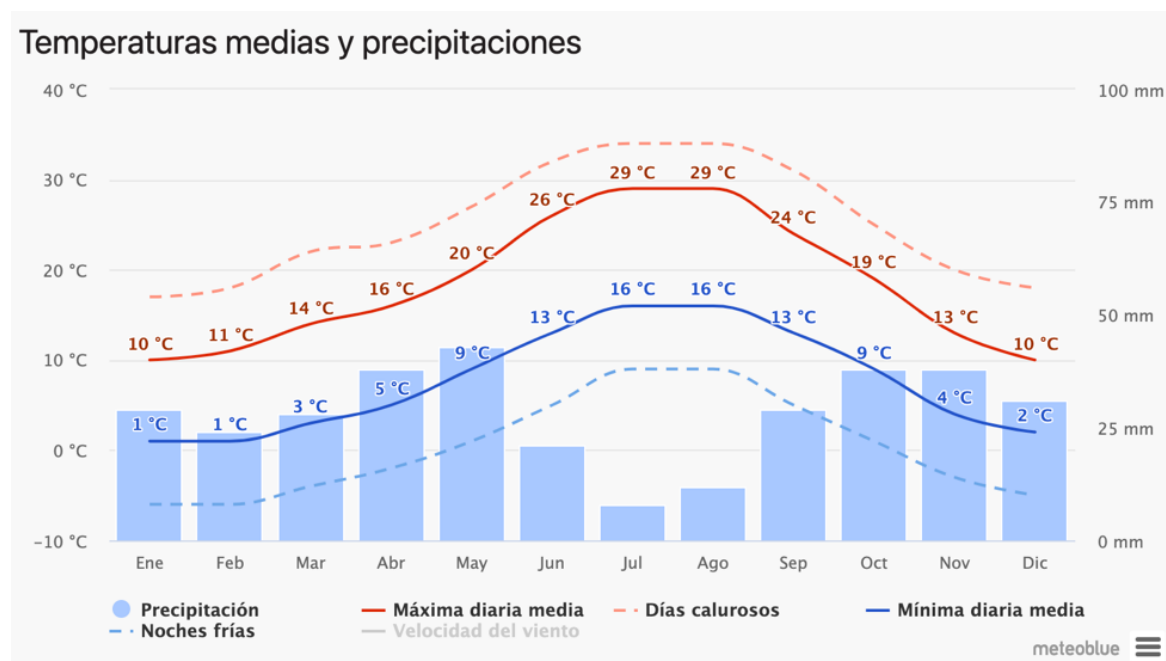


Ilustración 3 Temperaturas medias y precipitaciones. Fuente: Meteoblue.

En cuanto a las **temperaturas**, se observa (Ilustración 3) que las mínimas están muy cerca de los 0°C en los meses de invierno, mientras que las máximas rondan los 30°C los meses de verano. Esto es propio de un **clima extremo**. En el siguiente Ilustración 4 además de mostrar las temperaturas máximas, muestra también los días con heladas, esto es de suma importancia, pues a la hora de realizar tareas de mantenimiento influye en el método o el tipo que se utilice.

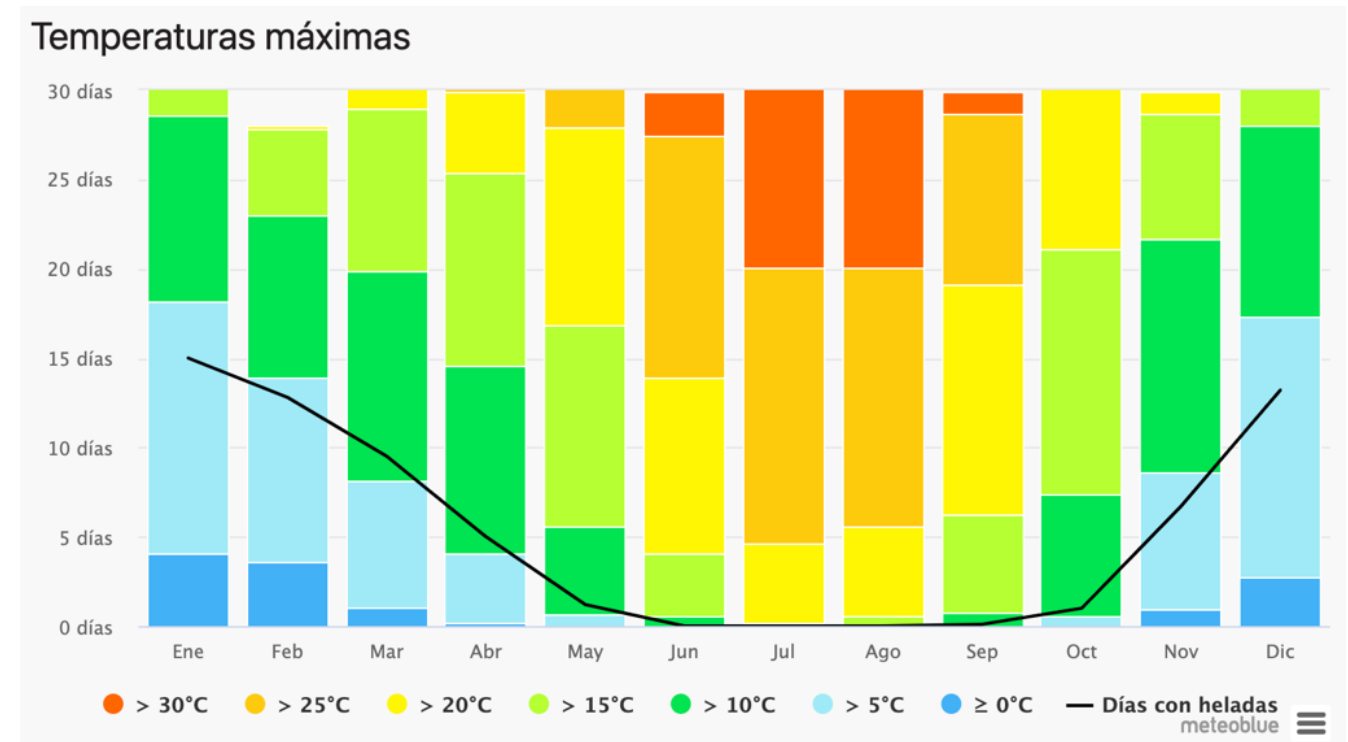


Ilustración 4 Temperaturas máximas. Fuente: Meteoblue.

### 2.2 Sismicidad

Se ha estudiado el mapa de peligrosidad sísmica, incluido en el Capítulo II de la “Norma de Construcción Sismorresistente Española NCSE- 02” ( Real Decreto 997/2002 del 27 de Septiembre), (Ilustración 5) y el listado incluido en su anejo I, donde figura los términos municipales con valores de la aceleración sísmica básica mayores o iguales a 0,04g, junto con los valores del coeficiente de contribución K.

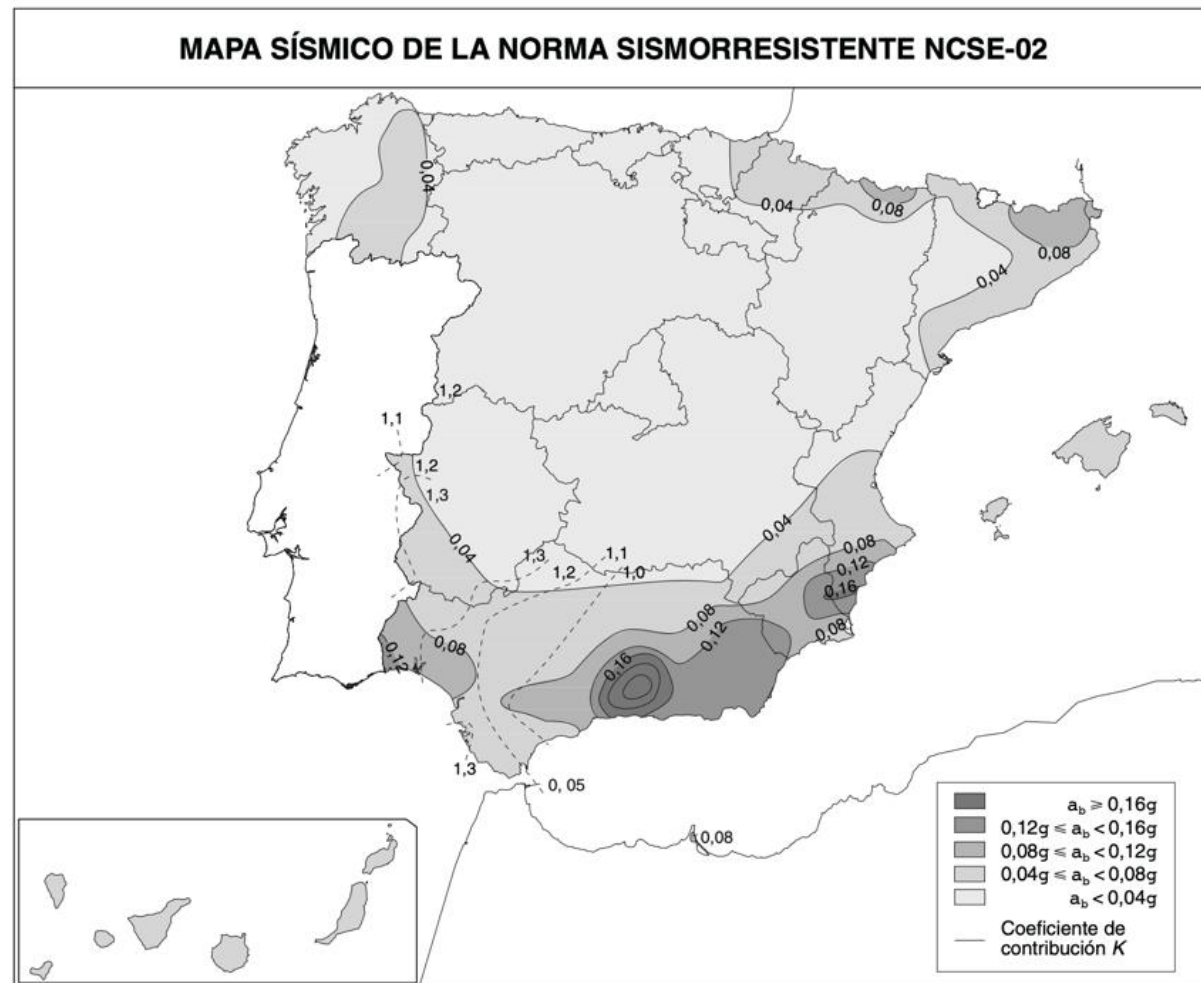


Ilustración 5 Mapa sísmico de España. Fuente: Norma Sismorresistente NCSE-02

Se comprueba que los términos municipales afectados por la traza de la CV-363 se encuentran en una zona donde la aceleración sísmica básica ( $a_b$ ) es inferior a  $0,04g$ , y por tanto, **no es de obligada aplicación** la mencionada Norma de Construcción Sismorresistente.

### 2.3 Geomorfología

La ladera que se va a estudiar se encuentra en la CV-363 en el P.K. 2+800. En la margen derecha en dirección a Puebla de San Miguel desde Losilla, a 1174 msnm. Con una pendiente media del trazado de la carretera del 5%, y se tiene una pendiente media de la ladera del 36,3%.

La zona corresponde a formaciones de relieve acusado esencialmente carbonatadas, formaciones montañosas que a pesar de ser muy abruptas se consideran estables. Siendo en la actualidad una superficie de terreno, que se caracteriza por ser irregular, caracterizado por la presencia de grandes valles, con fuertes depresiones. Los principales fenómenos geomorfológicos se atribuyen a caída de bloques. La escorrentía fluye por drenajes con condiciones favorables a través de materiales permeables, aunque la infiltración también es aceptable. Las laderas en el área de estudio se caracterizan por fuertes pendientes. La mayoría superan los 25 grados de inclinación, sin embargo, en las zonas más abruptas se alcanzan los 40 grados.

También se puede decir que una gran parte de la zona comprendida entre Aras de los Olmos, Titaguas y Alpuente tienen poca vegetación, esto se debe en parte a los usos del suelo que la población ha llevado a cabo a lo largo de los años. Es por eso que, en este territorio se ha visto un gran desarrollo en el sector primario como la agricultura, dando lugar a una gran deforestación de la zona.

Esto se puede ver claramente en las siguientes imágenes, una del año 2003 (Ilustración 6) y otra del año 2020 (Ilustración 7).



Ilustración 6 Geomorfología de la zona en 2003. Fuente: Google Earth





Ilustración 7 Geomorfología de la zona en 2020. Fuente: Google Earth

Este proceso de darle un nuevo uso al suelo ha provocado que en el paisaje destaquen los rasgos geológicos.

El paisaje geológico de esta zona depende de la naturaleza y disposición de las formaciones de rocas, de las estructuras tectónicas y de la erosión, todos ellos fruto del desarrollo de procesos geológicos. Las rocas pertenecen a dos intervalos estratigráficos distintos. La mayor parte de ellas son anteriores a la formación del Sistema Ibérico, por lo tanto, previas a la creación de los relieves que vemos. Son de las épocas Jurásico Superior – Cretácico inferior (1-2). En su mayor parte son de origen continental y contienen un rico patrimonio de restos de dinosaurios, esto se puede comprobar en el Museo de Alpuente, donde se exponen huesos que se han encontrados en la zona y huellas, como las del yacimiento de Corcolilla.

Dentro de este apartado de morfología hay que destacar también la producción agrícola y ganadera de la zona, pues estas han influido en la evolución del paisaje, dejando a la vista los rasgos geológicos. En las zonas destinadas a la agricultura, se pueden encontrar los siguientes cultivos: cereales, viñedos, almendras o patatas. La zona, tiene una agricultura muy limitada por la climatología.

Esta complejidad física y climática de la Serranía, con zonas de cultivo por encima de los 1.000 metros en su extremo noroeste (Losilla de Aras) y por debajo de los 200 metros en el sureste (Pedralba), hace que su sistema y su producción agraria sea muy diferente en cada una de las subunidades que se distinguen en ella.

Por un lado, está la Serranía Occidental, caracterizada por las Muelas de Alpuente y los valles de Tuéjar y Benagéber. Comprende los municipios de Aras de los Olmos, Titaguas, Alpuente, La Yesa, Benagéber y la mayor parte de los de Tuéjar, Chelva, Domeño y Loriguilla. Aquí las zonas hábiles para la agricultura están por encima de los 800 metros de altitud. Con un clima continental -temperaturas medias inferiores a 5 °C en el mes más frío y heladas en invierno y primavera-, se ha reducido la gama de cultivos a los cereales, las patatas y el viñedo, aunque el almendro también ha conseguido aclimatarse.

## 2.4 Hidrología

Todos los torrentes y barrancos existentes a lo largo de la traza se han encontrado totalmente secos durante la campaña de investigación. Se trata de cursos fluviales de carácter torrencial estacional.

En cuanto a la hidrogeología subterránea no se ha detectado en ningún punto investigado el nivel freático. Los materiales jurásicos aflorantes presentan una permeabilidad media elevada debido a la red de fracturación por diaclasado.

Las intercalaciones arcillo-margosas, al ser niveles impermeables, podrían favorecer la retención de agua en el nivel calcáreo diaclasado superior, o propiciar surgencias de agua. En este sentido no se ha observado a lo largo de toda la zona estudiada ningún tipo de surgencia o fuente actual.

### 3.GEOLOGÍA

Como trabajo destinado a la consecución del título de Ingeniero Civil y tratándose del estudio de soluciones de la estabilización de una ladera, una de las fases de trabajo más significativas y destacada debe ser, sin duda, el estudio de la geología en el entorno del objeto principal del estudio, la carretera CV-363, P.K. 2+800.

Para abordar esta sección se ha seguido el siguiente procedimiento:

1. En primer lugar, se han estudiado las hojas geológicas nº 638 “Alpuente”, publicadas por el IGME. Este estudio proporciona una idea general de la geología a nivel regional y unos breves trazos de las características de los materiales aflorantes en la zona de trabajo, teniendo en cuenta que la escala es muy elevada, 1:50.000.
2. Una vez efectuado el análisis de la geología regional y de las características geológicas zonales de la traza de la CV-363, se ha puesto en evidencia la necesidad de realizar un trabajo de detalle, a escala mucho menor, del entorno geológico de la zona. Con este fin se han realizado varias visitas a la zona en estudio, con propósito de conseguir información sobre la geología local.

[En estas visitas se han recogido datos de la litología de las formaciones aflorantes, grado de meteorización, rasgos estructurales (orientación y buzamiento de los planos de estratificación y diaclasas), etc. así como el tipo y espesor de recubrimientos cuaternarios y rellenos antrópicos y datos referentes a la hidrogeología local. ]

A continuación, se exponen los resultados alcanzados en este proceso, de mayor a menor escala.

#### 3.1 Geología regional

Para la obtención de la geología regional de la zona de estudio se recurre al IGME (Instituto Geológico y Minero de España). Aquí obtenemos la información sobre la geología que nos vamos a encontrar en la zona.

Para realizar esto, se ha usado también la herramienta del Google Earth Pro, donde se ha juntado el mapa geológico que nos proporcionaba el IGME, obteniendo así, la geología de la zona de estudio (Ilustración 8).



Ilustración 8 Mapa geológico de la zona de estudio. Fuente: IGME

- **Jurásico Malm Kimmeridgiense inmediatamente superior**

Está representado por potentes bancos calcáreos, de 40-50 m de espesor total, que dan resaltes inconfundibles en el terreno. Típicamente las microfácies son micritas con oolitos, pisolitos y oncolitos, extraordinariamente abundantes en algunos niveles y con tamaños considerables que indican ambientes marinos agitados. Estos elementos citados de concéntrica textura presentan frecuentemente bioclastos e intraclastos en los núcleos. Se presentan políperos, espongiarios, ostreidos y estructuras algales entre otros. Hacia la base es frecuente la silicificación de los bioclastos, llegándose a la aparición de granaos silíceos irregulares y más excepcionalmente se presentan nódulos de sílex. No son raros los cristales de pirita. El tránsito al Portlandiense se hace intercalando bancos de areniscas, arenas silíceas y calcarenitas. Existe una valoración relativamente grande de espesor y facies en estos bancos entre el extremo Sur y Norte de la hoja.

Tanto en la base como en el techo se ha encontrado microfauna.

Vemos que estamos en una zona en la que predominan las alternancias de calizas microcristalinas y calizas margosas microcristalinas.



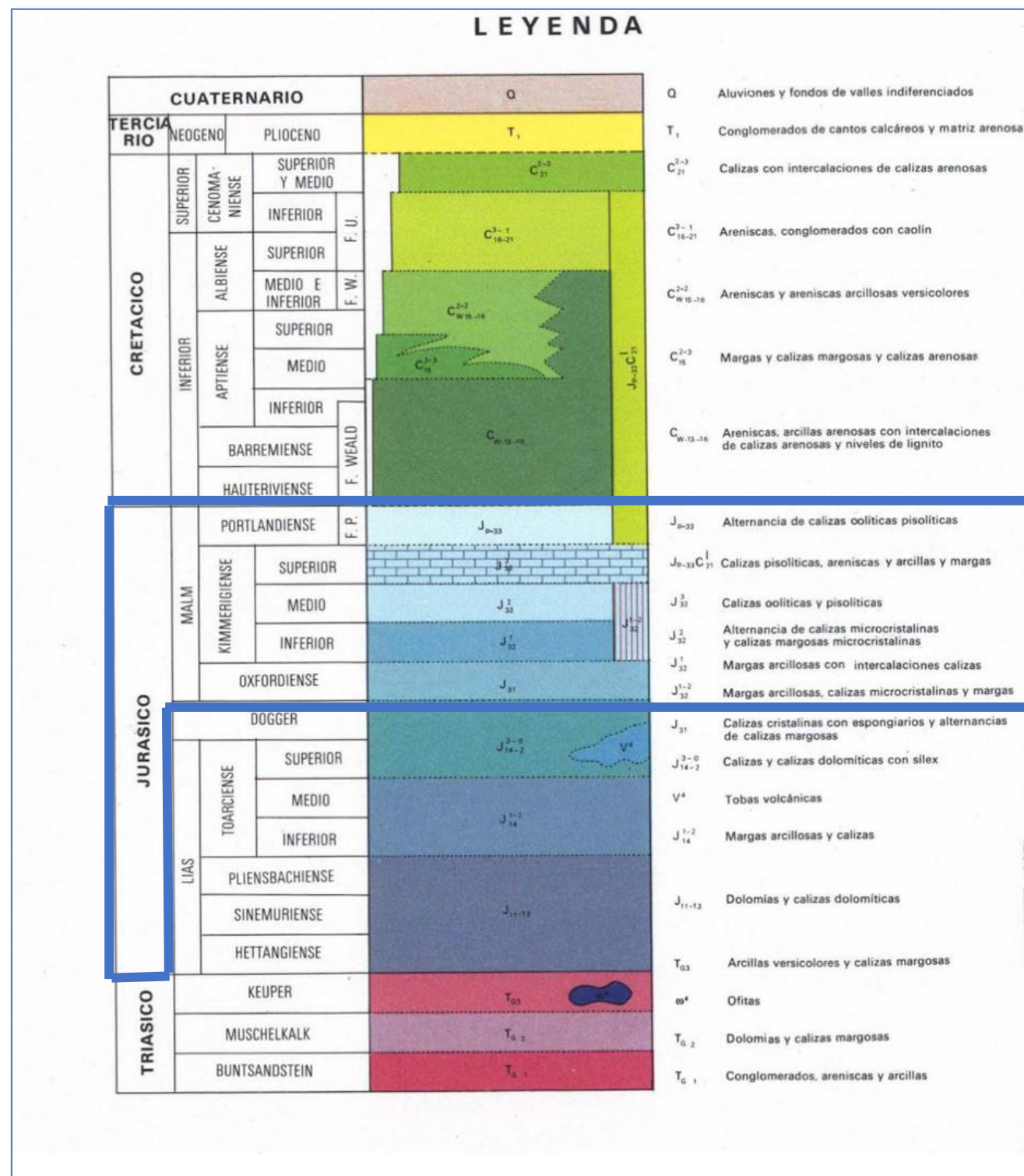


Ilustración 9 Leyenda del mapa geológico. Fuente: IGME

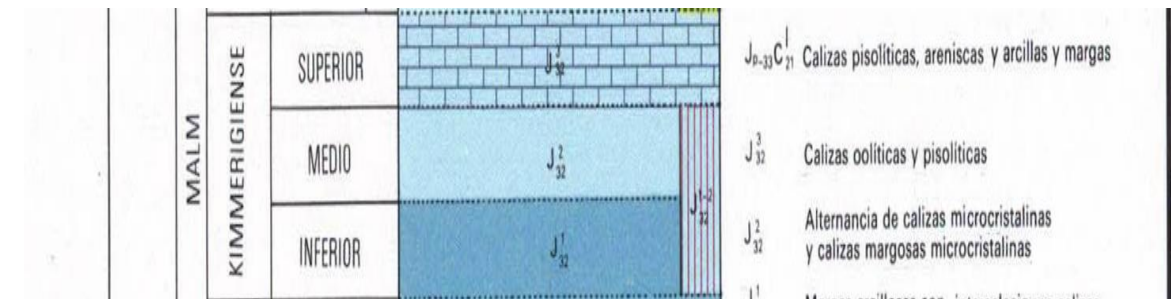


Ilustración 10 Leyenda geológica detallada de la zona. Fuente: IGME

- **Jurásico Malm Kimmeridgiense medio**

La zona de estudio pertenece al jurásico, Kimmeridgiense medio. Este se caracteriza por tener una alternancia monótona de calizas microcristalinas azules en bancos de 10-30 cm, con margas y calizas margo-hojosas en las juntas. No se encuentra prácticamente fauna en este conjunto, cuya potencia está próxima a los 100m. Algunos bancos sí que tienen un espesor superior al metro, particularmente hacia el techo.

- **Jurásico Malm Kimmeridgiense inmediatamente inferior**

En la parte inferior del terreno se ve que el terreno está compuesto por un paquete arcillo-margoso de unos 30 m de potencia, que da erosiones muy típicas sobre el terreno. Se distinguen dos niveles de arcillas principalmente, separados por algunos metros de margas y calizas margosas en lajas. El inferior es el más potente e intercala hacia su base bancos de 10-20 cm de caliza margosa nodulosa con ammonites. Ocasionalmente aparece en la base misma una película limonítica en que pueden encontrarse asociados pequeños ammonites. El superior es algo menos potente y hace tránsito a las calizas margosas hojosas superiores.

### 3.2 Geología local

En este apartado se busca llegar a un mayor grado de detalle en cuanto a los rasgos geológicos de la zona. Es por ello por lo que se realizan varias visitas de campo a la zona del estudio, para poder comprobar que es lo que realmente tenemos en la zona.



En primer lugar, hay que destacar que la orientación de los estratos es horizontal, se veía a simple vista. Además, los estratos buzaban hacia adentro de la matriz rocosa, algo que desde el punto de vista de la estabilidad de la propia ladera es positivo. La información que se ha obtenido de la geología general, proporcionada por el IGME, coincide con lo que se ha visto en la zona. Se aprecian intercalaciones de calizas y margas, con una capa de tierra vegetal en la superficie. Además, en la zona más elevada de la ladera también se aprecian calizas oolíticas y pisolíticas.

Durante todo el recorrido se vio que se iban alternando formaciones de alternancias de calizas y margas con otras que tenían margas bastante alteradas. Se puede ver que se usó un bolígrafo y una libreta tener una idea del espesor de los estratos.

#### 4. TRABAJO DE CAMPO

El 3 de marzo del 2021, se realiza la visita a la zona de estudio, para resolver diferentes cuestiones: contrastar la geología local, tomar muestras para su posterior ensayo en laboratorio, inspeccionar el estado general de la ladera y sobretodo observar de cerca la solución adoptada como la obra de emergencia para la estabilización de la ladera.

Se accede a la ladera una vez pasada la población de Losilla, en dirección Puebla de San Miguel. En esta visita se realiza en primer lugar un recorrido general de toda la ladera, para posteriormente realizar la ascensión de forma más detallada, con paradas en todos los puntos singulares detectados en el primer recorrido.

Al llegar al pie de la ladera, (Ilustración 11) se puede ver un puente, sobre el cauce del Rio de Arcos. Aguas arriba del puente, se observa un antiguo azud actualmente en desuso.



Ilustración 11 Imagen satélite al pie de la ladera. Fuente Google Eath.



En esta zona también se observa un panel informativo (Ilustración 12), donde se puede leer la altura sobre el nivel del mar del punto más alto del puerto, la distancia a la cima, la pendiente media y la pendiente máxima.



Ilustración 12 Panel informativo del puerto de Losilla. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 13 Zona de la que se extrajeron margas. Fuente: Elaboración propia.

Justo en la zona marcada en la Ilustración 13 se toma la primera muestra para analizar, eliminando la capa superficial, pues era material alterado y después se procede a extraer varios fragmentos de margas para someterlos a diversos ensayos. Las muestras que se toman son margas, como se aprecia en la Ilustración 14 la zona superficial es de un color beige, producto de la alteración a la que está sometida la ladera y las muestras que se tomaron son oscuras, de un color grisáceo, color natural de este tipo de roca.





*Ilustración 14 Margas fracturadas. Fuente: Elaboración propia.*

#### **4.1 Arcenes y cunetas**

A lo largo de todo el recorrido se observa que hay partes del trazado de la carretera CV-363 que carecen de cunetas. En cuanto a los arcenes, no se observa ningún tipo de arcén en toda la longitud del trazado que discurre por la ladera.

Las cunetas, una medida de drenaje longitudinal están constituidas por un plano inclinado y un bordillo que la separa del terreno natural. Como se observa en la imagen la cuneta está ocupada por fragmentos de roca o vegetación (Ilustración 15).



*Ilustración 15 Cuneta ocupada por fragmentos de roca. Fuente: Elaboración propia.*





*Ilustración 16 Bordillo de contención inexistente. Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 17 Cuneta. Fuente: Elaboración propia.*

Las cunetas están invadidas en muchas zonas por fragmentos de rocas desprendidos de la ladera (Ilustración 16) y el mencionado bordillo no es continuo (Ilustración 17).



#### 4.2 Drenaje transversal

Se comprueba que existen varias obras de drenaje transversal distribuidas por todo el trazado, algunas antiguas, realizadas de mampostería (Ilustración 18 e Ilustración 19) y otras más nuevas, ejecutadas mediante hormigón (Ilustración 20).



Ilustración 18 ODT de mampostería Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 19 ODT con gran acumulación de sedimentos. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 20 ODT de hormigón. Fuente: Elaboración propia.

Las obras de drenaje transversal tienen como finalidad evacuar el agua que cae por la ladera de forma perpendicular a la carretera y evacuar el agua de las cunetas, es decir de las obras de drenaje longitudinal. En la zona se aprecian bastantes, además se ve que sería necesaria una limpieza de estas, (Ilustración 19) pues como se ve en las imágenes, hay bastante vegetación que podría dificultar la evacuación del agua. Se pueden ver también algunas obras de drenaje transversal, que, por su ejecución y diseño, a la larga generarán una importante erosión en la zona donde desemboca el agua. Haciendo así que la ladera sea más propensa a erosionarse y vaya perdiendo material.





*Ilustración 21 ODT. Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 22 ODT en la zona del desprendimiento. Fuente: Elaboración propia.*

También se observa otra obra de drenaje transversal de grandes dimensiones, relativamente nueva, (Ilustración 22) probablemente ejecutada a la vez que el muro de hormigón armado. Esta ODT requiere que se añada otra reja con apertura menor para evitar que los fragmentos de roca y restos de vegetación saturen el interior, inutilizándolo. Esta obra de drenaje transversal fue la única en la que se detectaron rastros de agua (Ilustración 23). En su desembocadura, no se ven signos aparentes de la salida del agua.





Ilustración 23 ODT en la zona del desprendimiento. Fuente: Elaboración propia.

### 4.3 Patologías en la calzada

A pesar de ser evidente, que en este tramo se han realizado tareas de mantenimiento y mejora del trazado como por ejemplo el asfalto, por su color oscuro se advierte que es relativamente nuevo, además de que no se aprecian patologías propias de la zona como por ejemplo, roturas debidas a bajas temperaturas, es decir, una fisura longitudinal central, estas se originan por una penetración diferencial de las heladas en la parte central de la calzada debido al poder aislante de la nieve acopiada en los bordes de la calzada o deformaciones como protuberancias también debidas a la acción del hielo o al entumecimiento de materiales por absorción del agua. Hay que destacar que tampoco se ven baches, algo que en esta zona en concreto sería muy común, pues esta patología está relacionada con el desprendimiento de material.

También se pudo apreciar la ampliación de algunas curvas, debido a un parque eólico que hay por la zona. Se aumentarían los radios para facilitar el transporte de la maquinaria necesaria, así como de los aerogeneradores.

Pero a pesar de esto, se observan ya algunas oquedades en el asfalto, producidas por el desprendimiento y caída de fragmentos de roca a la calzada, ya que se observa el punzonamiento (Ilustración 24) en el asfalto, producido por el impacto de rocas, así como el levantamiento de las marcas viales o la decoloración del trazado. Además de fragmentos de roca que están en el propio trazado, como ya se ha comentado en el apartado de “arcenes y cunetas”.



Ilustración 24 Estado del firme, punzonamiento. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 25 Estado del firme. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 26 Estado del firme. Fuente: Elaboración propia.



#### 4.4 Geología de detalle.

En primer lugar, hay que destacar que los estratos presentan inclinación horizontal o subhorizontal. Existen además dos familias de discontinuidades perpendiculares entre si y ortogonales al plano de estratificación de manera que el macizo aparece muy fracturado, (Ilustración 28) debido a esto no se realizan estaciones geomecánicas. El buzamiento poco significativo es hacia dentro del talud lo que elimina la posibilidad de que se den roturas de cuña o vuelco, los desprendimientos, sin embargo, son muy frecuentes.

La información que se obtiene de la geología general, proporcionada por el IGME, coincide con lo que se ha visto en la zona. Se aprecian intercalaciones de calizas y margas, con una capa de tierra vegetal en la superficie. Además, en la zona más elevada de la ladera también se aprecian calizas oolíticas y pisolíticas. Durante todo el recorrido se observa que se van alternando formaciones de alternancias de calizas y margas con otras que tienen margas bastante alteradas (Ilustración 27). La libreta que aparece en la Ilustración 28 proporciona una idea de las dimensiones de los bloques de rocas resultantes de las tres familias de discontinuidades (dos más la estratificación) anteriormente mencionadas.



Ilustración 27 Estratos de margas y calizas. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 28 Potencia de los estratos. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 29 Dirección de los estratos. Fuente: Elaboración propia.



#### 4.5 Obra de emergencia

En el entorno del P.K. 2+800 de la carretera CV-363, se puede ver la solución adoptada como obra de emergencia para estabilizar la ladera, (Ilustración 30) un muro de hormigón armado de unos 10 m de altura media, ya que la altura va variando, en cuanto al ancho por lo que se puede ver, es de unos 0,7 m. El muro presenta drenes para la evacuación del agua.

Al pie del muro se observa lo siguiente: en primer lugar, se aprecia la base del muro que no está enterrada (Ilustración 31). También se ve en esta misma zona, pero en el terreno sobre el que apoya el muro **grietas de tracción** de una magnitud considerable, (Ilustración 31) significando lo que puede ser una evidencia de que la ladera por debajo del muro está comenzando a debilitarse lo que podría dar lugar a que colapse y rompa, arrastrando al muro. Se aprecia también bastante humedad en la base del muro, probablemente debido a que los drenes no están funcionando, pues no se ven marcas típicas de la evacuación del agua por los drenes del muro. Si a todo esto le sumamos que, a menos de un metro del intradós del muro hay una considerable pendiente. Todo esto hace pensar que es necesario un nuevo análisis de la situación de la ladera.



Ilustración 30 Muro de hormigón armado, la solución adoptada. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 31 Grietas de tracción al pie del muro. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 32 Trazado de la zona afectada. Fuente: Elaboración propia.



En esta misma zona, se ve también una obra de drenaje transversal (Ilustración 22) que desemboca justo a la derecha del muro, pero al igual que ocurre en los drenes del muro, no se aprecian rastros de que el agua este saliendo por esa desembocadura. Justo al lado de esta obra de drenaje transversal se pueden apreciar bastantes signos de la presencia del agua, como por ejemplo, moho, colores oscuros, algo que hace indicar que realmente esa obra de drenaje transversal no es suficiente.

#### 4.6 Otras medidas de estabilización de ladera

Esta ladera ha sido sometida a diversas tareas de mantenimiento para conseguir una estabilidad óptima y evitar desprendimientos en algunas zonas, ya que en otras zonas se puede ver que es necesario llevar a cabo algunas tareas de mantenimiento como mallas metálicas de triple torsión, o la colocación de pequeños muros de mampostería para sujetar zonas donde la erosión diferencial es importante.

- Se puede observar que algunos muros ya han sufrido daños y se han reparado, pues hay una clara diferencia de tonos y fábrica (Ilustración 33).



Ilustración 33 Muro de mampostería reparado. Fuente: Elaboración propia.

- La técnica que más se ha llevado a cabo para la estabilización de la ladera es la de realizar muros de mampostería con anclajes autoperforantes y mallas metálicas de triple torsión (Ilustración 34). Esto a priori esta dando buenos resultados, aunque en algunas zonas se pueden ver que en el muro se forman “panzas” una patología propia de estos muros que debería de solucionarse con el derribo de la parte afectada y la reconstrucción.



Ilustración 34 Muro de mampostería reforzado con anclajes autoperforantes y muro de escollera. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 35 Detalle de los anclajes y la malla. Fuente: Elaboración propia.





Ilustración 36 Patología típica del muro de mampostería: panzas. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 38 Detalle de la malla. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 37 Detalle de la sujeción de la malla. Fuente: Elaboración propia.

- Se observan también contrafuertes (Ilustración 39). Estos están en buen estado, realizando de una forma adecuada su función.



Ilustración 39 Contrafuerte. Fuente: Elaboración propia.





Ilustración 40 Grupo de contrafuertes. Fuente: Elaboración propia.

- Otra solución observada en la zona es la colocación de muros de escollera, por delante de algunos muros de mampostería (Ilustración 41). Pero aún llama más la atención que estos muros estén colocados en la misma zona, pero en distintas alturas. Además, la ejecución completamente vertical de esta tipología de muros llama la atención, pues normalmente estos se colocan de forma escalonada, siendo la base la de mayor superficie y disminuyendo la superficie de las capas superiores de escollera e inclinados hacia dentro del talud. También se puede observar que hay lechadas de cemento en el propio muro, (Ilustración 42) probablemente para aumentar la estabilidad del propio muro.



Ilustración 41 Detalle, muro de escollera. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 42 Acabado del muro de escollera. Fuente: Elaboración propia.



- Muros de mampostería pequeños que sirven de sujeción en aquellas zonas que han sufrido una gran erosión diferencial (Ilustración 43). Esta medida se integra perfectamente en el propio paisaje, además de ser una solución de fácil construcción, económica y de sencillo mantenimiento.



Ilustración 43 Muro de mampostería, para sostener la zona afectada por la erosión diferencial. Fuente: Elaboración propia.

- Mallas de hidrosiembra (Ilustración 44). En ciertas zonas se puede observar que se han colocado mallas de para una hidrosiembra, pero esta no ha funcionado. Se detecta que estas mallas actualmente están realizando la función de una malla metálica de triple torsión, algo para lo que no están destinadas. Además, algunas de ellas ya se están rompiendo por la parte inferior (Ilustración 45).



Ilustración 44 Mallazo para la hidrosiembra. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 45 Rotura de la maya por exceso de peso. Fuente: Elaboración propia.



#### 4.7 Conclusiones y recomendaciones

Esta visita de campo en el PK. 2+800 de la carretera CV-363 entre Losilla y la Puebla de San Miguel (Valencia) se realiza para comprobar si la información proporcionada por el IGME concuerda con lo que realmente hay en la zona. También para realizar el estudio de la geología local, pues la escala que utiliza el IGME es poco precisa, pues es de 1:50000. Además, esta visita sirve para ver realmente como está la zona de estudio y los problemas que hay en la actualidad.

Finalizada la visita se pueden decir las siguientes conclusiones y recomendaciones.

1. La información obtenida en el IGME es correcta, se han encontrado alternancias de margas y calizas.
2. El estado de las cunetas, en bastantes tramos está obstruido por fragmentos de roca, por lo que se recomienda una limpieza.
3. Las ODT (obras de drenaje transversal), se recomienda la limpieza de estas, así como la revisión de alguna desembocadura, pues hay una altura libre demasiado elevada, lo que originará llevar a una erosión en la desembocadura.
4. El estado del firme, que es nuevo, presenta patologías por punzonamiento, se recomienda la colocación de mallas en la ladera para detener los desprendimientos antes de que accedan a la calzada.
5. Hay muros de mampostería que presentan movimientos relativos de las piezas, se deberían reparar, reconstrucción de los muros afectados.
6. Las mallas de hidrosiembra no están cumpliendo su labor, se recomienda por lo tanto realizar una nueva hidrosiembra o colocar unas mallas adecuadas que trabajen de una forma correcta en la contención de sedimentos.
7. Los estratos son prácticamente horizontales, por lo que esto contribuye de forma positiva a la estabilidad de la propia ladera.
8. El muro de hormigón armado es la solución que se ha adoptado como obra de emergencia para solucionar los problemas de estabilidad en la ladera. Se recomienda un estudio de la situación estructural del muro, pues al pie de este están apareciendo grietas de tracción. Además, se aconseja revisar el diseño del drenaje del muro, pues los drenes sino presentan signos de que el agua circulara por ellos
9. Se recomienda sanear las zonas donde la erosión diferencial es importante.
10. La ladera no presenta signos de que el nivel freático esté cerca de la superficie.

## 5. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL TERRENO

El presente capítulo describe los materiales que se encuentran en la zona del estudio y sus características, que se obtienen sometiendo las muestras a ensayos de laboratorio. Puesto que no se dispone de información referente a la geotecnia, resistencia o estabilidad del suelo se decide aprovechar la visita de campo para obtener muestras para que, tras someterlas a diversos ensayos, proporcionen una idea del estado de la matriz rocosa de la ladera del estudio. Todos los ensayos se han realizado conforme a la normativa vigente siguiendo las indicaciones del libro: *Geotecnia Ensayos de campo y de laboratorio*, AENOR.

### 5.1 Descripción de los trabajos

Después de la toma de muestras que se realiza en la visita de campo, se procede a realizar los ensayos pertinentes a las muestras de margas y calizas. Las margas se ensayan tal y como se extrajeron de la ladera, mientras que, de las calizas, que se cogió una muestra de gran volumen, se obtuvieron 7 probetas (Ilustración 46). Posteriormente se escogen las 4 mejores probetas para la realización del ensayo de resistencia a compresión simple. Con las muestras de margas, se escogen 6 muestras en buen estado y de un tamaño adecuado para los ensayos que se habían planificado realizar.



Ilustración 46 Roca caliza de donde se extraen las probetas a estudiar. Fuente: Elaboración propia





Ilustración 47 Muestras de margas y calizas para el ensayo de densidad. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 48 Muestras de margas para el ensayo de alterabilidad. Fuente: Elaboración propia.

Se determinó que era necesario realizar 4 ensayos diferentes, para obtener así los datos que permitieran realizar un análisis adecuado de la zona de estudio:

Muestras de Caliza:

- Resistencia a compresión simple.
- Ensayo de alterabilidad estática.
- Ensayo de densidad (Ilustración 47).
- Ensayo de ultrasonidos (Ondas P y S)

Muestras de Marga:

- Ensayo de alterabilidad estática (Ilustración 48).
- Ensayo de densidad.

A continuación, se detalla el procedimiento de ensayo, en primer lugar, y los resultados alcanzados a continuación

## 5.2 Procedimiento de ensayo

### RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE

En primer lugar, se determinan los parámetros de deformabilidad de la roca caliza, el módulo de elasticidad (Young) y el coeficiente de Poisson mediante las curvas tensión-deformación así como la resistencia a compresión uniaxial de probetas de roca con forma cilíndrica regular. Las probetas deben tener una relación altura/diámetro entre 2.5 a 3.0. Para alcanzar las formas citadas, los testigos de roca se han cortado mediante sierra de corte, y para garantizar la perpendicularidad las caras laterales se han torneado y pulido mediante plato abrasivo con refrigeración de agua con taladrina. Las probetas se han secado en estufa hasta masa constante a temperatura 75°C.

Para la medida de las deformaciones durante el ensayo de compresión se utilizan cuatro galgas extensiométricas de 30 mm de la casa comercial TML (factor de galga F de  $2.13 \pm 0.1$ ) (Ilustración 49), dos para la medida de las deformaciones axiales y dos para las diametrales colocadas en la sección central de las probetas (Ilustración 50).

Para la aplicación de la carga axial se ha utilizado una prensa servo-hidráulica de 2000 kN, provista de cuatro columnas MODELO MECANICA CIENTIFICA 285200, equipada con un sistema de adquisición de datos de la fuerza y de las galgas extensiométricas (Ilustración 51). La velocidad de aplicación de la carga ha sido de 1,25 kN/s, hasta que se alcanza la rotura de las probetas. Con los datos registrados de tensión-deformación, se obtienen los valores de módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson según el



criterio de módulo tangente, valores de deformación tomados a un nivel de tensión igual al 50% de la resistencia a compresión uniaxial final.



Ilustración 49 Etiqueta informativa de las bandas extensiométricas usadas en el ensayo a compresión simple. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 50 Colocación de las bandas a la P2. Fuente: Elaboración propia.

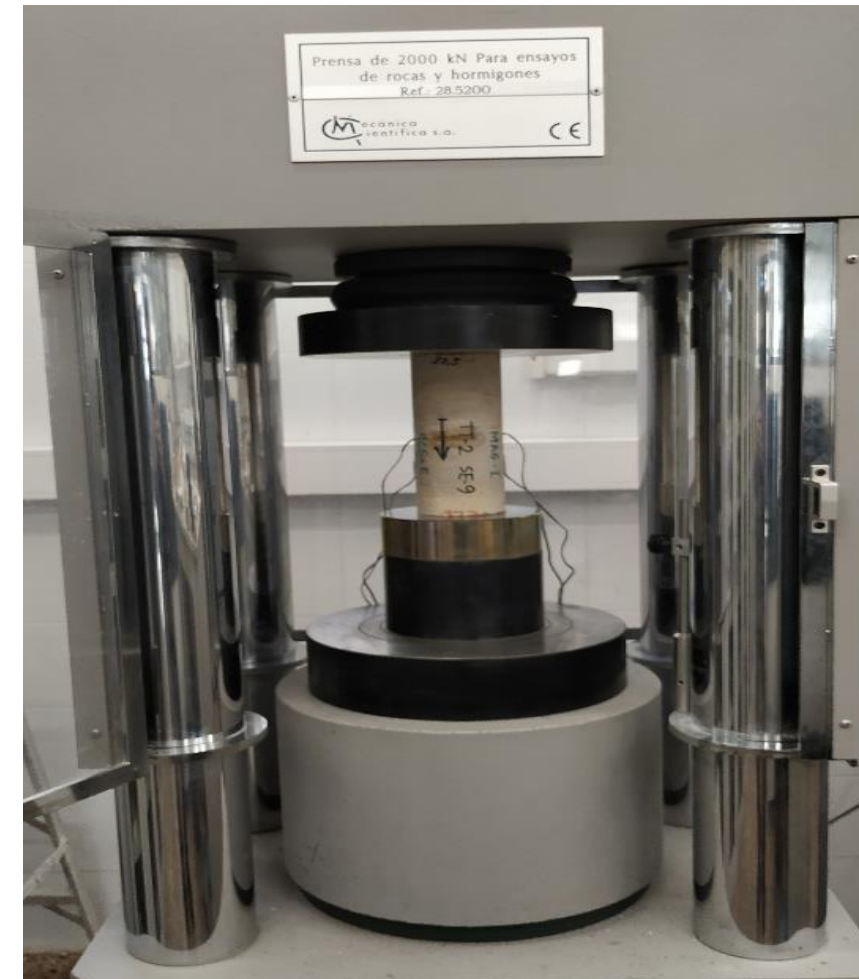


Ilustración 51 Prensa de 2000 kN. Mod. 285200 M.CINETÍFICA. Fuente: Elaboración propia.

Para la realización de este ensayo, se escogieron las 4 probetas que estaban en mejor estado y se denominaron P1, P2, P3 y P4. (Ilustración 52).

Se tomaron de cada probeta diversas mediciones. Con objeto de calcular su volumen y, por tanto, determinar la densidad, se han medido dos diámetros en la parte superior, en la parte media y en la parte inferior mediante pie de rey de precisión 0.01 mm. Las longitudes de las probetas se miden en 3 lados separados 120°, con una precisión de 0.01 mm, para posteriormente realizar la media de estas medidas y obtener así un diámetro y longitud medio adecuado. Una vez se tienen las dimensiones de cada probeta, se procede al lavado de estas de forma cuidadosa, con una bayeta húmeda y a su secado.





Ilustración 52 Las 4 probetas que se eligen para el ensayo de compresión simple. Fuente: Elaboración propia

Además, a la probeta P2 se le colocan dos galgas, una centrada longitudinalmente y otra transversalmente también centrada. Gracias a esto también se puede obtener la deformación en función de la fuerza que se aplica durante el ensayo. Ya que el resto de probetas (P1, P3, P4) solo mostrarán la fuerza en función del tiempo.

Durante el ensayo, se destacan algunas peculiaridades de cada probeta mientras se somete al ensayo de compresión simple.

- P1: Es la muestra que más resistencia presenta, rompe de manera frágil, produciendo un gran ruido.
- P2: Antes de romper, una galga se despegaba de la probeta, por la deformación que está sufriendo, esto no afecta a los resultados que se obtienen, pues ya se habían registrado datos suficientes.
- P3: También presenta una rotura frágil. Antes de la rotura se detecta una grieta propia de la calcita que rellena una fisura natural de la misma, esto provoca la rotura prematura de la muestra
- P4: Es la que menos resiste, pero está dentro del rango de valores del resto de las muestras.

Una vez se registran los datos de la resistencia a compresión simple, se obtiene la cohesión de las calizas.

Para las margas, no se realizan ensayos a compresión simple y los datos de la cohesión y del ángulo de rozamiento, que se obtienen a partir del ensayo a compresión simple, se consultan fuentes comúnmente aceptadas en ingeniería geotécnica, en este caso concreto se han tomado los datos del libro de título *Ingeniería Geológica*, (González de Vallejo et al, 2002)

### ALTERABILIDAD

Para estudiar la alterabilidad de las rocas, existen multitud de ensayos, pero uno de los más utilizados es el ensayo de inmersión estática. Este ensayo determina la estabilidad de la roca más blanda y superficial (marga) lo que en buena parte determina la estabilidad general de la ladera.

El ensayo de inmersión estática, o ensayo Dusseault, consiste en sumergir una muestra en agua durante un mínimo de 24 horas, determinando a lo largo de ese tiempo la evolución de la turbidez del agua y del deterioro de la muestra. Con este ensayo se obtiene la durabilidad, la existencia de componentes arcillosos liberales y por último una descripción del deterioro. Se determinan las siguientes categorías:

-Durabilidad

- A – Sin deterioro visible.
- B – Algún deterioro (desprendimiento de fragmentos o esquirlas).
- C – Deterioro medio (se conserva la forma, la superficie se deteriora).
- D – Gran deterioro (se destruye la forma casi por completo).
- E – Desintegración total.

-Existencia de componentes arcillosos liberales

- C – El agua está limpia.
- M – El agua está turbia.

Para este ensayo se tomaron 3 muestras de margas, denominadas M1, M2 y M3 (Ilustración 53) y dos muestras de calizas, denominadas C1 y C2 (Ilustración 54). Antes de la inmersión se pesan en la balanza para tener una estimación de la cantidad de agua que pueden absorber, pues tras el periodo en el que estén en inmersión se pesan y así se puede ver lo que han aumentado.





Ilustración 53 Muestras de marga sumergidas en el ensayo de alterabilidad al inicio. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 54 Muestras de caliza sumergidas en el ensayo de alterabilidad, al inicio. Fuente: Elaboración propia

Los controles que se les hizo a las muestras una vez se habían sumergido fueron los siguientes:

Día 1: 23 de marzo del 2021.

1. Se sumergen a las 12:25 horas
2. A las 12:32 h. del mismo día se revisan las muestras y se observa que las muestras de caliza (C1 y C2) están en perfecto estado, mientras que en las muestras de margas (M1, M2, M3) se aprecia que el agua está clara, pero hay partículas en el fondo del recipiente.
3. A las 12:47 h., todas las muestras siguen igual.
4. A las 13:21 h. todas las muestras siguen sin presentar cambios.

Día 2: 24 de marzo del 2021.

5. A las 11:05 h. las muestras de caliza siguen igual, en cambio las margas empiezan a presentar grietas, sedimentos en el fondo y el agua se mantiene limpia.

Día 3: 26 de marzo del 2021.

6. A las 12:19 h., todas las muestras presentan el mismo aspecto que tras la última supervisión. Puesto que las muestras de caliza no presentan variación alguna, se decide finalizar el ensayo. Se secan superficialmente, se pesan, se dejan en estufa a 105 °C durante 24 h y se vuelen a pesar. Se decide dejar las muestras de margas hasta el día 29 de marzo del 2021, pues al presentar deterioro se pretende observar su evolución si se prolonga el tiempo que están sumergidas. Además de que como en la visita de campo se pudo observar un escalonamiento en los estratos horizontales, da a entender que estas margas podrían ser vulnerables a la meteorización.

Día 4: 29 de marzo del 2021.

7. Se sacan las muestras de caliza (C1 y C2) de la estufa y se procede a pesarlas para determinar la variación del peso.



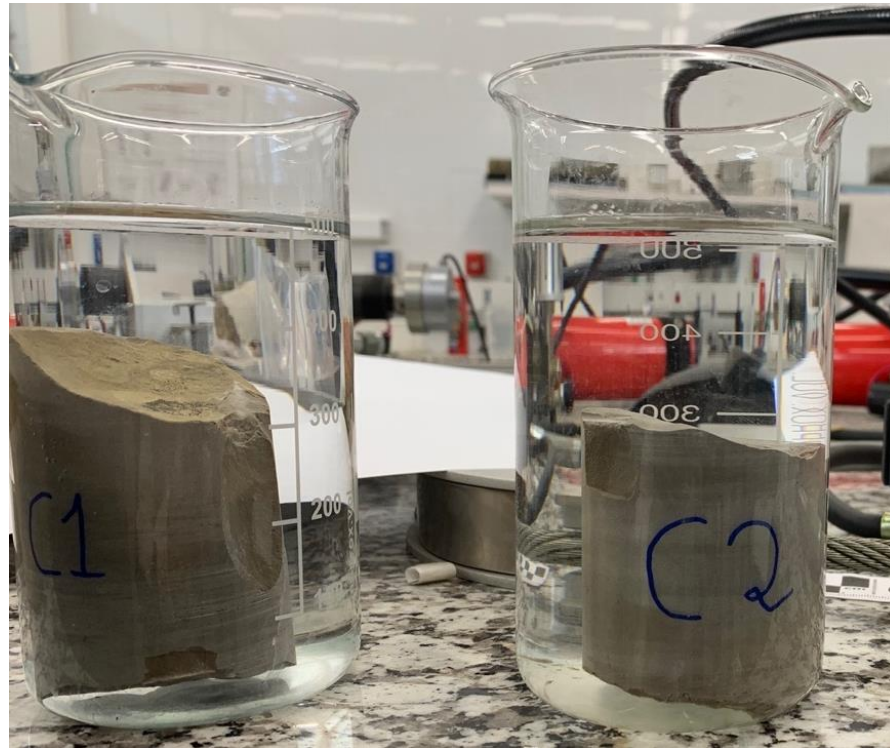


Ilustración 55 Muestras de caliza sumergidas en el ensayo de alterabilidad, parte final. Fuente: Elaboración propia

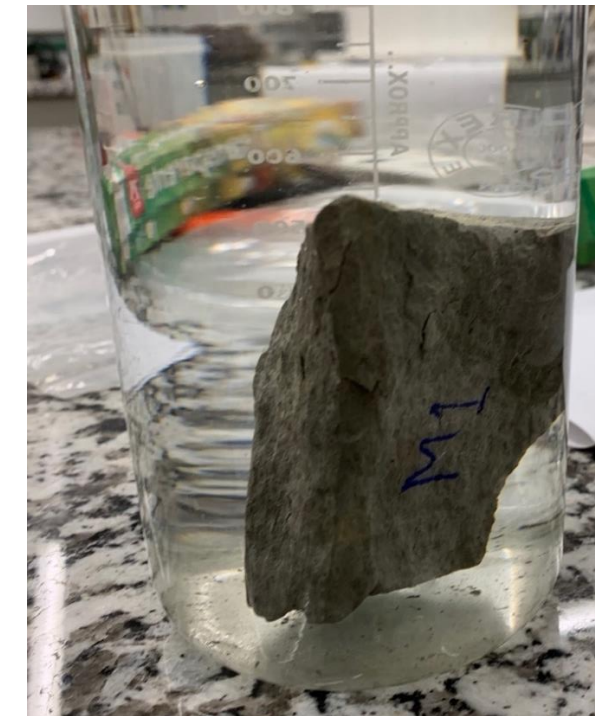


Ilustración 56 Muestras de marga M1, al final del ensayo de alterabilidad. Fuente: Elaboración propia

8. A las 10:30, se extraen las muestras de margas. Se puede ver que después del fin de semana las muestras M1 (Ilustración 56) y M2 (Ilustración 57) presentan grietas más importantes, pero la muestra M3 es la más alterada, tanto que al sacarla se comprueba que está rota (Ilustración 58). En cuanto al agua, sigue limpia, pero con partículas en el fondo. Esto justifica la decisión de dejarlas más tiempo sumergidas en el agua. Tras extraerlas, se procede a secarlas superficialmente y pesarlas, para posteriormente ponerlas en la estufa. Después se mantienen 24 horas en la estufa a una temperatura de 80°C, se pesan para determinar la variación de peso y ver su capacidad de absorción.

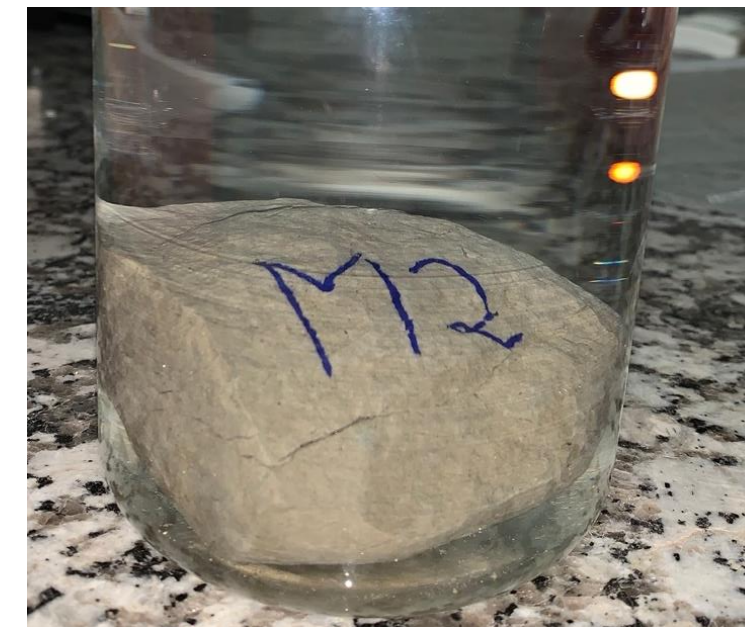


Ilustración 57 Muestra de marga M2, al final del ensayo. Fuente: Elaboración propia



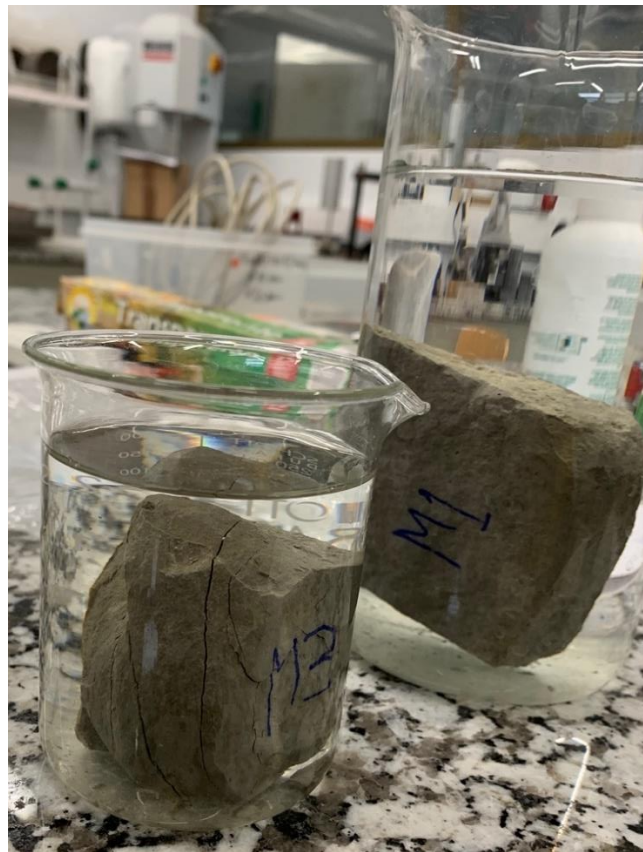


Ilustración 58 Muestra de margas M3, al final del ensayo. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 59 Procedimiento de parafinar las muestras. Fuente: Elaboración propia

Día 5: 30 de marzo de 2021.

9. A las 11:55 se extraen las muestras de la estufa y se procede a pesarlas para concluir el ensayo.

#### ENSAYO DE DENSIDAD

El ensayo proporcionó la densidad aparente y seca de las muestras que se sometieron al ensayo. Para este ensayo se usan 3 muestras de margas (M1', M2', M3') y dos muestras de caliza (C1' y C2'). (Ilustración 59)

El ensayo se realiza en 4 fases:

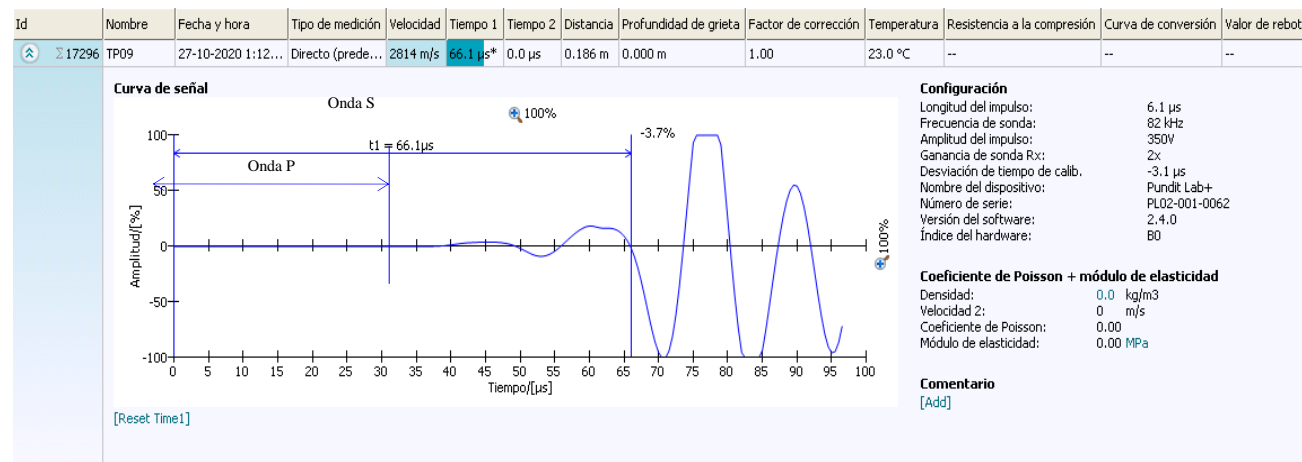
1. Esta fase inicial consiste en pesar todas las muestras, tal y como se habían extraído de la ladera.
2. Una vez pesadas las muestras se recubren de parafina (Ilustración 59), con la finalidad de que todas las superficies de las muestras quedaran recubiertas por esta y así que no entrara agua en las muestras cuando se introdujeran en la balanza hidrostática.

3. Después se pesan los fragmentos parafinados, para saber la variación de peso que supone la parafina a cada muestra.
4. Por último, se procede a pesar las muestras en la balanza hidrostática, con el fin de determinar el volumen de cada muestra.

#### ENSAYO DE VELOCIDAD DE ULTRASONIDOS: ONDAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES. PARÁMETROS DINÁMICOS

El objetivo de este ensayo es la determinación de los parámetros de deformabilidad de la roca mediante la medición de la velocidad de propagación de los impulsos de ondas longitudinales,  $W_p$  y transversales,  $W_s$  en probetas, en laboratorio mediante transmisión directa. Esto permite saber cual es el estado interno de las probetas, es decir, si hay discontinuidades o huecos, se puede decir que se trata de un ensayo de geofísica, pero a pequeña escala. Se ha utilizado un equipo de ultrasonidos modelo PROCEQ PUNDIT LAB+, que incorpora transductores de ondas longitudinales y transversales de 150 kHz (PANATRONICS), y un osciloscopio el cual mide el tiempo que tarda el impulso en atravesar la probeta de roca, desde el transductor emisor hasta el transductor receptor (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Se ha determinado la velocidad de ondas en todas las probetas en momentos previos al ensayo de resistencia-deformación.





Gráfica 1 Ejemplo de muestra de resultado del programa. Fuente: Aplicación de registro de datos Pundit Lab+

### 5.3 Caracterización del macizo rocoso

Tras explicar el procedimiento que se ha seguido para la realización de cada ensayo, se procede en este apartado a exponer los resultados obtenidos en cada ensayo.

#### RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE

Tras la realización de este ensayo, se obtienen los valores de las tensiones de rotura, una para cada probeta y los valores del Módulo de Young y del coeficiente de Poisson, de la probeta P2, que es la que lleva las galgas extensiométricas.

Para determinar la tensión de rotura del macizo rocoso se realiza la media de todas las probetas ensayadas, obteniendo así una tensión de rotura (Tabla 1): 138,9 MPa a una velocidad media de 1,25 KN/s.

	P1	P2	P3	P4	MEDIA
MPa	165,35	124,31	142,15	123,60	138,9

Tabla 1 Resultados del análisis a compresión simple.

Registrado el tiempo de las ondas ultrasonidos, se ha calculado la velocidad de las ondas, dividiendo la longitud de la probeta por el tiempo, en términos de m/s.

Con la determinación de la velocidad de las ondas, se ha estimado los parámetros de elasticidad, ecuación 1 y coeficiente de Poisson ecuación 2 dinámicos, mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{Módulo de Young Dinámico} \rightarrow E_{dyn} = 2 \cdot \rho \cdot W_s^2 \cdot (1 + \vartheta_{dyn}) \quad (1)$$

$$\text{Coeficiente de Poisson Dinámico} \rightarrow \vartheta_{dyn} = \left( \frac{1}{2} \left( \frac{W_P}{W_S} \right)^2 - 1 \right) / \left( \left( \frac{W_P}{W_S} \right)^2 - 1 \right) \quad (2)$$

siendo  $\rho$  la densidad de la probeta de roca en  $\text{kg/m}^3$ .

Se ha utilizado el siguiente equipo:

- Equipo ultrasonidos modelo proceq
- Serie: pundit lab plus
- Emisor y receptor de ondas p&s 150 khz
- Modelo panametrics v150 n/s: 748679-748674

Para este ensayo se usan 4 probetas, (P1, P2, P3 y P4) todas ellas son de caliza. Se procede a colocar cada probeta entre las sondas transmisoras de ultrasonidos y se ejecuta el programa. Así se obtienen los valores de  $W_p$  y  $W_s$ . Hay que destacar que se coloca un plástico en el contacto de la probeta y las sondas transmisoras, para evitar que estas se puedan alterar, se comprueba previamente, con un elemento que se emplea como calibre, que este plástico no varía los resultados. También es de suma importancia comentar que las conexiones de las sondas de ultrasonidos tienen que estar en la misma dirección y sentido para que el ensayo de valores coherentes de las ondas  $W_s$ .

Los parámetros de deformabilidad que se obtienen son los siguientes (Ilustración 60):

#### PARÁMETROS ESTÁTICOS

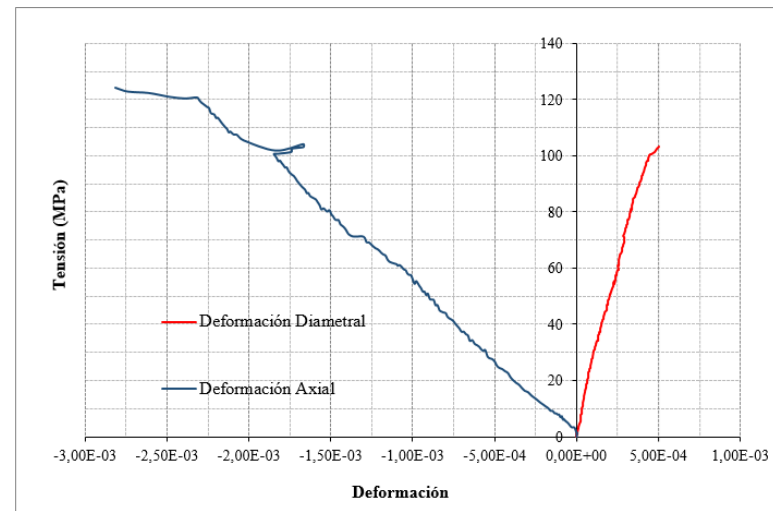
Módulo Young E (GPa)	54,69	GPa
Coeficiente de Poisson ( $\mu$ )	0,22	--
Módulo de Rigidez (G)	22,33	Gpa

Velocidad Rotura	1,25	KN/s
------------------	------	------

Ilustración 60 Parámetros de deformabilidad de la P2. Fuente: Elaboración propia.

También se muestra en la Gráfica 2, la relación tensión deformación que proporciona la probeta P2 en el ensayo.





Gráfica 2 Relación tensión-deformación

Para el valor de resistencia a compresión simple de las margas se escoge un valor obtenido en otro proyecto, además se compara con la tabla que se muestra a continuación, (Ilustración 61) tomada del libro *Ingeniería geológica*, (González de Vallejo et al, 2002), para tener así dos valores de referencia. Por lo tanto, se determina que las margas tienen una resistencia a compresión simple de 1500 kPa.

**CUADRO 3.6**

**Valores de resistencia de la matriz rocosa sana**

Roca sana	Resistencia a compresión simple (kp/cm <sup>2</sup> )		Resistencia a la tracción (kp/cm <sup>2</sup> )
	Valores medios	Rango de valores	
Andesita	2.100-3.200	1.000-5.000	70
Anfibolita	2.800	2.100-5.300	230
Anhidrita	900	800-1.300	60-120
Arenisca	550-1.400	300-2.350	50-200
Basalto	800-2.000	600-3.500	50-250
Caliza	600-1.400	500-2.000	40-300
Cuarcita	2.000-3.200	1.000-5.000	100-300
Diabasa	2.400-3.500	1.300-3.650	550
Diorita	1.800-2.450	1.200-3.350	80-300
Dolerita	2.000-3.000	1.000-3.500	150-350
Dolomía	600-2.000	500-3.500	50-250
Esquisto	300-600	200-1.600	20-55
Gabro	2.100-2.800	1.800-3.000	140-300
Gneiss	600-2.000	500-2.500	50-200
Granito	700-2.000	500-3.000	70-250
Grauvaca	1.000-1.500	800-2.200	55-150
Limolita		350-2.500	27
Lutita	200-400	100-900	15-100
			5-10*
Marga	300-700	200-900	
Mármol	1.200-2.000	600-2.500	65-200
Pizarra	400-1.500	300-2.000	70-200
Sal	120	50-300	
Toba		100-460	10-40
Yeso	250	100-400	10-25

(\*) A favor de superficies de laminación.  
 Datos seleccionados a partir de Rahn (1986), Walthan (1999), Obert y Duvall (1967), Farmer (1968).

Ilustración 61 Valores de resistencia a compresión simple de rocas. Fuente: Ingeniería geológica, González de Vallejo et al. 2002

### ALTERABILIDAD

Como se ha mencionado en el apartado anterior, para este ensayo se toman tres muestras de margas y dos muestras de calizas. A continuación, se procede a clasificar cada muestra tras el ensayo.

#### -Durabilidad

MUESTRA	CATEGORÍA	NOTAS
M1 (Marga)	C	Grietas importantes
M2 (Marga)	C	Grietas importantes
M3 (Marga)	D	Al sacar esta muestra del agua, estaba partida en dos.
C1 (Caliza)	A	Sin deterioro
C2 (Caliza)	A	Sin deterioro

Tabla 2 Resultados del ensayo de alterabilidad.

#### -Existencia de componentes arcillosos

MUESTRA	CATEGORÍA	NOTAS
M1 (Marga)	M	Sedimentos en el fondo
M2 (Marga)	M	Sedimentos en el fondo
M3 (Marga)	M	Sedimentos en el fondo
C1 (Caliza)	C	Sin deterioro
C2 (Caliza)	C	Sin deterioro

Tabla 3 Resultados del ensayo de alterabilidad.

#### -Variación de peso con las muestras saturadas y el peso después de secarlas con la estufa.

MUESTRA	PESO SATURADO	PESO DESPUÉS ESTUFA
M1(Marga)	312,4 g	294,2 g
M2(Marga)	266,4 g	249,7 g
M3(Marga)	208,1 g	194,8 g
C2(Caliza)	358,4 g	357,4 g
C3(Caliza)	313,0 g	311,8 g

Tabla 4 Variaciones de peso obtenida en el ensayo de alterabilidad.

Para la durabilidad, se realiza el ensayo a cinco fragmentos de rocas, tres muestras de margas y dos de calizas, el resultado alcanzado es que las calizas son de **Categoría A**, es decir estas en un *muy buen estado*. Por otro lado, las margas no presentan un buen estado, se puede decir que estas son de **Categoría C**.



Por otro lado, se tiene la **existencia de componentes arcillosos** en las muestras ensayadas. Se obtiene que las **calizas** son de **categoría C** y que las **margas** son de **categoría M**

Se observa que la capacidad de absorción de las muestras es baja, esto indica que la porosidad es baja, esto indica que el macizo rocoso, no sufre de filtraciones de agua en el interior de la roca matriz, por lo que también se descarta que pueda haber carstificación, algo que ya se descartó tras la inspección visual durante la visita de campo, ya que no se ven en el entorno signos típicos del proceso de la carstificación. Por lo tanto, se puede considerar que la densidad seca es similar a la húmeda.

**ENSAYO DE DENSIDAD**

Después de realizar este ensayo a las muestras pertinentes, se obtienen los siguientes resultados:

MUESTRA	DENSIDAD APARENTE	
M1'(Marga)	24,6	$kN/m^3$
M2'(Marga)	25,0	$kN/m^3$
M3'(Marga)	24,0	$kN/m^3$
C1'(Caliza)	26,0	$kN/m^3$
C2'(Caliza)	26,0	$kN/m^3$
C3'(Caliza)	26,0	$kN/m^3$

Tabla 5 Resultados obtenidos en el ensayo de densidad.

Por lo tanto, para la obtención de un valor de la densidad de la marga y caliza se realiza la media de los resultados obtenidos.

-Marga:  $(24,60+25+24)/3=24,5 \text{ KN}/m^3$

-Caliza:  $(26+26+26)/3=26,0 \text{ KN}/m^3$

Se ha considerado que  $\rho = \rho d$  ya que en el ensayo de Dusseault, se comprueba que las muestras no tienen una gran capacidad de absorción, por lo que se puede considerar la igualdad mencionada al principio.

**ENSAYO ONDAS: VELOCIDAD DE ONDAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES. PARÁMETROS DINÁMICOS**

Los resultados que se obtienen en las 4 probetas que se someten al ensayo son los siguientes:

MUESTRA	ONDA LONGITUDINAL (Wp)	ONDA TRANSVERSAL (Ws)	UNIDADES
P1	24,2	46,6	$\mu s$
P2(Bandas)	23,2	44,8	$\mu s$
P3	23,0	44,3	$\mu s$
P4	22,9	44,1	$\mu s$

Tabla 6 Resultados de la velocidad de onda en muestras de caliza.

Se muestra a continuación, (Ilustración 62) los resultados que muestra el software tras el ensayo, de esos resultados se obtienen los resultados mostrados en la tabla anterior.



Ilustración 62 Resultados mostrados por el software de impulsos de ultrasonidos a las muestras: P1, P2, P3 y P4. Fuente: Aplicación de registro de datos Pundit Lab +.



Para la obtención de un valor de referencia de las ondas longitudinales y transversales se procede a realizar la media.

-Onda longitudinal ( $W_p$ ):  $(24,2+23,2+23+22,9)/4=23,3\mu s$

-Onda transversal ( $W_s$ ):  $(46,6+44,8+44,3+44,1)/4=44,9\mu s$

Con los valores de las ondas  $W_p$  y  $W_s$  se obtienen sus velocidades y los siguientes valores del coeficiente de Poisson y del Módulo de Young. (Tabla 7)

Densidad Aparente ( $Kp/m^3$ ):

2600

**DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE IMPULSO**

PRODUCTO DE ACOPLAMIENTO DE LOS TRANSDUCTORES SOBRE LA MUESTRA: GEL  $W_s$   LÁMINA DE PLOMO   
 CALIBRAR EL EQUIPO ANTES DE SU UTILIZACIÓN.  SI  NO

Nº Muestra	Longitud (mm)	Tiempo Transcurrido ( $\mu s$ )		Direc. Respecto al Plano de Anisotropía		Velocidad (m/s)		Coef. Poisson ( $\nu$ ) $[0,5 \cdot (V_p/V_s)^2 - 1] / [(V_p/V_s)^2 - 1]$	Mod. Elasticidad (MPa) $2 \cdot \gamma \cdot V_s^2 \cdot (1 + \nu)$
		ondas P	ondas S	$\perp$	$\parallel$	$V_p$	$V_s$		
P-1	124,43	24,2	46,6	X	--	5142	2670	0,32	48767,1
P-2	125,55	23,2	44,8	X	--	5412	2802	0,32	53776,5
P-3	125,5	23	44,3	X	--	5457	2833	0,32	54899,6
P-4	126,81	22,9	44,1	X	--	5538	2876	0,32	56557,6

Tabla 7 Resultados del Módulo de Young y Coef. Poisson, en función de los tiempos de onda y la velocidad de impulso.

Se realiza la media del coeficiente de Poisson y del Módulo de Elasticidad para obtener los parámetros de referencia de las muestras de caliza ensayadas.

-Coeficiente de Poisson ( $\nu$ ) :  $(0,32+0,32+0,32+0,32)/4=0,32$

-Módulo de Elasticidad (E) :  $(48767,1+53776,5+54899,6+56557,6) = 53500$  MPa

A continuación, (Ilustración 63) se puede observar que las muestras de caliza se encuentran en la región de las calizas y las dolomías, según los resultados obtenidos en el ensayo compresión simple, 138,9 MPa y en el ensayo de ondas, del que se obtiene un valor del Módulo de Young de 53500 MPa.

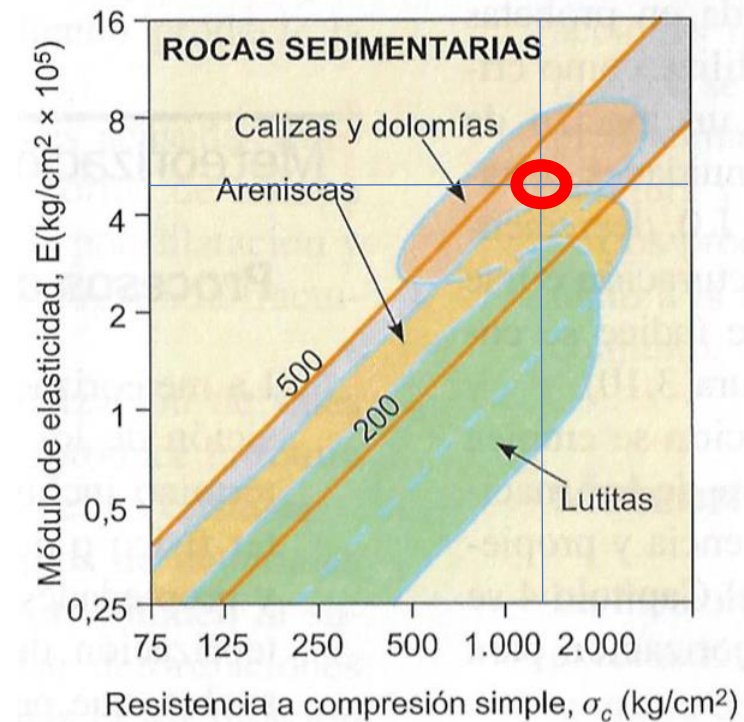


Ilustración 63 Clasificación de rocas basada en el módulo relativo. Fuente: Ingeniería geológica, González de Vallejo et al. 2002

Para los valores de la velocidad de las ondas en las margas se recurre al libro: Ingeniería geológica, González de Vallejo et al, 2002, obteniéndose que la velocidad de propagación de las ondas en la marga oscila entre 1,8 y 3,2 m/s. (Ilustración 64)

**CUADRO 3.8**

**Velocidad de propagación de las ondas longitudinales en rocas**

Roca sana	Velocidad de propagación de las ondas $V_p$ (m/s)
Arenisca	1.400-4.200
Basalto	4.500-6.500
Caliza	2.500-6.000
Conglomerado	2.500-5.000
Cuarcita	5.000-6.500
Diabasa	5.500-7.000
Dolerita	4.500-6.500
Dolomía	5.000-6.000
Gabro	4.500-6.500
Gneiss	3.100-5.500
Granito sano	4.500-6.000
Lutita	1.400-3.000
Marga	1.800-3.200
Mármol	3.500-6.000
Pizarra	3.500-5.000
Sal	4.500-6.000
Yeso	3.000-4.000

Ilustración 64 Velocidad de propagación de las ondas en función de la roca. Fuente: Ingeniería geológica, González de Vallejo et al. 2002



### 5.4 Parametrización del terreno

Con todos los datos que se obtienen de los ensayos que se han realizado, se procede a realizar la parametrización del terreno.

#### RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE

- Resistencia a compresión simple de la caliza:  $138,9 \text{ MPa} \cong 139 \text{ MPa}$ .
- Resistencia a compresión simple de la margas:  $R_u = 1500 \text{ kPa}$
- Parámetros de deformabilidad de la caliza
  - Módulo de Young (E):  $54,7 \text{ GPa}$
  - Coeficiente de Poisson ( $\nu$ ):  $0,22$

Con el valor de resistencia a compresión simple obtenido en el ensayo que se realiza a las probetas de caliza se puede realizar una clasificación de la roca. En base a los criterios establecidos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (Ilustración 65), la roca caliza localizada en la zona del estudio es de muy buena calidad, se trata de una **roca muy dura**.

**CUADRO 3.10**

**Clasificación de las rocas a partir de su resistencia a compresión simple**

Resistencia a la compresión simple (MPa)	ISRM (1981)	Geological Society of London (1970)	Bieniawski (1973)	Ejemplos
< 1	Suelos			
1-5	Muy blanda	Blanda > 1,25	Muy baja	Sal, lutita, limolita, margas, toba, carbón.
5-12,5	Blanda	Moderadamente blanda		
12,5-25		Moderadamente dura	Baja	Esquisto, pizarra.
25-50	Moderadamente dura	Dura	Media	Rocas metamórficas esquistosas, mármol, granito, gneiss, arenisca, caliza porosa.
50-100	Dura	Dura	Alta	Rocas ígneas y metamórficas duras, arenisca muy cementada, caliza, dolomía.
100-200	Muy dura	Muy dura	Muy alta	Cuarcita, gabro, basalto.
> 200		Extremadamente dura		
> 250	Extremadamente dura	Extremadamente dura		

Ilustración 65 Clasificación de rocas en función de su resistencia a compresión simple. Fuente: Ingeniería geológica, González et al. 2002

#### ALTERABILIDAD

En este apartado se obtienen dos resultados, uno referente a la durabilidad y otro a la existencia de componentes arcillosos en las muestras.

-Durabilidad.

- Las calizas son de categoría A.
- Las margas son de categoría C

Existencia de componentes arcilloso

- Las calizas son de categoría C
- Las margas son de categoría M

#### ENSAYO DE DENSIDAD

- La densidad aparente de las margas es  $24,5 \text{ kN/m}^3$
- La densidad aparente de las calizas es  $26,0 \text{ kN/m}^3$

#### ENSAYO ONDAS: VELOCIDAD DE ONDAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES. PARÁMETROS DINÁMICOS

- El valor de la onda longitudinal en caliza ( $W_p$ ) es  $23,3 \mu s$
- El valor de la onda transversal en caliza ( $W_s$ ) es  $44,9 \mu s \cong 45 \mu s$
- Coeficiente de Poisson en caliza ( $\nu$ ):  $0,32$
- Módulo de Young en caliza (E):  $53500 \text{ MPa}$
- Velocidad de propagación de las ondas en margas:  $1,8-3,2 \text{ m/s}$

Con los parámetros de deformabilidad obtenidos en este ensayo y el de resistencia a compresión simple, debido a similitud se sacan las siguientes conclusiones:

- Son ensayos validos por no haber disparidad de los resultados
- Las muestras de caliza en su interior no presentan fracturas importantes



## 6. ESTABILIDAD DE LA LADERA

El conocimiento del comportamiento de un talud frente a sus posibles roturas repercute enormemente en los costes y en la seguridad de una obra civil, por ello, su diseño debe estar basado en investigaciones de campo (in situ) y de laboratorio, suficientes, en número y en calidad, como para poder caracterizar adecuadamente las propiedades geomecánicas del terreno, así como los posibles mecanismos de rotura.

Los datos más importantes a la hora de abordar el problema de la estabilidad general de una ladera rocosa, como es el caso que nos ocupa, donde se pueda desarrollar una inestabilidad en forma de deslizamiento circular y que no venga impuesta por la mecánica de planos de debilidad existentes, son la resistencia y deformación del macizo rocoso.

Estos datos, resistencia y deformación, son difíciles de determinar. Por un lado, los ensayos de laboratorio en muestras de roca no representan suficientemente el comportamiento del macizo rocoso al ser ensayada la roca matriz únicamente y no en conjunto con sus diaclasas, y, por otro lado, los ensayos in situ a gran escala no son factibles.

Las roturas en taludes rocosos se pueden dividir básicamente en dos tipos: las controladas por el sistema de discontinuidades que presentan y la rotura global del macizo rocoso. No obstante, también son frecuentes las roturas mixtas. (Ilustración 66)

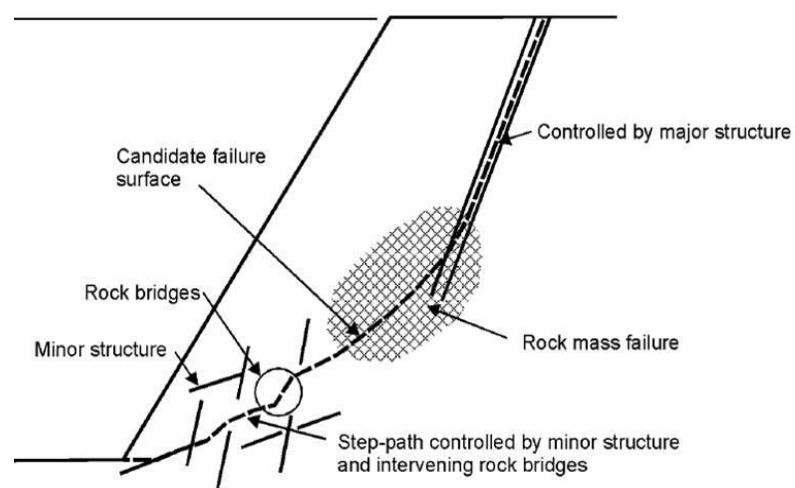


Ilustración 66 Esquema general de la rotura mixta de un talud. Fuente: Google imágenes.

Las primeras se estudian de manera sistemática y generan roturas en cuñas, roturas planas, vuelco de estratos, pandeo y caídas de bloques. Las segundas generan fundamentalmente deslizamientos traslacionales masivos y rotacionales (rotura circular) y son menos frecuentes.

Para el análisis de las posibles inestabilidades se utilizan distintos métodos:

- Métodos empíricos que emplean gráficos altura-ángulo o similares
- Métodos de equilibrio límite basados en la determinación de un factor de seguridad y probabilidad de que se produzca la rotura.
- Métodos numéricos basados en el análisis tenso-deformacional y que permiten modelar la rotura progresiva.

La solución teórica del problema requiere el cumplimiento de las condiciones de equilibrio de fuerzas, compatibilidad de movimientos, comportamiento de acuerdo a las ecuaciones constitutivas del material y las condiciones de contorno, tanto de fuerzas como de desplazamientos.

Los análisis de estabilidad se realizan para valorar la seguridad y funcionalidad del diseño de un talud excavado o para analizar las condiciones de equilibrio natural en laderas de montaña, como es el caso de la ladera natural localizada en el entorno del PK 2+800 de la carretera CV-363. Las técnicas a emplear dependen en cada caso del tipo de terreno y del tipo de rotura prevista.

Lo más habitual es el uso de técnicas de cálculo basadas en métodos de equilibrio límite, como el de Bishop, Jambu, y Morgenstern-Price, éstas han sido y son las más empleadas.

En este sentido, el criterio de rotura más extendido y que se aplica habitualmente es el de Mohr-Coulomb, con modelos elastoplásticos o simplemente elásticos. Este criterio, aunque sencillo, no representa adecuadamente el comportamiento de los macizos rocosos. Alternativamente, se está empleando con mucha profusión el criterio de rotura no lineal de Hoek - Brown, y ha sido recientemente incorporado a programas informáticos de aplicaciones numéricas como los elementos finitos y será el definitivamente usado para definir la estabilidad de la ladera en estudio.

### 6.1 Revisión teórica previa

En cualquier caso, el primer paso para el diseño de la estabilidad de un talud consiste en reconocer, en base a la litología y estructura del mismo, la tipología de rotura más probable.

#### Tipología de roturas

Tradicionalmente se consideran cuatro tipos fundamentales de rotura de taludes en roca (Hoek y Bray, 1981):

- **Rotura plana:** (Ilustración 67) aquella en la que el deslizamiento se produce a través de una única superficie plana. Es la más sencilla de las formas de rotura posibles y se produce cuando existe una fracturación dominante en la roca y convenientemente orientada respecto al talud.



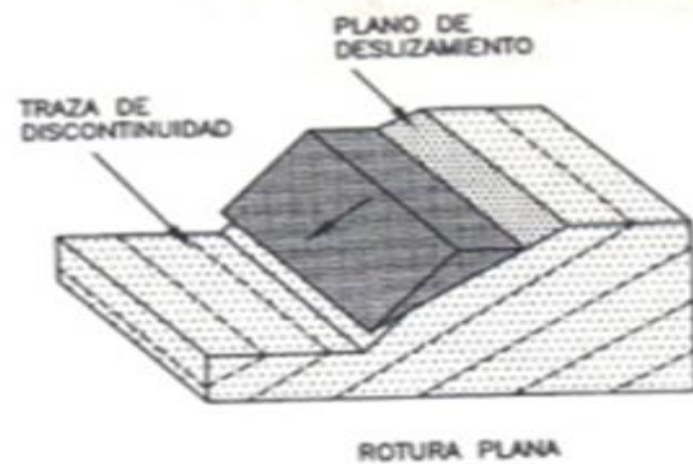


Ilustración 67 Esquema de la rotura plana. Fuente: Manual de Taludes (IGME).

Frecuentemente se presentan en planos de rotura que interceptan al talud. Deben darse dos condiciones: las trazas horizontales del plano del talud y del plano de deslizamiento deben ser paralelos o casi paralelos, formando entre sí un ángulo máximo de 20° y los límites laterales de la masa deslizante han de producir una resistencia al deslizamiento despreciable.

No es el caso del área de estudio puesto que según se puede observar en las fotografías tomadas durante la visita de campo (*Capítulo 4. Visita de campo*), las trazas horizontales del plano del talud y del plano de deslizamiento no son paralelas.

- **Rotura en cuña:** se denomina así aquella que se produce a través de dos discontinuidades oblicuamente a la superficie del talud, con la línea de intersección de ambas aflorando en la superficie del mismo y buzando en sentido desfavorable.

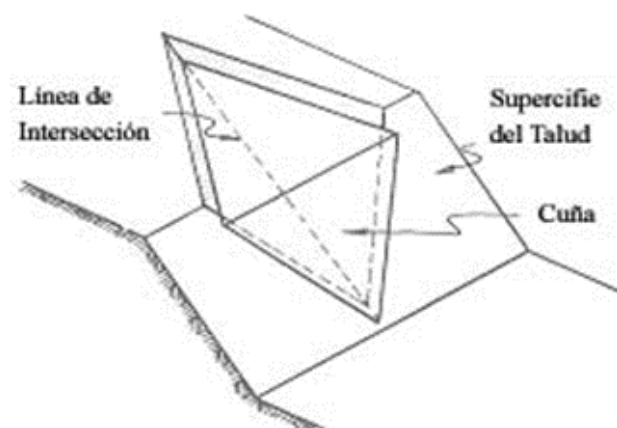


Ilustración 68 Esquema de la rotura en cuña. Fuente: Manual de Taludes (IGME).

Este tipo de rotura (Ilustración 68) se origina preferentemente en macizos rocosos en los que se da una disposición adecuada, en orientación y buzamiento de las diaclasas.

No puede darse este tipo de rotura en el área de estudio puesto que, la línea de intersección entre familias de discontinuidades de la roca caliza no aflora en el talud porque está cubierta por una capa de espesor variable de marga.

- **Rotura por vuelco:** se produce en macizos rocosos con fracturación vertical o subvertical cuando se produce el descalce de la base del talud.

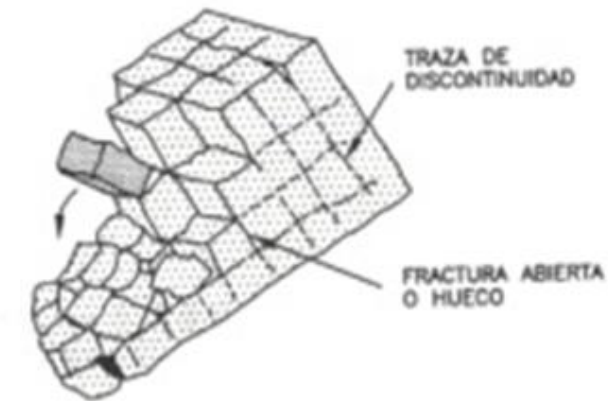


Ilustración 69 Esquema de la rotura por vuelco. Fuente: Manual de Taludes (IGME).

Este tipo de rotura (Ilustración 69) se origina preferentemente en macizos rocosos en los que se da una disposición adecuada, en orientación y buzamiento de las diaclasas. Aún en las zonas de la ladera donde la roca caliza aflora en superficie, no puede darse este tipo de rotura en el área de estudio puesto que el plano de estratificación es horizontal y no favorece este movimiento.

- **Rotura global:** se denomina así a aquella en la que la superficie de deslizamiento es asimilable a una superficie cilíndrica cuya sección transversal se asemeja a un arco de círculo.



Ilustración 70 Esquema rotura global. Fuente: Manual de Taludes (IGME).



Este tipo de rotura (Ilustración 70) se suele producir en terrenos homogéneos, ya sea suelos o rocas altamente fracturadas, sin direcciones preferenciales de deslizamiento, en los que además se cumple la condición de que el tamaño de las partículas de suelo o roca sea muy pequeño comparado con el tamaño del talud.

Este es el tipo de rotura más probable en el caso estudiado y el movimiento puede iniciarse en el plano de contacto entre la marga y la caliza puesto que se trata de un plano de “debilidad” del conjunto del macizo rocoso.

A esos cuatro tipos fundamentales se les pueden añadir otros menos habituales o más complejos (que suelen ser casos singulares de los anteriores o producto de “combinaciones” de algunos de ellos): pandeos, extensiones laterales: (y otros movimientos, en general en combinación con suelos) y, desprendimientos o caída de bloques (muchos de estos desprendimientos podrían incluirse en los cuatro tipos fundamentales que, a fin de cuentas, producen “desprendimientos o caída de bloques” que a veces enmascarándose el mecanismo de rotura).

## 6.2 Análisis de la rotura

### Métodos de cálculo

Los métodos de cálculo que se emplean para analizar la estabilidad de un talud, desde el punto de vista de las acciones que intervienen, se pueden clasificar en dos grandes grupos:

#### Métodos de cálculo en deformaciones.

Consideran en el cálculo las deformaciones del terreno además de las leyes de la estática. Su aplicación práctica es de gran complejidad y el problema debe estudiarse aplicando el método de los elementos finitos u otros métodos numéricos.

#### Métodos de equilibrio límite.

Se basan exclusivamente en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. No tienen en cuenta las deformaciones del terreno. Suponen que la resistencia al corte se moviliza total y simultáneamente a lo largo de la superficie de rotura.

Se pueden clasificar a su vez en dos grupos:

- A. Métodos exactos: La aplicación de las leyes de la estática proporcionan una solución exacta del problema con la única salvedad de las simplificaciones propias de todos los métodos de equilibrio límite (ausencia de deformaciones, factor de seguridad constante en la superficie de rotura, etc.).

- B. Métodos no exactos: En la mayor parte de los casos la geometría de la superficie de rotura no permite obtener una solución exacta del problema mediante la única aplicación de las leyes de la estática. El problema es hiperestático y ha de hacerse alguna simplificación o hipótesis previa que permita su resolución. Se pueden considerar así los métodos que consideran el equilibrio global de la masa deslizante, hoy en desuso, y los métodos de las dovelas o rebanadas, que consideran a la masa deslizante dividida en una serie de fajas verticales.

El método más utilizado para resolver el cálculo de estabilidad por rotura circular es el de las dovelas o rebanadas, que es bastante laborioso, por lo que se suele realizar ayudándose de aplicaciones informáticas. Este método de las dovelas o rebanas pueden clasificarse, a su vez, en dos grupos:

1. Métodos aproximados: no cumplen todas las ecuaciones de la estática, por ejemplo, los métodos de Fellenius, Janbu y Bishop simplificado.
2. Métodos precisos o rigurosos: cumplen todas las ecuaciones de la estática. Los más conocidos son: Morgenstern-Price, Spencer y Bishop riguroso.

A continuación, se exponen los fundamentos de algunos de los métodos más utilizados y contrastados en la práctica.

- Método de Bishop. Originalmente desarrollado para roturas circulares, considera que las interacciones entre rebanadas son nulas. El cálculo se lleva a cabo buscando el equilibrio de momentos respecto al centro del arco circular, aunque en la versión posterior del método se puede aplicar a superficies no curvas definiendo centros ficticios.
- Método de Janbu. Diseñado para superficies no necesariamente circulares, también supone que la interacción entre rebanadas es nula, pero, a diferencia de Bishop, busca el equilibrio de fuerzas y no de momentos. Experiencias posteriores hicieron ver que la interacción nula en el caso de equilibrio de fuerzas es demasiado restrictiva, lo que obligó a introducir un factor de corrección empírico aplicable al factor de seguridad. La versión posterior, el denominado método riguroso, define una línea de empuje entre rebanadas y se buscan los equilibrios en fuerzas y momentos respecto al centro de la base de cada una de ellas

La relación de métodos citados son los de uso más general, en la ingeniería práctica, en lo que se refiere al cálculo de estabilidad incluso para macizos rocosos, a pesar de que la mayoría de los fallos en estos últimos implican roturas y deformaciones internas complejas, que no se corresponden con el modelo de bloque rígido que se mueve de manera conjunta, base de los métodos de equilibrio límite.

Como ya se ha mencionado, el análisis determinado por las condiciones de estabilidad de taludes en roca presenta generalmente notables limitaciones, relacionadas con el elevado grado de incertidumbre con que se conocen algunos parámetros fundamentales.



### 6.3 Estabilidad global

Teniendo en cuenta la revisión teórica anterior, el procedimiento que se ha seguido para analizar la estabilidad de la ladera objeto de estudio en el P.K. 2+800 de la carretera CV-363 ha supuesto dos fases: en primer lugar, se ha realizado un estudio de la estabilidad global del talud donde tuvo lugar el desprendimiento, desde el punto de vista estático, y a continuación un estudio de las inestabilidades locales probables, desde el punto de vista cinemático.

Se parte de la información facilitada por el estudio del capítulo 5 de este trabajo, donde en base a los trabajos de campo realizados, se concluye que:

- ⇒ Sí es probable la rotura global generalizada.
- ⇒ Son poco probables las roturas en cuña por la horizontalidad de los estratos.
- ⇒ Las roturas por vuelco hay que tenerlas en cuenta, ya que se observa en toda la ladera zonas con elevada erosión diferencial.
- ⇒ Son poco probables las roturas planas en toda la ladera.

Los siguientes apartados tienen como objetivo acreditar estas conclusiones previas.

Como se ha comentado los métodos de cálculo se dividen en métodos en deformaciones y métodos en equilibrio límite. En este capítulo se utilizarán estos últimos.

El procedimiento general para realizar el análisis consiste en determinar el coeficiente que, teniendo en cuenta la relación entre las acciones que desestabilizan el sistema y las acciones que tienden a estabilizarlo, garantiza la seguridad de los taludes de excavación.

Es posible analizar la estabilidad de superficie de roturas circulares o no-circulares hasta determinar la superficie de rotura que proporciona el factor más bajo de la seguridad. Para ello se define un área concreta de posibles centros de círculos de roturas.

Para realizar el cálculo el primer paso consiste en introducir la geometría del problema, altura e inclinación del talud y definir las propiedades del terreno afectado por el mismo.

Estas propiedades son peso específico seco y saturado y los parámetros de resistencia adecuados según el criterio de rotura elegido, además permite introducir la localización de la capa freática si la hubiera.

A partir de este momento se elige el método de cálculo deseado. Se ha decidido emplear ambos métodos: **Bishop simplificado** y el de **Janbu simplificado**.

### CRITERIO DE ROTURA

El criterio de rotura más desarrollado es el de Mohr-Coulomb, no obstante, no es el criterio que mejor representa el comportamiento de un macizo rocoso, dadas las grandes dimensiones de la rotura, no sería del todo preciso suponer toda la masa que desliza como un único bloque que se mueve de manera solidaria y conjunta. Alternativamente, en las últimas décadas se está empleando el criterio de rotura no lineal de Hoek-Brown. Esta metodología de cálculo se enfrenta a un problema en la definición del factor de seguridad frente a rotura.

Por ser el criterio de rotura no lineal, no es inmediata la técnica habitual de la reducción de la resistencia al corte del terreno. Para ello es necesario linealizar previamente la envolvente de rotura y obtener un criterio equivalente de Mohr - Coulomb.

Hoek y Brown introdujeron su criterio de rotura en un intento de proporcionar los datos de partida para el análisis necesario en el diseño de excavaciones subterráneas en roca competente. Este criterio partía de las propiedades de la roca intacta, después se introducían factores reductores de estas propiedades sobre la base de las características de un macizo rocoso diaclasado.

Los autores intentando relacionar el criterio empírico con las observaciones geológicas, por medio de uno de los sistemas de clasificación de los macizos rocosos, eligieron para este propósito el RMR (*Rock Mass Rating*) propuesto por Bieniawski.

Debido a la ausencia de otras alternativas, el criterio fue adoptado por la comunidad de la mecánica de rocas y su uso rápidamente extendido más allá de los límites originales utilizados en la deducción de las relaciones de reducción de la resistencia. Consecuentemente, llegó a ser necesario reexaminar estas relaciones e introducir nuevos elementos cada vez que dicho criterio era aplicado a un amplio rango de problemas prácticos.

Fruto de estos avances fue la introducción de la idea de macizos rocosos “inalterados” y “alterados” por Hoek y Brown, y la introducción de un criterio modificado para obligar a la resistencia a tracción del macizo rocoso a tender a cero para macizos de calidad muy mala (Hoek, Wood y Shah).

El criterio de Hoek-Brown, en términos de esfuerzos normales y al corte, según la ecuación (3) original se expresa:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left( m \cdot \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^{0,5} \quad (3)$$

donde

$\sigma_1'$  y  $\sigma_3'$   $\sigma_1'$  y  $\sigma_3'$  ⇒ esfuerzos principales efectivos, mayor y menor, en el momento de la rotura.

$\sigma_{ci}$  ⇒ resistencia a compresión uniaxial de la roca matriz.

$m$  y  $s$  ⇒ son constantes del material. ( $s=1$  cuando el material está en perfecto estado)



A partir de su empleo, distintos autores, propusieron modificaciones de los parámetros que contemplaban mejoras de la fórmula original.

Además de los cambios en las ecuaciones, también se reconoció que el RMR de Bieniawski no era adecuado como vehículo para relacionar el criterio de rotura con las observaciones geológicas en campo, particularmente para macizos rocosos muy débiles.

Esto condujo a la introducción del Índice de Resistencia Geológica, GSI (Geological Strength Index), índice que fue posteriormente extendido a macizos rocosos débiles.

El criterio de Hoek-Brown generalizado se expresa como sigue la ecuación (4):

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \cdot \left( m_b \cdot \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad (4)$$

donde

$m_b$   $\Rightarrow$  valor reducido de la constante del material  $m_i$ , dado por la siguiente expresión, ecuación (5):

$$m_b = m_i \cdot e^{\left( \frac{GSI-100}{28-14 \cdot D} \right)} \quad (5)$$

$s$  y  $a$   $\Rightarrow$  constantes del macizo rocoso dadas por las siguientes ecuaciones (6) y (7):

$$s = e^{\left( \frac{GSI-100}{9-3 \cdot D} \right)} \quad (6)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \cdot \left( e^{\left( \frac{-GSI}{15} \right)} - e^{\left( \frac{-20}{3} \right)} \right) \quad (7)$$

$D$   $\Rightarrow$  Factor que depende del grado de alteración del macizo rocoso como consecuencia de un proceso de voladura o por la relajación de esfuerzos. Varía desde 0 para macizos rocosos in situ inalterados hasta 1 para macizos rocosos muy alterados. (Ilustración 71) (Ilustración 72)

Apariencia del macizo rocoso	Descripción del macizo rocoso	Valor $D$ sugerido
	Excelente calidad de voladura controlada o excavación con tuneladora, TBM, con resultados de alteración mínima del macizo rocoso confinado circundante al túnel	$D = 0$
	Excavación mecánica o manual en macizos rocosos de mala calidad (sin voladuras) con una alteración mínima en el macizo rocoso circundante.  Cuando aparezcan problemas de deformación en el piso durante el avance, la alteración puede ser severa a menos que se coloque una contrabóveda temporal, tal como se muestra en la fotografía.	$D = 0$  $D = 0.5$ No invert
	Voladura de muy mala calidad en un túnel en roca competente con daños locales severos, extendiéndose 2 o 3 m en el macizo rocoso circundante.	$D = 0.8$
	Pequeñas voladuras en taludes de ingeniería civil dan lugar a pequeños daños al macizo rocoso, particularmente si se usan voladuras de contorno como se muestra en el lado izquierdo de la fotografía. Sin embargo la liberación de tensiones resulta en alguna alteración.	$D = 0.7$ Good blasting  $D = 1.0$ Poor blasting
	Los taludes en las grandes minas a cielo abierto sufren alteraciones significativas debido a las grandes voladuras de producción y también debido a la relajación de tensiones al retirar el estéril de recubrimiento.  En algunas rocas blandas la excavación puede llevarse a cabo mediante el ripado y empuje con tractores de orugas y el grado de afección a los taludes será menor.	$D = 1.0$ Production blasting  $D = 0.7$ Mechanical excavation

Ilustración 71 Valores del parámetro  $D$  utilizados en la fórmula de Hoek-Brown. Fuente: Hoek-Brown et al, 2002.

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)		SURFACE CONDITIONS				
<p>From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.</p>		SURFACE CONDITIONS				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80	N/A	N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70	60	N/A	N/A
	VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	70	60	50	N/A	N/A
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	60	50	40	30	N/A
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	50	40	30	20	N/A
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A	20	10	N/A

Ilustración 72 Valores de GSI basado en observaciones geológicas. Fuente: Hoek-Brown et al, 2002.

Con el factor de seguridad se trata de cubrir las incertidumbres respecto a la resistencia del macizo rocoso, y cuando se aplica el criterio de rotura de Hoek - Brown, las incertidumbres provienen principalmente de errores producidos durante la caracterización geomecánica, o sea del GSI, y no tanto en la resistencia a compresión simple ni en el parámetro  $m_i$

Las últimas publicaciones a cerca de este tema (Bieniawski, 2012) ponen en entredicho la utilización de este parámetro frente al utilizado inicialmente, el RMR.

### ROTURA GLOBAL

El avance tecnológico de las últimas décadas ha permitido implementar estos procedimientos, de normal muy laboriosos y se han incorporado a programas informáticos incluso de aplicaciones numéricas como los elementos finitos.

Uno de estos programas informáticos es la aplicación *Slide*, de la casa comercial Rocscience, que se utiliza en este trabajo. Este software permite analizar estabilidad de superficies de rotura usando métodos de equilibrio de límite basándose en el procedimiento de dovelas verticales. Se analizan una gran cantidad de superficies de roturas posibles con el objeto de determinar la superficie de rotura crítica para un talud dado. *Slide* puede analizar la estabilidad de taludes con superficies de rotura circulares o no-circulares.

Es posible analizar una superficie de rotura concreta o, como es más habitual, realizar la búsqueda de la superficie de rotura crítica, para intentar encontrar aquella que proporcione el factor más bajo de la seguridad.

A continuación, se estudia la estabilidad estática de la ladera. Para ello se emplea la aplicación informática anteriormente mencionada. El estudio con esta aplicación permite comprobar la estabilidad de la ladera, y así se puede ver si la ladera se rompe por el vuelco de la grúa, que a priori es lo más razonable, o si se ha producido rotura por que ya estaba deteriorada la roca y el vuelco de la grúa solo aceleró el proceso de la rotura. Esta aplicación informática también permite avalar así los resultados obtenidos en el laboratorio. Además, este software también va a permitir estudiar cómo afecta a la estabilidad de la ladera la solución que está actualmente, un muro de hormigón armado y también se comprueban las dos soluciones que en un principio son las más viables, un muro de mampostería y un muro de mampostería con micropilotes autoperforantes. Se estudia también la ladera en dos situaciones, en condiciones normales, es decir, sin la presencia de agua y en condiciones de lluvia intensa, donde se considera el nivel de agua en la superficie.

En primer lugar, se decide en las unidades en las que se va a trabajar, en este caso, solo es necesario indicar que se va a utilizar el sistema internacional y se define como se quiere que el programa estudie la rotura, en este caso se define que se estudie la rotura de izquierda a derecha, pues la zona más propensa a la rotura es la que está en esa dirección. Esto se encuentra en el menú principal, "Analysis" → "Project Settings" → "General". Dentro de Project Settings se encuentran múltiples funciones, pero para este estudio solo se necesita realizar un cambio más y se encuentra en "Methods", aquí se decide que métodos o criterios de rebanadas se quieren aplicar. Se aplican dos, los más comunes: *Bishop simplified* y *Janbu simplified*.



Después de definir esto se introduce en la aplicación el perfil del terreno mediante coordenadas (x, y). Hay que destacar que al final debe quedar un polígono totalmente cerrado. A continuación, se procede a definir los estratos que se tienen en toda la ladera.

En este caso, se coloca un estrato superior de alternancia de margas y calizas y un segundo estrato de calizas potentes. Una vez dibujados los estratos se procede a definir propiedades a los dos estratos que se han descrito.

Los datos que se introducen de cohesión, ángulo de rozamiento, peso específico se obtienen de los ensayos de laboratorio. En el estrato superior, que es una alternancia de margas y calizas, se opta por poner los datos de las margas, pues estas son por naturaleza menos resistentes y son las que van a condicionar que haya algún tipo de inestabilidad que pueda llevar a rotura. En el segundo estrato, se adjudican los datos de las calizas.

La primera comprobación que se realiza consiste en analizar la estabilidad de la ladera natural en una situación de lluvia intensa que corresponde al escenario más desfavorable.

- LADERA NATURAL

- Alternancias de margas y calizas.

- Peso específico =  $24,53 \text{ kN/m}^3$
    - Peso específico saturado =  $24,53 \text{ kN/m}^3$
    - UCS (Resistencia a compresión simple) =  $1500 \text{ kPa}$
    - $m = 2$
    - $s = 0,01$
    - $D = 0$

- Calizas potentes.

- Peso específico =  $26 \text{ kN/m}^3$
    - Peso saturado =  $26 \text{ kN/m}^3$
    - UCS (Resistencia a compresión simple) =  $138850 \text{ kPa}$
    - $m = 2$
    - $s = 0,01$
    - $D = 0$

Para este estrato y el superior, al tratarse de roca, el criterio de rotura más adecuado es el de Hoek-Brown.

El resultado que se obtiene es el siguiente:

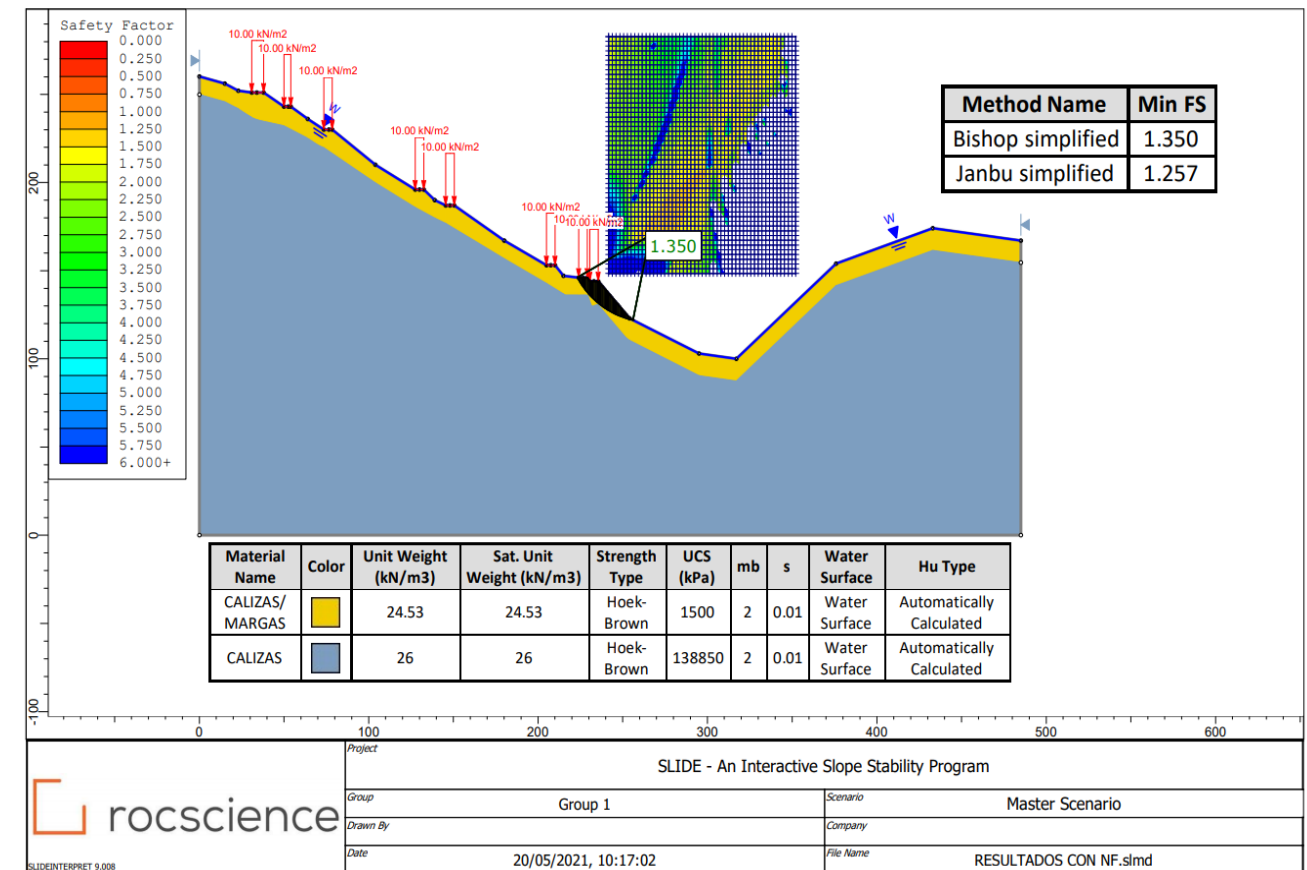


Ilustración 73 Resultado de la estabilidad de la ladera con nivel freático, sin medidas. Fuente: Elaboración propia.

Se observa (Ilustración 73) que, en condiciones de lluvia y con la inclinación natural del terreno la ladera muestra un coeficiente de seguridad de **1,257**, por debajo del mínimo exigido por la normativa vigente, según se recoge en el *Manual de taludes del IGME*, que toma como coeficiente de seguridad mínimo 1,5 para la estabilidad de taludes.

A continuación, se comprueba como interacciona con la ladera la solución correspondiente a la obra de emergencia, un muro de hormigón armado, con la geometría observada en la visita de campo puesto que no se conoce la geometría real.

Se plantea la situación con presencia de agua, siendo esta la más desfavorable según se aclara en el *Anejo I* donde se realiza un análisis más detallado y estudiando también la situación sin agua en la ladera.

Para este caso se usan los siguientes datos:

- MURO DE HORMIGÓN ARMADO
  - Alternancias de margas y calizas.
    - Peso específico =  $24,53 \text{ kN/m}^3$
    - Peso específico saturado =  $24,53 \text{ kN/m}^3$
    - UCS (Resistencia a compresión simple) =  $1500 \text{ kPa}$
    - $m = 2$
    - $s = 0,01$
    - $D = 0$
  - Calizas potentes.
    - Peso específico =  $26 \text{ kN/m}^3$
    - Peso saturado =  $26 \text{ kN/m}^3$
    - UCS (Resistencia a compresión simple) =  $138850 \text{ kPa}$
    - $m = 2$
    - $s = 0,01$
    - $D = 0$

Para este estrato y para el superior, al tratarse de roca, el criterio de rotura más adecuado es el de Hoek-Brown.

- Muro de hormigón armado
  - Peso específico =  $25 \text{ kN/m}^3$
  - Peso saturado =  $25 \text{ kN/m}^3$
  - Cohesión =  $250 \text{ kPa}$
  - Ángulo de rozamiento =  $45^\circ$
- Relleno trasdós
  - Peso específico =  $22 \text{ kN/m}^3$
  - Peso saturado =  $22 \text{ kN/m}^3$
  - Cohesión =  $1 \text{ kPa}$
  - Ángulo de rozamiento =  $40^\circ$

Definidos los materiales, se decide colocar una sobrecarga de  $10 \text{ kN/m}^2$  en cada zona correspondiente al trazado de la carretera, simulando así la carga que transmite el tráfico, esta sobrecarga se tiene en cuenta en todas las simulaciones realizadas en el análisis de estabilidad de la ladera. Aunque del *Capítulo 4. Visita de campo*, se llega a la conclusión de que no es una carretera con mucho tráfico, se coloca una sobrecarga en todas las calzadas, para estudiar el caso más desfavorable. Esta carga se añade accediendo a “Loading” → “Add Distributed Load”.

Finalmente se procede al cálculo o a la simulación del modelo, cuyo output es el siguiente:

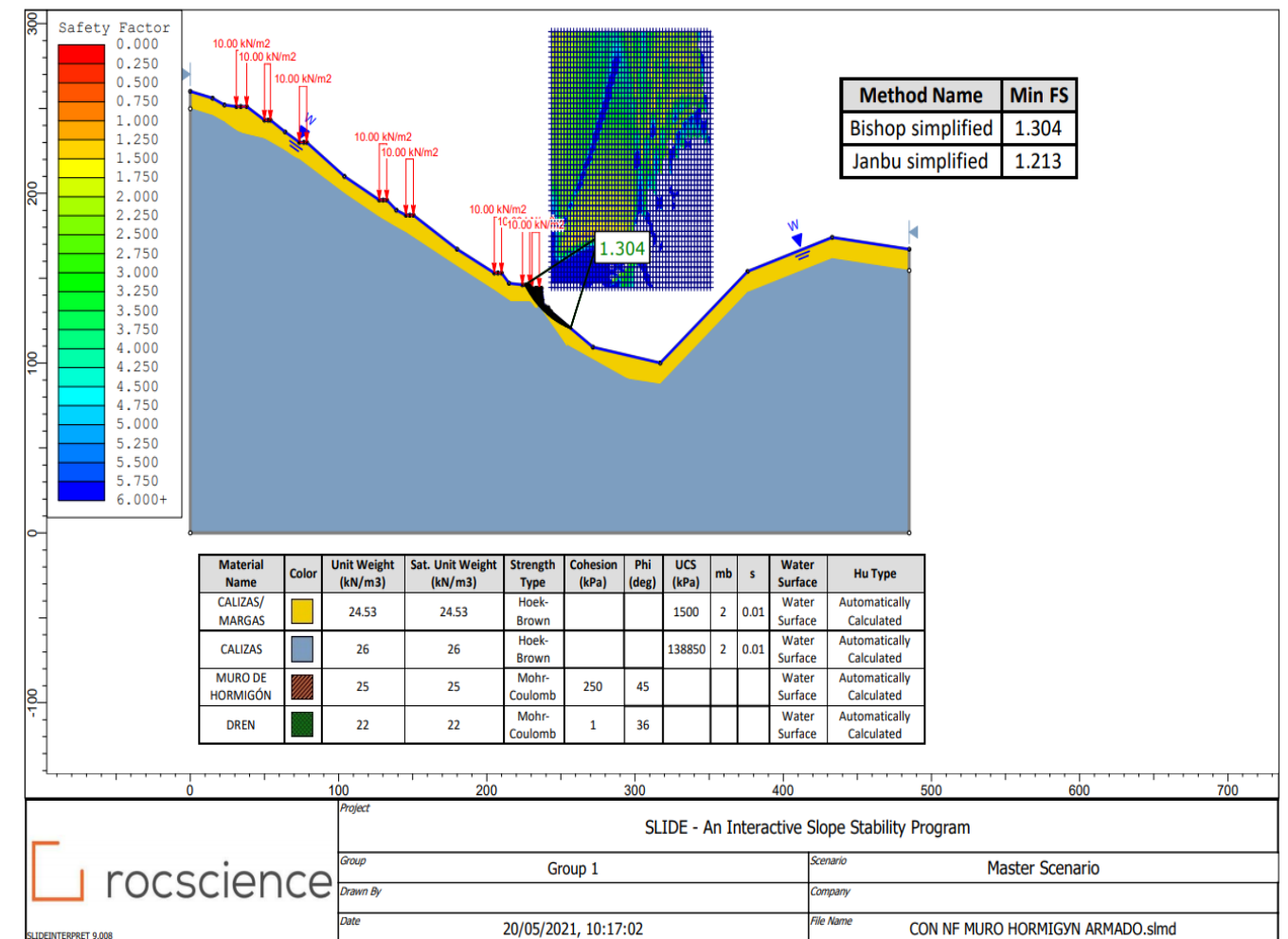


Ilustración 74 Resultados de la estabilidad de la ladera con nivel freático, muro de hormigón armado. Fuente: Slide2.

A la vista de los resultados que se obtienen (Ilustración 74) se puede decir que la ladera con la solución correspondiente a la obra de emergencia se encuentra en el límite de los que se considera **inestable** en el escenario más desfavorable que es con presencia de agua, es decir, en condiciones de una lluvia intensa. En cuanto al círculo de rotura más probable, se observa que pasa por la zona afectada por la rotura anterior de la ladera, por lo que, si se produce una nueva inestabilidad, solo se vería afectada esta zona. Se obtiene un coeficiente de seguridad de **1,213**, válido para taludes reexcavados, pero no se cumple el mínimo de 1,5 que exige la normativa.



No obstante, es importante señalar que, según se ha mostrado en el *Capítulo 4. Visita de campo* (Ilustración 30) (Ilustración 31), la obra de emergencia constituida por un muro de hormigón armado se apoya sobre el estrato de margas y junto a la base del muro ya han empezado a aparecer grietas de tracción que podrían ser un indicio claro de que el talud por debajo del muro se está desestabilizando quizás como consecuencia del cambio de pendiente producido durante las obras, el peso del muro y la meteorización del estrato de margas.

Una vez comprobado que la situación de la ladera es inestable a largo plazo, se procede a estudiar un método de corrección, para lo cual primero se realiza un estudio de distintas alternativas que son técnicamente posibles para elegir la más adecuada de ellas.

## 7. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y PROPUESTA DE ACTUACIÓN

En este capítulo se introduce brevemente el marco teórico de los métodos de estabilización de laderas, y se hace una preselección de las alternativas más recomendables para el caso en estudio, entre la que se realiza un análisis multicriterio.

La metodología de este análisis se explica y se lleva a cabo, llegando finalmente a la solución más adecuada para el problema que se plantea.

### 7.1 Métodos de estabilización de laderas.

Para resolver el problema de estabilidad en las laderas existen distintos métodos. A continuación, se verán los métodos que, en principio se podrían usar para estabilizar la ladera que se está estudiando y posteriormente se procederá a escoger aquellos que se hubieran podido llevar a cabo como la solución más adecuada, teniendo en cuenta el coste, la integración paisajística o el impacto en el medio o lo que es lo mismo, una solución de compromiso.

Cuando un talud implica riesgo de inestabilidad, es necesario realizar diferentes métodos o medidas de estabilización, el objetivo de las medidas de estabilidad de un talud conlleva al aumento del factor de seguridad, esto se consigue al disminuir las fuerzas desestabilizadoras o también aumentando las fuerzas estabilizadoras.

Para ello se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El comportamiento y propiedades geomecánicas del terreno.
- Los mecanismos y tipos de roturas, se debe incluir la velocidad, dirección del movimiento y la geometría que presente la rotura.
- Todos los factores geológicos, hidrogeológicos y otros tipos de condicionantes que puedan influir en la estabilidad de talud.

Además, se debe definir las propiedades y parámetros geotécnicos de los materiales. Para ello se llevará a cabo estudios geológicos, hidrogeológicos, reconocimientos in situ que se complementan con ensayos geotécnicos de laboratorio.

Algunos de los métodos más usados para estabilizar taludes son:

- Modificación de la geometría
- Medidas de drenaje
- Elementos estructurales resistentes
- Muros u otros elementos de contención
- Medidas de protección superficial

A continuación, se estudiará la viabilidad o no de cada uno de los métodos que podrían utilizarse para solucionar el problema de la estabilidad de la ladera.

- **Modificación de la geometría**

Esta opción basada en la modificación de la inclinación de la ladera, no es viable, ya que no se dispone de espacio suficiente para realizar cambios de pendiente.

- **Medidas de drenaje**

Esta solución a priori podría ser viable, pero hay que recordar que se está trabajando en una ladera constituida por calizas y margas, rocas ambas muy sensibles a la presencia de agua. Las primeras por la posibilidad de disolución del carbonato cálcico y la consecuente carstificación que sin duda disminuiría la resistencia de la propia roca y la segunda por la facilidad de alteración y cambio de consistencia en presencia de agua. En una inspección visual del macizo, la ausencia en la roca de un tono rojizo y huecos de disolución, descarta el efecto de agua. Por lo tanto, esta medida constructiva debería ser una solución complementaria a la otra medida de carácter estructural.

- **Elementos estructurales resistentes**

Tiene como objetivo aumentar la resistencia al corte del material mediante el uso de:

- Elementos que incrementan la resistencia del terreno en la superficie de rotura (pilotes o micropilotes).
- Elementos que incrementan las fuerzas tangenciales de rozamiento en la superficie de rotura (anclajes y muros anclados).

La opción más común es la construcción de muros o estructuras de contención que tienen como objetivo reforzar la zona que se encuentra al pie de los taludes, evitando, además, la erosión y generando un ambiente estable.

Algunas de estos elementos son:

- **Muros de contención:** Esta es la solución que se ha llevado a cabo en otros puntos de la misma ladera, por lo que en términos técnicos sí es viable.
- **Muro pantalla de pilotes:** Posible alternativa, es viable por la integración paisajística, en cuanto al procedimiento constructivo, se estudiará si es posible, pues la zona es reducida y esto podría complicar la ejecución de los pilotes. También se estudiará la viabilidad económica, teniendo en cuenta el transporte de la maquinaria y el número necesario de pilotes.
- **Muro pantalla de micropilotes:** Esta alternativa es similar a la anterior.
- **Emplear bulones y hormigón proyectado:** Esta solución que a priori podría parecer menos adecuada en cuanto a la integración paisajística, se escoge por la facilidad constructiva y el bajo coste en el proceso constructivo, así como el fácil mantenimiento. La integración en el paisaje se podría llevar a cabo con una capa de tierra vegetal o añadir aditivos al hormigón para que así sea de un tono más acorde al paisaje.

- **Muro vivo:** Alternativa viable desde el punto de vista ambiental y de la integración paisajística, consiste en mediante la combinación de materiales no vivos como la madera y materiales vivos, como plantas lograr una resistencia al unirse las raíces con la madera.
- **Muros de tierra armada:** Podría ser una solución factible, pues se integraría en el paisaje adecuadamente, la construcción y mantenimiento son sencilla, rápidas y económicas. Esta tipología de muros presenta el inconveniente de que es necesario poder acceder al trasdós del terreno, cosa que no es posible en el caso que nos ocupa, por lo tanto, se descarta.
- **Muros anclados:** Se descarta, pues esta solución es más recomendable cuando aún no se ha producido rotura.
- **Muros de gaviones:** Aunque para la integración paisajística y el aspecto económico sería una buena solución, se descarta por la geometría de la ladera, que es prácticamente vertical y para la construcción de esta tipología de muros la norma general es que nunca se dispongan en forma vertical, sino con un ángulo hacia adentro del talud.
- **Muro de escollera:** Debido a la altura del muro y el reducido espacio con que se cuenta, su elevado peso y tamaño se descarta. El emplazamiento es de dimensiones reducidas, y si se le añade el peso que supondría el muro de escollera podrían generarse inestabilidades en otras zonas de la ladera o que hubieran desprendimientos.
- **Muro de mampostería:** Esta tipología de muros se caracteriza por tener una alta rigidez y muy buena resistencia. Además, la integración paisajística de estos muros es **bastante buena**
- **Muro de mampostería con micropilotes autoperforantes:** Esta solución se ha aplicado en varios puntos de la ladera, consiguiendo una buena integración paisajística. Además, su instalación es rápida y tiene el aval de que cumplirá el objetivo buscado, ya que esta solución es la que se está aplicando a la ladera.

## 7.2 Revisión de alternativas viables

A continuación, se realiza el estudio de cinco alternativas que se consideran viables inicialmente.

Se descarta el muro pantalla con pilotes por la similitud entre esta alternativa y la del muro pantalla con micropilotes, en el caso de que, tras realizar el análisis multicriterio, la alternativa con mayor peso fuera la de muro pantalla con micropilotes, se realizaría un estudio más detallado para ver si es más conveniente realizar la medida de estabilización con un muro pantalla de pilotes o de micropilotes.

También se descarta la solución que emplea bulones y hormigón proyectado, por ser una solución radicalmente distinta a la que se viene adoptando en otros puntos de la ladera, que consiste en construir un muro de mampostería con micropilotes autoperforantes. Se observa que a pesar de que hay bastantes alternativas, se estudian aquellas que tienen un funcionamiento mecánico distinto, para ver realmente cual es la idónea y obtener así valores con márgenes considerables.



Por tanto, descartada la modificación geométrica de la ladera se va a optar por construir un elemento estructural resistente (muro) que se complementará con adecuadas medidas de drenaje.

Para el diseño del muro se estudian las siguientes *cinco alternativas*:

1. Muro de contención de hormigón armado
2. Muro pantalla de micropilotes
3. Muro vivo
4. Muro de mampostería
5. Muro de mampostería con micropilotes autoperforantes

Se realiza un análisis multicriterio, herramienta muy útil en diversos campos a la hora de decidir cual es la solución óptima de un problema. Se establecen cuatro criterios de elección, que a su vez constan de varios subcriterios. Estos subcriterios ayudan a realizar el análisis del criterio de forma individual frente a las posibles alternativas. Tanto los criterios como los subcriterios tienen un peso a la hora de definir la solución más conveniente. Hay que destacar que se descarta la inclusión de criterios, que a priori no dotarían de peso a las alternativas, cuando estas se comparen entre sí, es por ello que, criterios como la funcionalidad, se descartan, pues todas las alternativas que se analizan van a cumplir su objetivo que es lograr que la ladera sea estable.

Para este estudio se han elegido los siguientes criterios:

- **Sociales:** En este criterio, se valora que durante la fase de construcción los usuarios de esta vía de conexión entre las poblaciones de Losilla y San Miguel se vean afectados el menor tiempo posible.
- **Adecuación y facilidad constructiva:** Se valora la adaptabilidad de la alternativa al entorno, dentro del marco constructivo, así como posibles dificultades que puedan darse en la fase de construcción. También se tiene en cuenta el transporte de la maquinaria que requiere cada alternativa.
- **Económica:** Se pretende determinar cual va a ser la alternativa más económica dentro del proceso proyecto-construcción-mantenimiento, aunque no será a priori el criterio de mayor peso.
- **Impacto ambiental:** Este criterio es de suma importancia, ya que la actuación tiene lugar en el medio natural, por lo que lo que se busca con este criterio es conseguir una alternativa que se adapte de una forma adecuada al entorno y que durante la fase de construcción y durante su vida útil, este se vea lo menos afectado posible.

A continuación, se nombran los criterios explicados y sus subcriterios.

- Social
  - Accesos durante las obras
  - Duración de las obras
  - Visualización y sensación de seguridad de la obra terminada
- Adecuación y facilidad constructiva
  - Facilidad constructiva
  - Duración de las obras
  - Transporte, de la maquinaria o material necesario para realizar las operaciones de construcción. Los accesos al emplazamiento, limitaciones por la geometría del trazado etc.
  - Adecuación constructiva
- Economía
  - Coste de los materiales
  - Coste de construcción
  - Coste de transporte, de material y de maquinaria al emplazamiento.
  - Coste de mantenimiento
  - Coste de reparaciones
- Impacto ambiental
  - Integración paisajística
  - Duración de las obras
  - Sostenibilidad

Después de definir los criterios, los subcriterios y las alternativas que se van a estudiar, se decide que se emplea el **Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP)** (Ilustración 75). Este método selecciona las alternativas en función de una serie de criterios y a su vez esto mediante los subcriterios, todos ellos jerarquizados, es habitual que entren en conflicto.

El objetivo final de esta estructura jerárquica se encuentra en la parte más elevada, mientras que los criterios y subcriterios están en los niveles inferiores, tal y como se muestran en la Ilustración 75. El concepto clave de este método es elegir y definir de una forma adecuada los criterios y subcriterios, para ello se deben definir correctamente, deben ser relevantes y además mutuamente excluyentes, solo así se consigue la eficacia en este método de análisis.

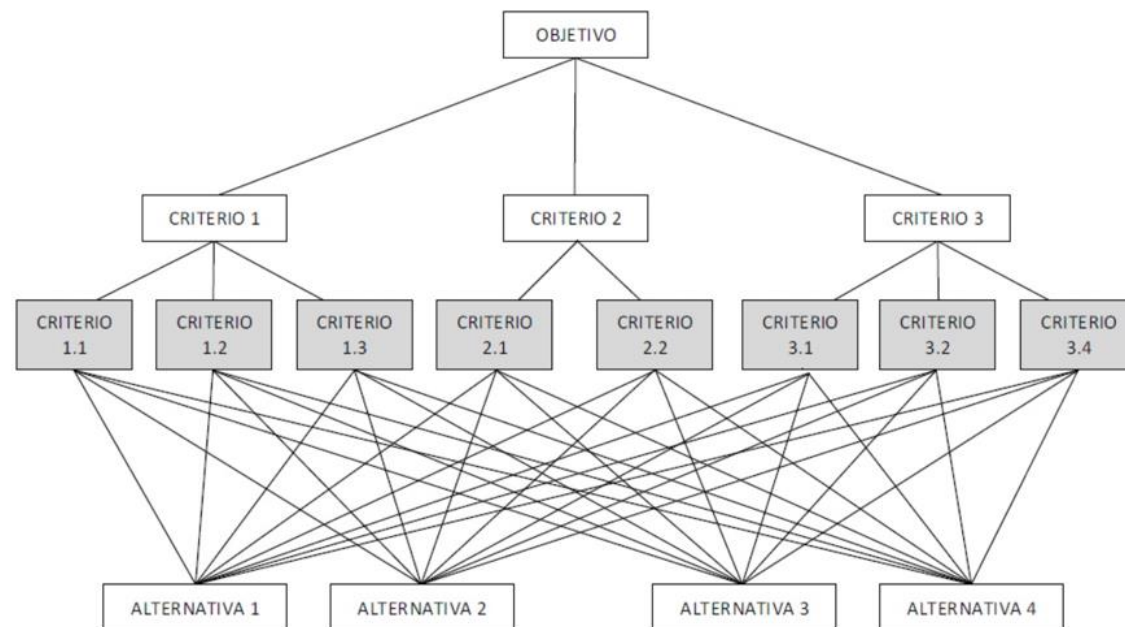


Ilustración 75 Ejemplo de estructura jerárquica AHP. Fuente: Blog del Prof. Víctor Yepes.

Una vez definida la estructura jerárquica, se comparan los criterios de cada grupo del mismo nivel jerárquico y la comparación directa por pares de las alternativas respecto a los criterios del nivel inferior. En este método, AHP para comparar cada alternativa con otra, se utiliza una escala fundamental del 1 al 9 que ha sido satisfactoria en comprobaciones empíricas realizadas en situaciones reales muy diversas (Ilustración 76).

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIOS
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente el criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda
2,4,6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	

Ilustración 76 Escala de comparación por pares, Saaty. Fuente: Blog del Prof. Víctor Yepes.

La comparación de las diferentes alternativas respecto al criterio del nivel inferior de la estructura jerárquica, como la comparación de los diferentes criterios de un mismo nivel jerárquico dan lugar a una matriz cuadrada denominada matriz de decisión. Esta matriz cumple con las propiedades de reciprocidad (si  $a_{ij}=x$ , entonces  $a_{ji}=1/x$ ), homogeneidad (si  $i$  y  $j$  son igualmente importantes,  $a_{ij}=a_{ji}=1$ , y además,  $a_{ii}=1$  para todo  $i$ ), y consistencia (la matriz no debe contener contradicciones en la valoración realizada).

La consistencia se obtiene mediante el índice de consistencia (Consistency Index, CI) donde  $\lambda_{max}$  es el máximo autovalor y  $n$  es la dimensión de la matriz de decisión (ecuación 8). Un índice de consistencia igual a cero significa que la consistencia es completa. Una vez obtenido CI, se obtiene la proporción de consistencia (Consistency Ratio, CR) (ecuación 9) siendo aceptado siempre que no supere los valores indicados en la (Ilustración 78). Si en una matriz se supera el CR máximo, hay que revisar las ponderaciones.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (8)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (9)$$

RI es el índice aleatorio, que indica la consistencia de una matriz aleatoria. A continuación, se muestra el índice aleatorio en función del tamaño de la matriz (Ilustración 77).

Tamaño de la matriz	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice aleatorio	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Ilustración 77 Índice aleatorio RI, para el cálculo de la consistencia. Fuente: Blog del Prof. Víctor Yepes.

Tamaño de la matriz (n)	Ratio de consistencia
3	5%
4	9%
5 o mayor	10%

Ilustración 78 Porcentajes máximos de consistencia. Fuente: Blog del Prof. Víctor Yepes.



Una vez verificada la consistencia, se obtienen los pesos, que representan la importancia relativa de cada criterio o las prioridades de las diferentes alternativas respecto a un determinado criterio. Para ello, el AHP original utiliza el método de los autovalores, donde hay que resolver la ecuación 10:

$$A \cdot w = \lambda_{max} \cdot W \quad (10)$$

donde A representa la matriz de comparación, w el autovector o vector de preferencia, y  $\lambda_{max}$  el autovalor. Finalmente se multiplican los vectores que se generan de las variables, es decir los pesos, por la matriz que se crea con la importancia de cada criterio sobre cada alternativa.

A continuación, se aplica el método al presente estudio: Se aplica la matriz de decisión de las variables, de manera lo más objetiva posible. (Blog del profesor Víctor Yepes)

### 7.3 Estudio de soluciones

En primer lugar, se definen las variables que se van a estudiar y se aplica la matriz de decisión de las variables, (Tabla 8)

	V1	V2	V3	V4	Wi	Ci	LAMDAi
V1	1	3	5	2	2,34	0,44	0,90
V2	1/3	1	6	1/3	0,90	0,17	1,22
V3	1/5	1/6	1	1/7	0,26	0,05	0,94
V4	1/2	3	7	1	1,80	0,34	1,18

Tabla 8 Matriz de decisión de las variables o criterios. Determinación de pesos por el método SAATY (EMC)

Este análisis asigna unos pesos a cada variable. (Tabla 9)

		PESOS	
V1	Impacto Ambiental	0,44	C1
V2	Sociales	0,17	C2
V3	Adecuacion y facilidad constructiva	0,05	C3
V4	Económico	0,34	C4
		1,00	

Tabla 9 Pesos de las variables o criterios.

El resultado de este análisis es consistente, es decir, favorable.

CR= 0,0797 Consistente

Se observa (Tabla 9) que la variable que mayor peso tiene es la V1, el impacto ambiental, es la variable de mayor peso, por lo tanto, es la que va a tener la capacidad de decidir respecto a otras. Esta variable adquiere tanta importancia debido a que se está haciendo un estudio de soluciones para una ladera, que está en el medio natural, por lo que conservar la homogeneidad, el impacto visual y que las actuaciones modifiquen el entorno lo menos posible es vital.

Por otro lado, se tiene la V4, el factor económico que también tendrá una importante relevancia.

Por último, se tienen la V2, el factor social y el V3, el factor de la adecuación y facilidad constructiva, que, aunque ambos están lejos del peso de V1 y V4, hay que destacar que el factor social es 3 veces mayor que el de la adecuación y la facilidad constructiva.

Por lo tanto, debido al emplazamiento del muro, en un medio natural y buscando la solución más económica, los pesos del impacto ambiental y la economía son los predominantes, mientras que, en un segundo plano, quedan la variable social, y al adecuación y facilidad constructiva, pues con la situación actual es importante realizar infraestructuras sostenibles y que se integren de una forma adecuada en el paisaje. Estas dos premisas se han tenido muy en cuenta a la hora de realizar el análisis para obtener los pesos de las variables y cumplir así con los objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030.

Con estas 4 variables se trata de buscar una solución eficaz y eficiente, es decir una solución de compromiso.

A continuación, se procede al análisis y justificación de las alternativas con cada variable.

Se ha decidido trabajar con una escala de colores que se puede ver en la siguiente imagen, este criterio es orientativo y es el que se usa en todos los análisis de los distintos criterios (Tabla 10).

MUY BUENA	
BUENA	
MEDIA	
MALA	
MUY MALA	

Tabla 10 Criterio de ponderación.

1. **Impacto ambiental.** En primer lugar, se analiza el impacto ambiental, dentro de este criterio, se usan los siguientes subcriterios para ponderar cada alternativa desde un punto de vista del impacto ambiental.

El análisis de los subcriterios es el siguiente (Tabla 11):

	IMPACTO AMBIENTAL				
	A1	A2	A3	A4	A5
Integración paisajística					
Duración de las obras					
Sostenibilidad					

Tabla 11 Subcriterios de la variable 1.

Se muestra a continuación la matriz de decisión:

VARIABLE 1: IMPACTO AMBIENTAL						Wi	Ci	LAMDai
	A1	A2	A3	A4	A5			
A1	1	1/6	1/7	1/8	1/9	0,20	0,03	0,89
A2	6	1	1/4	1/3	1/4	0,66	0,09	1,14
A3	7	4	1	1/2	1/3	1,36	0,19	1,24
A4	8	3	2	1	1/2	1,89	0,27	1,06
A5	9	4	3	2	1	2,93	0,42	0,91

Tabla 12 Matriz de decisión respecto a la variable 1.

El resultado del análisis es favorable, tal y como se muestra a continuación.

CR= **0,0499** Consistente

A continuación, (Tabla 13) se puede ver el valor que ha tomado cada alternativa teniendo en cuenta el impacto ambiental.

		PESOS	
A1	Muro de contención, hormigón armado	0,03	C1
A2	Muro pantalla de micropilotes	0,09	C2
A3	Muro vivo	0,19	C3
A4	Muro de mampostería con micropilotes autoperforantes	0,27	C4
A5	Muro de mampostería	0,42	C5
		1,00	

Tabla 13 Pesos de las alternativas respecto a la variable de impacto ambiental.

Los resultados obtenidos muestran que las alternativas 4 y 5 son las que menor impacto ambiental tienen en la zona, y que la alternativa 1, a pesar de ser la que está ejecutada, es la que mayor impacto ambiental causa, a pesar de que a nivel funcional sea igual de válida que las demás.

2. **Social.** La siguiente variable que se estudia es la social. Se han usado los siguientes subcriterios (Tabla 14) para basar los resultados que se han obtenido. Se sigue usando la escala de colores, (Tabla 10) como se ha dicho en la variable anterior.

Con el análisis de los subcriterios se obtiene la siguiente matriz:

	SOCIAL				
	A1	A2	A3	A4	A5
Accesos durante obras					
Duración de las obras					
Ver la obra terminada					

Tabla 14 Subcriterios de la variable 2.

La matriz de decisión obtenida es la siguiente:

VARIABLE 2: Social						Wi	Ci	LAMDai
	A1	A2	A3	A4	A5			
A1	1	1/3	1/5	1/7	1/8	0,26	0,04	0,87
A2	3	1	1/3	1/4	1/5	0,55	0,08	1,03
A3	5	3	1	1/3	1/4	1,05	0,15	1,25
A4	7	4	3	1	1/2	2,11	0,30	1,10
A5	8	5	4	2	1	3,17	0,44	0,92

Tabla 15 Matriz de decisión respecto a la variable 2.



El resultado del análisis es favorable, tal y como se muestra a continuación.

CR= 0,0369 Consistente

Los pesos que obtienen las distintas alternativas tras el análisis de la variable social es el siguiente:

		PESOS	
A1	Muro de contención, hormigón armado	0,04	C1
A2	Muro pantalla de micropilotes	0,08	C2
A3	Muro vivo	0,15	C3
A4	Muro de mampostería con micropilotes autoperforantes	0,30	C4
A5	Muro de mampostería	0,44	C5
		1,00	

Tabla 16 Pesos de las alternativas respecto a la variable social.

De este análisis (Tabla 16) se puede destacar que las alternativas 4 y 5 son las de mayor peso con diferencia, esto se debe a que esta solución es la que está en toda la ladera, por lo que no llamaría la atención de la gente una vez terminada la actuación. Además de que como ya se ha estado llevando a cabo, las operaciones a realizar y los tiempos ya son conocidos por los vecinos y además se entiende que respeta los accesos.

**3. Adecuación y facilidad constructiva.** La tercera variable tiene como objetivo valorar la adecuación de cada alternativa y la facilidad del proceso proyecto construcción.

Se obtiene la siguiente matriz:

	ADECUACIÓN Y FACILIDAD CONSTRUCTIVA				
	A1	A2	A3	A4	A5
Facilidad constructiva	Green	Yellow	Yellow	Green	Green
Duración de las obras	Green	Green	Yellow	Yellow	Green
Transporte	Green	Yellow	Red	Green	Green
Adecuación constructiva	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Green

Tabla 17 Subcriterios de la variable 3.

La matriz de decisión que se obtiene es la que se muestra a continuación:

VARIABLE 3: Adecuación y facilidad constructiva						Wi	Ci	LAMDAi
	A1	A2	A3	A4	A5			
A1	1	3	6	4	2	2,70	0,43	0,98
A2	1/3	1	4	1/2	1/2	0,80	0,13	1,06
A3	1/6	1/4	1	1/3	1/3	0,34	0,05	0,93
A4	1/4	2	3	1	1/2	0,94	0,15	1,19
A5	1/2	2	3	2	1	1,43	0,23	1,00

Tabla 18 Matriz de decisión respecto a la variable 3.

El resultado del análisis es favorable, tal y como se muestra a continuación.

CR= 0,0337 Consistente

Este análisis nos muestra los siguientes pesos de las alternativas que se están estudiando en el análisis:

		PESOS	
A1	Muro de contención, hormigón armado	0,43	C1
A2	Muro pantalla micropilotes	0,13	C2
A3	Muro vivo	0,05	C3
A4	Muro de mampostería con micropilotes atoporantes	0,15	C4
A5	Muro mampostería	0,23	C5
		1,00	

Tabla 19 Pesos de las alternativas respecto a la variable de adecuación y facilidad constructiva.

Se ve (Tabla 19) que la alternativa de mayor peso es la alternativa 1, un muro de contención de hormigón armado, esta es la solución que hay actualmente. Esto es coherente pues fue la solución que se propuso en un proyecto de emergencia, en este tipo de proyecto el objetivo es encontrar una solución rápida y eficaz. En cuanto al muro vivo, tiene muy poco peso, y además es muy dispar de las otras tres alternativas, ya que para esta tipología de muros hay que esperar un tiempo a que las raíces se cojan entre sí y realicen la función de resistir o en este caso de estabilizar la zona afectada. Por otra parte, con poca diferencia de peso se encuentran las alternativas A2 A4 y A5.

**4. Económico.** El último criterio que se estudia es el económico, donde se estudian primero los subcriterios, dando como resultado la siguiente matriz:

	ADECUACIÓN Y FACILIDAD CONSTRUCTIVA				
	A1	A2	A3	A4	A5
Coste diseño	Green	Yellow	Yellow	Green	Green
Coste construcción	Green	Orange	Green	Yellow	Green
Coste transporte	Green	Yellow	Red	Orange	Green
Coste mantenimineto	Green	Yellow	Yellow	Green	Green
Coste reparaciones	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Orange

Tabla 20 Subcriterios de la variable 4.

Se obtiene la siguiente matriz de decisión:

VARIABLE 4: ECONOMÍCO						Wi	Ci	LAMDAi
	A1	A2	A3	A4	A5			
A1	1	3	2	2	2	1,89	0,33	0,94
A2	1/3	1	1/2	1/2	1/3	0,49	0,09	0,94
A3	1/2	2	1	1/3	1/4	0,61	0,11	1,12
A4	1/2	2	3	1	1/2	1,08	0,19	1,11
A5	1/2	3	4	2	1	1,64	0,29	1,17

Tabla 21 Matriz de decisión respecto a la variable 4.

Con su correspondiente resultado de favorable.

CR= 0,0583 Consistente

Los pesos que se obtiene con este análisis son los siguientes:

		PESOS	
A1	Muro de contención, hormigón armado	0,33	C1
A2	Muro pantalla de micropilotes	0,09	C2
A3	Muro vivo	0,11	C3
A4	Muro de mampostería con micropilotes autoperforantes	0,19	C4
A5	Muro de mampostería	0,29	C5
		1,00	

Tabla 22 Pesos de las alternativas respecto a la variable económica.

Con el análisis del criterio económico se obtiene que la solución más viable es la que hay actualmente, una solución convencional (Tabla 22). Por otro lado, la construcción de un muro de mampostería también tiene un peso considerable, pues no deja de ser un muro, solo que de una tipología distinta. Las alternativas 2, 3 y 4 van de menor a mayor peso respectivamente, siendo la diferencia más destacable en el coste del transporte pues la alternativa 4, es una nueva técnica e innovadora, que permite la colocación manual de los micropilotes, ahorrando una cantidad sustancial en la maquinaria de la colocación de los pilotes.

Finalmente, con todos los pesos obtenidos, se construye una matriz con los pesos de las alternativas, de 4 columnas, (número de alternativas) una por cada criterio al que se ha estudiado, y esta matriz se multiplica por otra de una sola columna, que será la matriz de los pesos de cada criterio, que se ha obtenido al principio del análisis. El resultado de esta matriz nos proporciona la alternativa más viable o conveniente.

$$\begin{pmatrix} 0,03 & 0,04 & 0,43 & 0,33 \\ 0,09 & 0,08 & 0,13 & 0,09 \\ 0,19 & 0,15 & 0,05 & 0,11 \\ 0,27 & 0,3 & 0,15 & 0,19 \\ 0,42 & 0,44 & 0,23 & 0,29 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 0,44 \\ 0,17 \\ 0,05 \\ 0,34 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,15 \\ 0,10 \\ 0,15 \\ 0,24 \\ 0,37 \end{pmatrix}$$

Por lo tanto, el análisis multicriterio indica que la **solución óptima**, teniendo en cuenta los criterios que se han elegido, es construir un **muro de mampostería**. En segundo lugar, queda la opción de un muro de **mampostería con micropilotes autoperforantes**, por lo que al ser estas dos las de mayor peso y siendo la segunda alternativa la que más presencia tiene en la ladera, se tendrá en cuenta para la definición definitiva de la solución recomendada.

#### 7.4 Análisis de sensibilidad.

El objetivo de este apartado es determinar la estabilidad de la solución adoptada. Este análisis de sensibilidad se realiza mediante variaciones en las coordenadas de partida, es decir de las variables. Por lo que en este caso se le va a dar una menor importancia a las variables del impacto ambiental y de la economía y se decide dotar de más importancia a la variable social y de adecuación y facilidad constructiva.

El resultado de la matriz de decisión (Tabla 23) es el siguiente:

	V1	V2	V3	V4	Wi	Ci	LAMDAi
V1	1	2	4	2	2,00	0,40	0,91
V2	1/2	1	6	1/2	1,11	0,22	1,15
V3	1/4	1/6	1	1/6	0,29	0,06	0,99
V4	1/2	2	6	1	1,57	0,32	1,16

Tabla 23 Matriz de decisión de las variables después del análisis de sensibilidad

Los pesos que se obtienen con este análisis (Tabla 24), son los siguientes:

		PESOS	
V1	Impacto Ambiental	0,40	C1
V2	Sociales	0,22	C2
V3	Adecuacion y facilidad constructiva	0,06	C3
V4	Económico	0,32	C4
		1,00	

Tabla 24 Valores de los pesos de las alternativas después del análisis de sensibilidad



Después de este análisis se ve que los pesos se han modificado, pero a pesar de ello no han cambiado su orden de importancia, por lo que se demuestra que, disminuyendo los pesos a los criterios más significativos en este procedimiento, la alternativa más adecuada sería la misma.

### 7.5 Estabilidad de las alternativas más adecuadas

Como resultado del análisis multicriterio se obtiene que hay dos alternativas presentan pesos muy similares. Es por ello que se procede al estudio de la estabilidad de la ladera con la aplicación de las dos medidas de mayor peso:

1. Muro de mampostería
2. Muro de mampostería con micropilotes autoperforantes

Se procede a realizar los análisis pertinentes con la alternativa 1. La diferencia entre ambas es que la alternativa 2 incorpora al muro micropilotes autoperforantes. Esta alternativa se estudia puesto que se ha observado en otros puntos del trazado de esta misma carretera donde se ha aplicado esta medida adicional. Se describe el proceso hasta que se llegan a estudiar los dos casos mencionados anteriormente.

Se comienza con el análisis de la alternativa más económica, un muro de mampostería con unión entre las piezas mediante mortero de cemento de revoco.

Se han usado las siguientes características para los distintos elementos del terreno y estructurales:

- **Muro mampostería con mortero de revoco.**
  - Alternancias de margas y calizas.
    - Peso específico =  $24,53 \text{ kN/m}^3$
    - Peso específico saturado =  $24,53 \text{ kN/m}^3$  (baja porosidad)
    - UCS (Resistencia a compresión simple) = 1500 kPa
    - $m = 2$
    - $s = 0,01$
    - $D = 0$
  - Calizas potentes.
    - Peso específico =  $26 \text{ kN/m}^3$
    - Peso saturado =  $26 \text{ kN/m}^3$  (mínima fracturación)
    - UCS (Resistencia a compresión simple) = 138850 kPa
    - $m = 2$
    - $s = 0,01$
    - $D = 0$

Para este estrato y el superior, al tratarse de roca, el criterio de rotura más adecuado es el de Hoek-Brown.

- Muro de mampostería
  - Peso específico =  $24 \text{ kN/m}^3$
  - Peso específico saturado =  $24 \text{ kN/m}^3$
  - Adherencia = 250 kPa
  - Ángulo de rozamiento =  $45^\circ$
- Relleno trasdós
  - Peso específico =  $22 \text{ kN/m}^3$
  - Peso específico saturado =  $22 \text{ kN/m}^3$
  - Cohesión = 1 kPa (Valor simbólico necesario para usar la aplicación)
  - Ángulo de rozamiento =  $36^\circ$

Se obtiene el siguiente resultado:

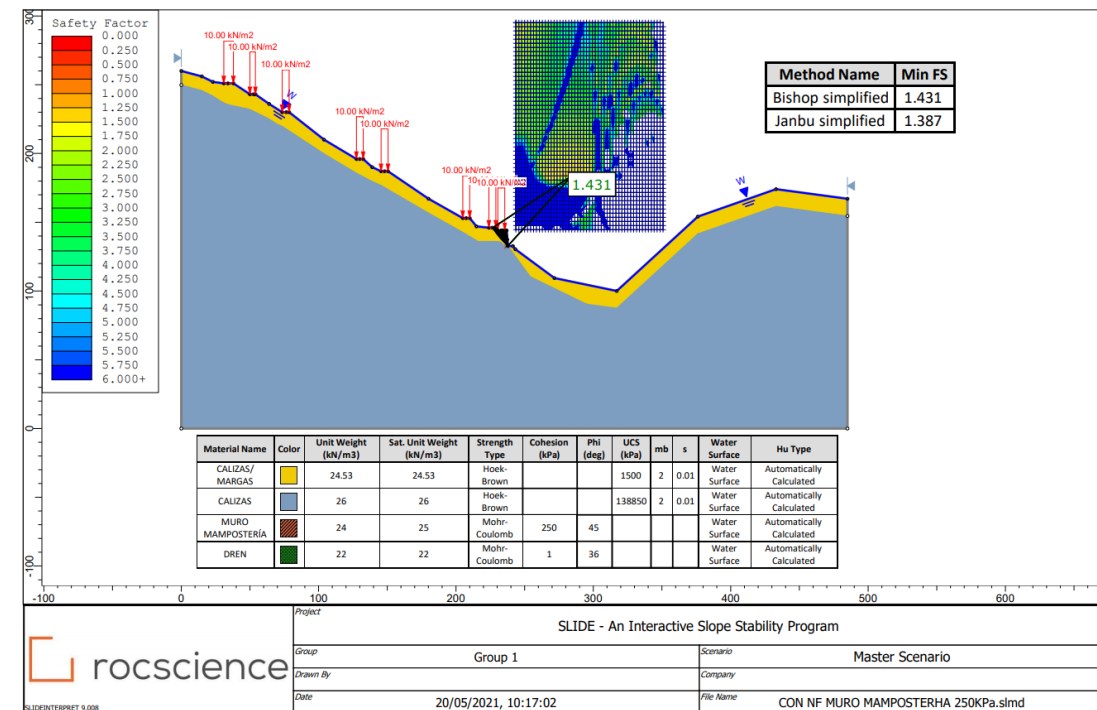


Ilustración 79 Resultado de la estabilidad de la ladera con presencia de agua y con muro de mampostería con mortero de revoco.

En este análisis (Ilustración 79) se simula la solución más económica. Esta solución no cumple la normativa, ya que el coeficiente de seguridad proporciona un valor de **1,387** y debería de alcanzar como mínimo de 1,5. Después de este resultado, hay que plantearse dos alternativas que permitan obtener un coeficiente de seguridad mayor:

- a. **Aumentar la calidad del mortero**, es decir, colocar una lechada de cemento que proporcione una adherencia mayor habida cuenta de que la rotura se produce a través del cuerpo del muro.
- b. **Utilizar micropilotes autoperforantes**, que “cosan” el muro al terreno y con una densidad tal que consigan aumentar el coeficiente de seguridad al menos hasta 1,5.

■ **Muro mampostería con mortero resistente.**

- Alternancias de margas y calizas.
  - Peso específico =  $24,53 \text{ kN/m}^3$
  - Peso específico saturado =  $24,53 \text{ kN/m}^3$  (baja porosidad)
  - UCS (Resistencia a compresión simple) = 1500 kPa
  - $m = 2$
  - $s = 0,01$
  - $D = 0$
- Calizas potentes.
  - Peso específico =  $26 \text{ kN/m}^3$
  - Peso saturado =  $26 \text{ kN/m}^3$  (mínima fracturación)
  - UCS (Resistencia a compresión simple) = 138850 kPa
  - $m = 2$
  - $s = 0,01$
  - $D = 0$
- Muro de mampostería
  - Peso específico =  $24 \text{ kN/m}^3$
  - Peso específico saturado =  $24 \text{ kN/m}^3$
  - Adherencia = 350 kPa
  - Ángulo de rozamiento = 45
- Relleno trásdos
  - Peso específico =  $22 \text{ kN/m}^3$
  - Peso específico saturado =  $22 \text{ kN/m}^3$
  - Cohesión = 1
  - Ángulo de rozamiento =  $36^\circ$

Se obtiene el siguiente resultado:

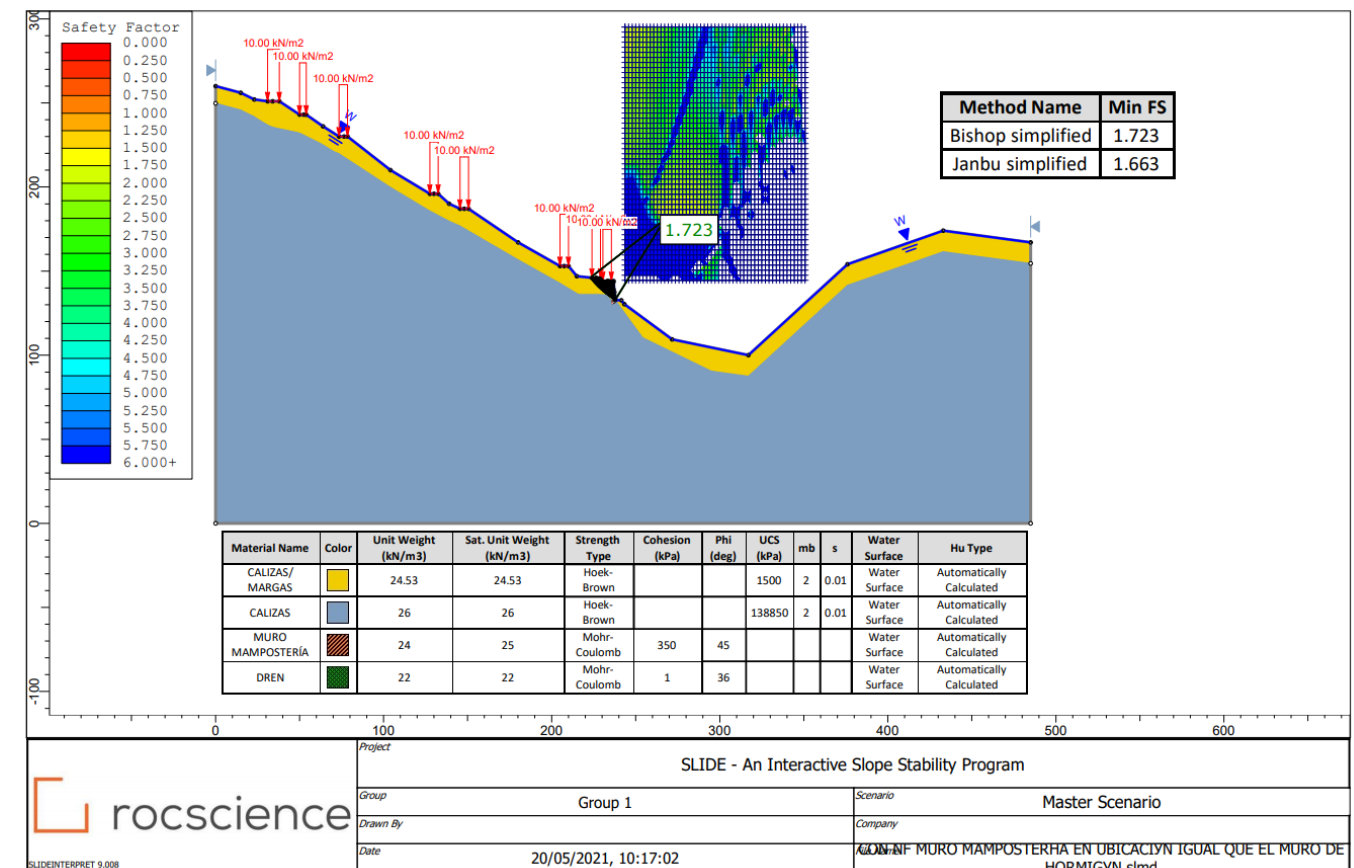


Ilustración 80 Resultado de la estabilidad de la ladera con nivel freático y muro de mampostería con mortero M-7,5 N/mm<sup>2</sup>.

A la vista de estos resultados, (Ilustración 80) se comprueba que el uso de un mortero tipo M-7,5, de mejor calidad y apropiado para la unión de piedras, mejora el coeficiente de seguridad alcanzando un valor mayor de 1,5, por lo que, desde el punto de vista de la seguridad, cumple. A pesar de que el círculo de rotura más desfavorable pase justo por el muro de mampostería, se considera que es aceptable.

- **Muro de mampostería con mortero de revoco y micropilotes autoperforantes.**

Lo que se pretende conseguir es lograr aumentar el coeficiente de seguridad con una solución alternativa a la anterior que consista en emplear el mortero de menor calidad, con la colocación adicional de micropilotes autoperforantes, tal y como se ha observado en otros puntos de la ladera, en lugar de aumentar la calidad del mortero.



- Alternancias de margas y calizas.
  - Peso específico =  $24,53 \text{ kN/m}^3$
  - Peso específico saturado =  $24,53 \text{ kN/m}^3$
  - UCS (Resistencia a compresión simple) = 1500 kPa
  - $m = 2$
  - $s = 0,01$
  - $D = 0$
- Calizas potentes.
  - Peso específico =  $26 \text{ kN/m}^3$
  - Peso saturado =  $26 \text{ kN/m}^3$
  - UCS (Resistencia a compresión simple) = 1500 kPa
  - $m = 2$
  - $s = 0,01$
  - $D = 0$

Para este estrato y el superior, al tratarse de roca, el criterio de rotura más adecuado es el de Hoek-Brown.

- Muro de mampostería
  - Peso específico =  $24 \text{ kN/m}^3$
  - Peso específico saturado =  $24 \text{ kN/m}^3$
  - Adherencia = 250 kPa
  - Ángulo de rozamiento =  $45^\circ$
- Dren
  - Peso específico =  $22 \text{ kN/m}^3$
  - Peso específico saturado =  $22 \text{ kN/m}^3$
  - Cohesión = 1
  - Ángulo de rozamiento =  $36^\circ$
- Micropilotes autoperforantes
  - Ángulo respecto a la horizontal =  $210^\circ$
  - Largo = 12 m
  - Separación entre micropilotes = 2,8 m
  - Tipo de fuerza = Pasiva
  - Número = 5

Se obtiene el siguiente resultado:

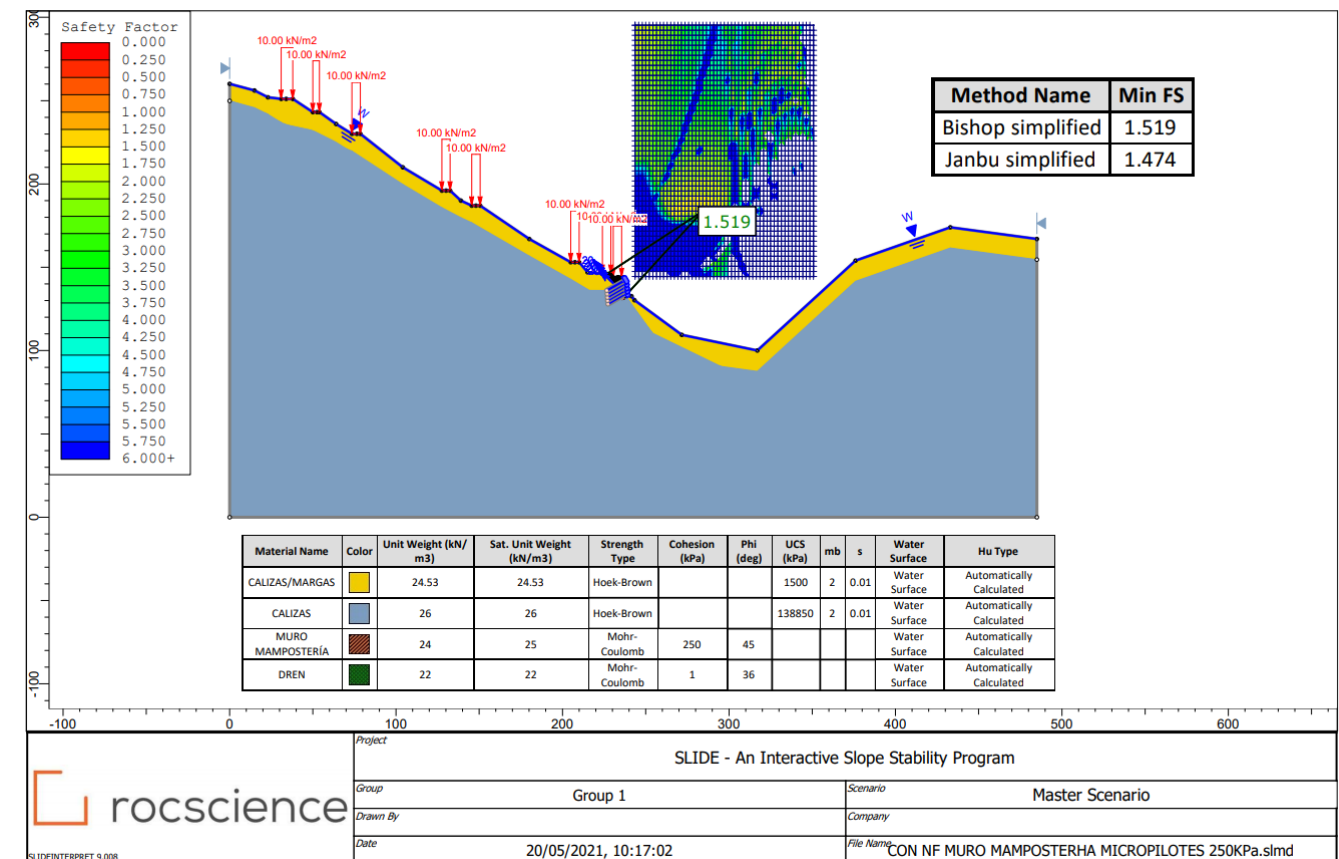


Ilustración 81 Resultado de la estabilidad de la ladera con nivel freático y muro de mampostería con micropilotes autoperforantes y mortero de revoco.

Viendo el resultado del análisis, (Ilustración 81) queda claro que la colocación de micropilotes no supone un incremento del coeficiente de seguridad tan confiable como el uso de un mortero de cemento de mayor calidad.

Por lo tanto, de este análisis se pueden obtener las siguientes conclusiones:

1. La colocación de **micropilotes autoperforantes no contribuye a una mayor estabilidad de forma significativa.**
2. Desde el punto de vista **económico** es más rentable la colocación de un mortero de mayor calidad que colocar unos micropilotes.
3. En cuanto a la **estabilidad**, va a proporcionar una mayor seguridad a la zona de estudio el **muro de mampostería con un mortero M-7,5 N/mm<sup>2</sup>** que colocar micropilotes.
4. En cuanto a la **facilidad constructiva**, al estar en un terreno rocoso, será más costoso la hincada de los micropilotes que simplemente colocar un **muro de mampostería** con mortero de unión entre mampuestos.



Después de este análisis, realizado con la aplicación informática *Slide* se procede a definir de forma detallada la solución que mejor contribuye a la estabilidad de la ladera, **un muro de mampostería con mortero M-7,5**.

Además, esta solución en comparación con la otra, un muro de muro de mampostería con micropilotes autoperforantes con mortero de revoco, que se tienen en cuenta en el estudio de la estabilidad por ser la segunda alternativa de mayor peso y sin una diferencia considerable entre ambas. También proporciona unos resultados mejores desde el punto de vista económico y de adaptabilidad y facilidad constructiva. Todo este análisis se puede ver de una forma más detallada en el *Anejo 1*.

## 8.DEFINICIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

Este capítulo tiene como finalidad definir de forma detallada la solución que se adopta para la estabilidad de la ladera en el PK 2+800 de la carretera CV-363 que une las poblaciones de Losilla y Puebla de San Miguel (Valencia).

Se han seguido las disposiciones constructivas que aparecen en la *Guía para el proyecto y la ejecución de muros de escollera en obras de carretera*. Con el fin de que no se produzca en el muro vuelco, hundimiento ni deslizamiento. Para evitar el hundimiento, se empotra el muro en el estrato de calizas, para que no se produzca deslizamiento, la base del muro se inclina hacia el interior de la ladera y para que tampoco haya vuelco se añade terreno en el intradós del muro y se construyen bermas con vegetación para aumentar la resistencia en esta zona. Este terreno en el intradós genera un esfuerzo de empuje pasivo, que contrarresta el empuje activo en el trasdós del muro.

Esta solución consiste en realizar un muro de mampostería en la zona del desprendimiento localizado en el PK 2+800 de la CV-363. La solución consigue dotar a la ladera de un coeficiente de seguridad frente a rotura global mayor de 1,5, dotándola de suficiente estabilidad (Ilustración 82).



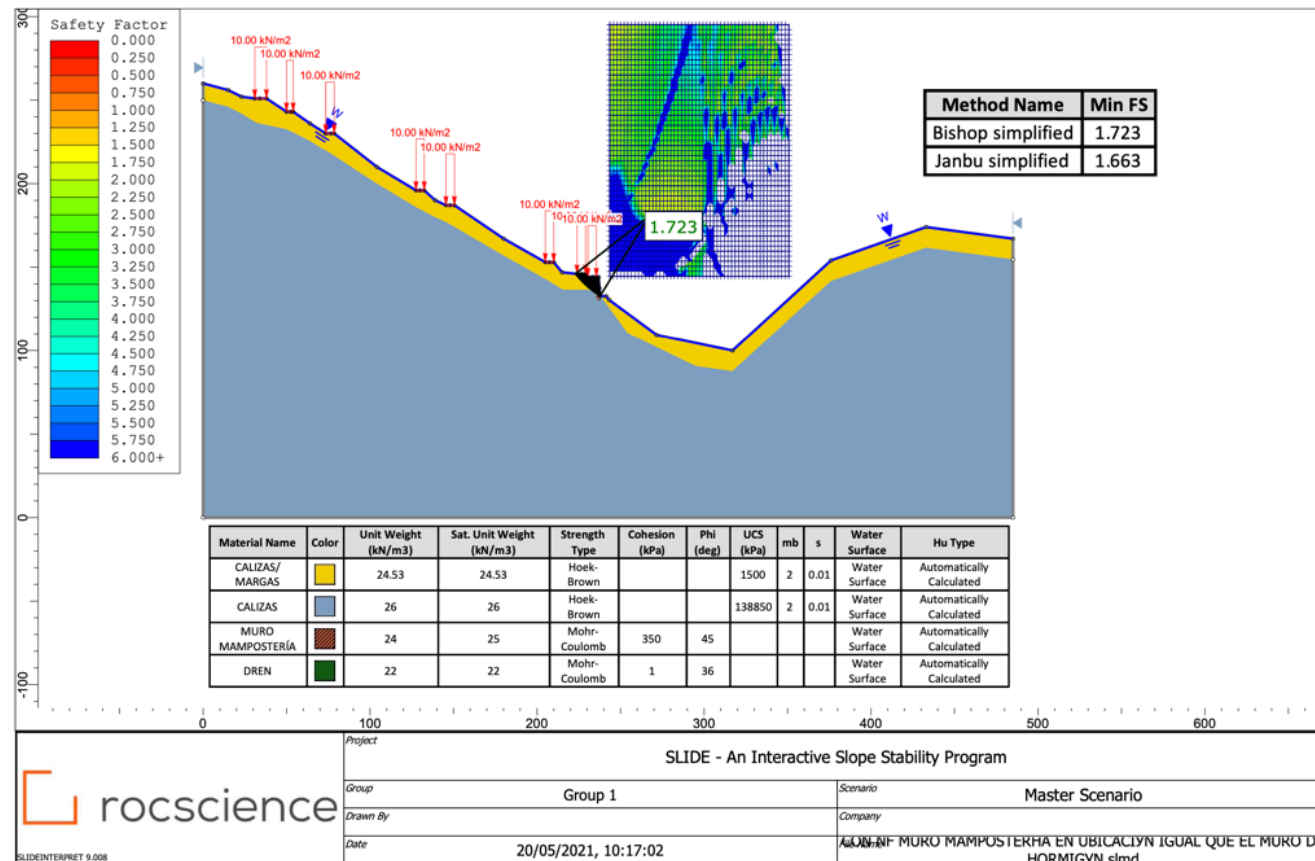


Ilustración 82 Resultado del análisis de la estabilidad con el muro de mampostería. Fuente: Elaboración propia.

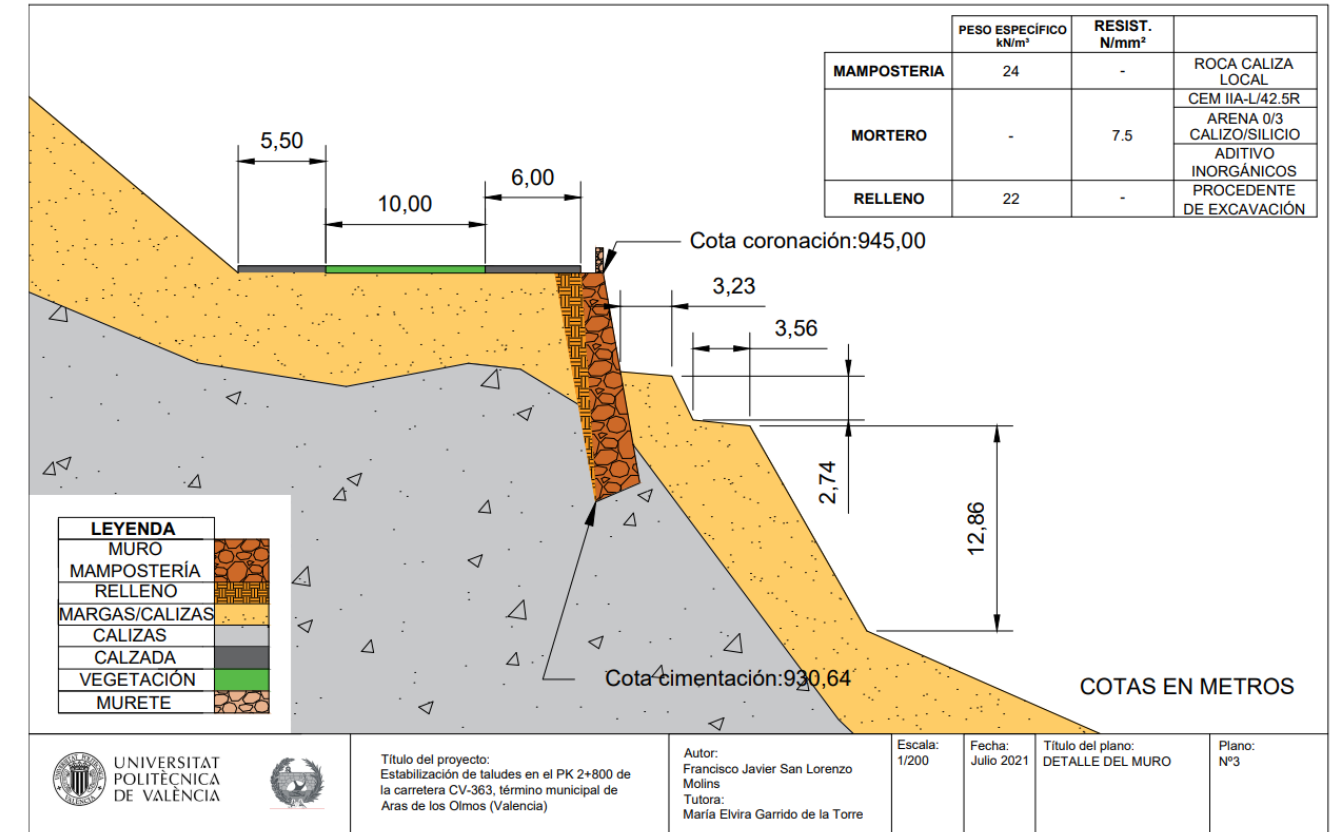


Ilustración 83 Detalle del muro. Fuente: Elaboración propia.

La geometría de este muro de mampostería será: altura de 14.34 m, ancho de 3 m en la base y longitud de 134,46 m. Como se ve en la Ilustración 83, este muro está empotrado en el estrato de calizas 2 m en la zona más profunda. La base se diseña inclinada, para favorecer a la estabilidad. Su ancho va variando desde la cota de cimentación hasta la cota de coronación.

Se prevé la ejecución dos bermas al pie del muro, para lograr así una mejor estabilidad y una mayor integración paisajística, pues estas bermas, donde se plantarán especies arbóreas y arbustivas autóctonas, reducen la pendiente de la ladera que hay actualmente al pie del muro y ocultando el muro, además, se realiza una hidrosiembra en esta parte de la ladera para una mayor integración en el paisaje.

El muro es de mampostería, contribuyendo así a la integración paisajística, al tratarse de un espacio rural, además de estar así en sintonía con las otras medidas de contención que se han observado en la zona y que se pueden apreciar en las ilustraciones que se incluyen en el *Capítulo 4. Visita de campo*. Al ser de mampostería autóctona, el estrato de caliza que aflora en la zona permite obtener las piezas de mampostería tal y como se ha venido haciendo en otros puntos de la ladera, su coste no es tan elevado, pudiéndose aprovechar material cercano para el propio muro.

La mampostería se une mediante un mortero de cemento **M-7,5 N/mm<sup>2</sup>**. Aunque por la resistencia que se necesita se podría haber cogido un mortero de peor calidad, este mortero es el adecuado para las obras de fábrica no armada de piedra. Además, la adherencia que proporciona este mortero es muy superior al empleado en las simulaciones de *Slide*.

**Procedimiento constructivo del muro de mampostería.**

La ejecución de un muro de mampostería se realiza conforme a la *Guía para el proyecto y la ejecución de muros de escollera en obras de carretera*, a falta de recomendaciones más concretas:

1. **Desbroce**, se procede a eliminar la capa vegetal de la zona, aflorando así el terreno natural, entre límites de explanación, sin obstáculos, maleza, árboles, basura o cualquier otro material que esté

en la zona. Con la finalidad de que las zonas queden aptas y no condicionen el inicio de los trabajos de excavación. Se desbroza un área de  $8483 m^2$ .

2. Se realiza una **excavación** del terreno. Este se retira hasta la cota de cimentación, es necesario que se cimiente dos metros en las calizas. En el trasdós del muro se retira un fondo mínimo 3 veces el espesor del muro, esto facilita que el relleno posterior del muro transmita esfuerzos directamente al terreno natural y así se evita que el propio terreno produzca empujes al muro. El volumen para excavar es de  $6013 m^3$ , teniendo en cuenta la primera excavación y la de perfilado. Se comprueba que la ladera natural está en condiciones adecuadas: superficie regular, ausencia de salientes, afloramiento de aguas etc. Después se limpian los materiales extraños y se refina la excavación hasta dejar una superficie regular.
3. **Cimentación.** El muro se empotra en roca caliza, por lo que es necesario que se homogeneice la geometría de la caliza, con enrase y posterior vertido del hormigón de limpieza HM-15 con 10 cm de espesor, para que el efecto del empotramiento cumpla su función estructural. Una vez efectuada la excavación del cimientó, se procede a la colocación del dren longitudinal inferior y las piezas de roca en su interior, hasta alcanzar aproximadamente la cota del estrato de marga en el intradós. En cada hilada que se realice en la cimentación se emplea mortero de cemento de resistencia a compresión simple de  $7,5 N/mm^2$ , M-7,5, para el relleno de los huecos existentes entre los bloques de roca, consiguiendo así una mayor rigidez y homogeneidad en la cimentación, en lo referente a transmisión de tensiones al terreno, asentos, etc. Este requisito es imprescindible para poder considerar el cimientó como un elemento rígido.



Ilustración 84 Zona de excavación. Fuente: Google Earth.

4. **Montaje del cuerpo del muro.** En todas las fases de la construcción del muro, pero sobre todo en la fase de ejecución del cuerpo del mismo, es necesario asegurarse de la selección y colocación de cada bloque, y en la materialización de la geometría del muro. Los mampuestos que conforman el cuerpo del muro se colocan en este buscando tanto su propia estabilidad y la materialización de una contrainclinación de las hiladas de bloques alrededor de 3H:1V respecto a la horizontal. Esta contrainclinación provoca que el muro sea estable y dificulta una posible caída de piedras en la fase de construcción y explotación. En cuanto a la colocación de los bloques, se busca formar un entramado tridimensional que proporciona al conjunto una máxima trabazón posible. Se recomienda alternar las orientaciones de bloques en que la dimensión mayor sea paralela al paramento con otras en que su longitud mayor esté orientada del trasdós al intradós. Además, en algunas hiladas, previo al vertido del mortero de cemento **M-7,5** que conseguirá unir todas las piezas con la adherencia correspondiente, se colocan drenes californianos hasta que entren en contacto con el relleno. Para la sección transversal del muro, está constituida por bloques del mismo huso granulométrico, evitando que quede constituido transversalmente por un bloque en la cara vista, de los de menor tamaño o características diferentes hacia el interior del mismo.



Para asegurar una buena trabazón y estabilidad, se controla que los huecos se reduzcan, es por ello que se selecciona cada bloque. Cada fragmento de roca apoya su cara inferior como mínimo en dos bloques de la hilada inferior y además está en contacto con los bloques laterales adyacentes y con otros dos de la hilada superior. Evitar que los contactos entre bloques de una hilada coincidan, según secciones por planos verticales, con los de la hilada inferior, impidiendo de este modo la formación de columnas de bloques. Análogamente se debe tratar de evitar la formación de filas horizontales de bloques, es decir, las sucesivas hiladas tienen que buscar la máxima imbricación que sea posible con las inmediatamente superior e inferior. Por reiteración de los procesos definidos a lo largo de este apartado, se colocan de forma sucesiva las hiladas de bloques, hasta alcanzar la cota de coronación del muro con la geometría prevista en el proyecto.

Los trabajos de ejecución del cuerpo del muro deben llevarse a cabo en coordinación con los del relleno, trasdós y con los de los elementos y sistemas de drenaje.

5. **Relleno**, según se vaya ejecutando la cimentación y el cuerpo del muro, en el trasdós se procede a la colocación de un relleno. Este relleno, está formado por mezcla de fragmentos de calizas y margas de las extraídas durante el proceso de excavación.

6. **Dren**. Se colocan los siguientes elementos de drenaje:

I. Dren longitudinal en el trasdós de la cimentación del muro, con la primera hilada de la cimentación. Estará constituido un tubo de PVC ranurado, con sección circular con un diámetro mínimo de 30 cm y tendrá una longitud de 134 m.

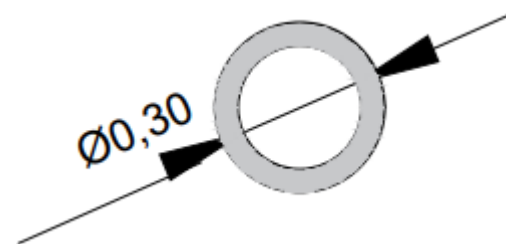


Ilustración 85 Sección dren longitudinal cimentación. Fuente: Elaboración propia.

II. Cuneta de coronación, este se realiza con la coronación del muro. Consiste en una cuenta de sección trapezoidal tipo T1 de altura,  $h=0,25$  m y base de 0,40 m con taludes 2/1, revestida de hormigón HM-20 de espesor 12 cm, con una longitud de 134 m. Se ejecuta en la última fase de construcción del muro, en el remate de la coronación.

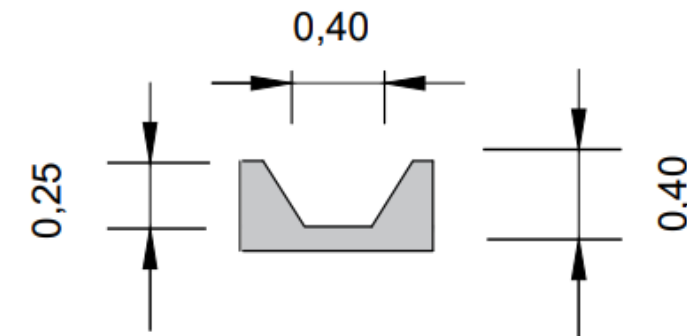


Ilustración 86 Sección cuneta de coronación. Fuente: Elaboración propia.

III. También se coloca drenaje transversal, drenes californianos en el muro, según se vayan realizando hiladas con su lechada. Estos drenes californianos tienen una longitud de 1,8 m y un diámetro mínimo de 5 cm. Se disponen a tresbolillo cada  $15 \text{ m}^2$  de área del muro.

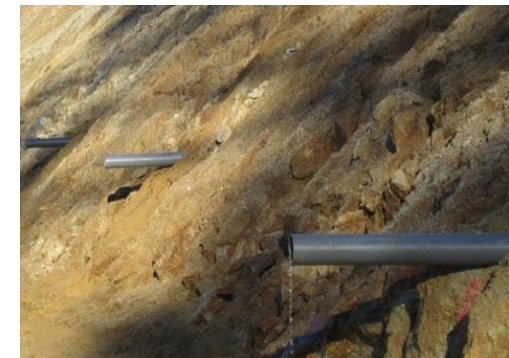


Ilustración 87 Drenes californianos. Fuente: Civogal.

IV. Cuneta de berma, en la berma, para recoger el agua que drenen los drenes californianos y el agua de escorrentía. Sección trapezoidal de altura  $h=0,31$  m y base de 0,5 m con talud 2/1, revestida de hormigón HM-20 de espesor 12 cm con una longitud de 134 m

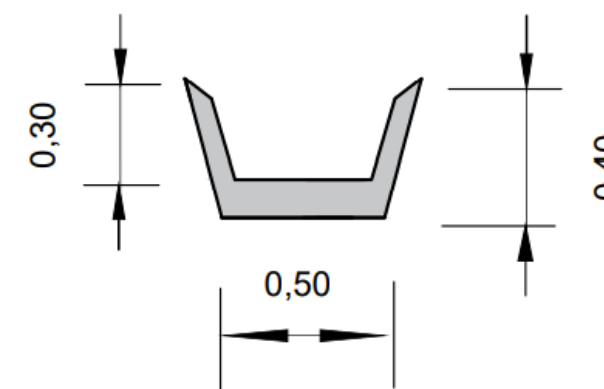


Ilustración 88 Sección cuneta de berma. Fuente: Elaboración propia.

V. Una vez ejecutado el muro y el drenaje longitudinal superior, se procede a colocar dos bajantes en los extremos del muro que evacuen el agua recogida por la cuneta de coronación el caudal que transporte la ODT instalada en la curva marcada (Ilustración 89) hasta el curso fluvial que se localiza a los pies de la ladera. Estas bajantes laterales (Ilustración 90) denominadas dren transversal 1 y dren transversal 2 son de hormigón en masa HM-20 y tienen una longitud respectivamente de 57,1 m y 76,5 m.



Ilustración 89 Vista de la ubicación de los drenes longitudinal superficial y transversal 1 y 2. Fuente: Google Earth

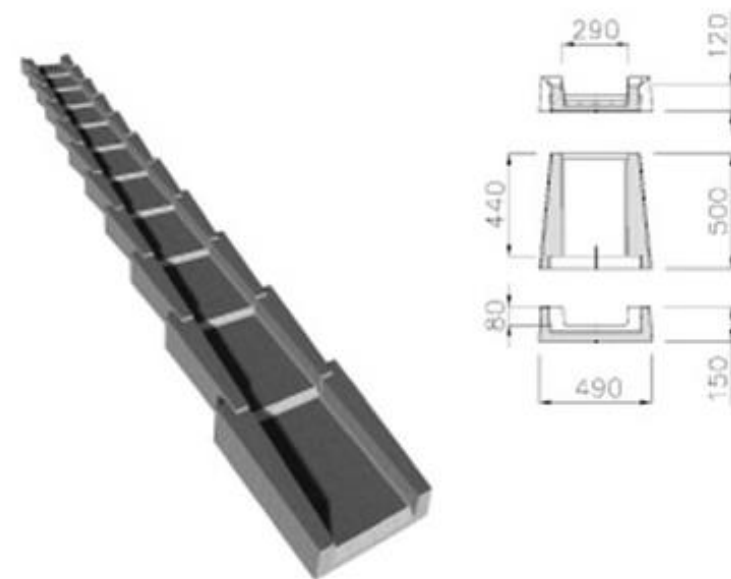


Ilustración 90 Sección de las bajantes usadas para el dren transversal 1 y 2.

7. **Remate de coronación.** Esta es la parte más compleja, ya que el espesor disminuye, por lo que podría ser necesario utilizar una mayor cantidad de mortero. Consiste en ejecutar la última hilada de mampuestos.
8. **Murete de guarda.** En toda la longitud del muro que coincida con el trazado de la carretera se constituirá un murete de dimensiones, forma y materiales del mismo tipo que ya hay construido en el entorno de esta obra

#### Características del muro:

- La solución adoptada, trata de un muro de mampostería, esto es una combinación de mampuestos acunados con mortero **M-7,5**.
- El muro es de mampostería ordinaria, pues el relleno de los huecos se realiza mediante mortero, consiguiendo así una mayor resistencia.
- La colocación de los mampuestos se hace sin la modificación de estos, por lo que se trata de una mampostería ordinaria tosca.
- Formado por mampuestos de fragmento de roca calizas de la zona.
- Propiedades:
  - Calizas:
    - Resistencia a compresión simple: 138,9 MPa
    - Peso específico: 26 kN/m<sup>3</sup>

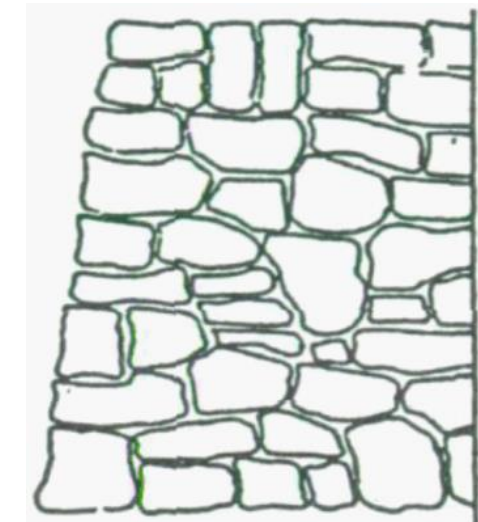


Ilustración 91 Esquema de muro de mampostería ordinaria tosca. Fuente: Tipología de muros de carreteras.



**Características del relleno:**

- Para el relleno se emplea material extraído de la propia excavación, por lo que este está compuesto por fragmentos de margas y calizas.

**Características del mortero M-7,5:**

- Resistencia a compresión simple a los 28 días:  $7,5 \text{ N/mm}^2$ .
- Color grisáceo, cemento gris.
- Componentes:
  - Cemento, CEM IIA-L/42,5 R
  - Arena 0/3 Calizo/Silicio
  - Aditivo Inorgánicos
- Condición de suministro:
  - Granel en silo (gravedad ó presión) instalado en obra, y transportado en camión cisterna. Envasado en sacos de 25 Kg. aproximadamente.
- Preparación:
  - Silo de gravedad y amasadora fija El mortero tipo M-7,5 se puede preparar mediante el Sistema de Gravedad, con amasadora situada en la parte inferior del silo, transportándolo al punto de aplicación ya preparado. Ver ficha técnica Silo de Gravedad y Amasadora.
  - Hormigonera El mortero tipo M-7,5 envasado en sacos se prepara en hormigonera. Añadir 3 litros de agua por cada saco de mortero (0,12 litros / kg.) Amasar hasta conseguir una pasta homogénea.

**Características de las bermas:**

- Se ejecutan una vez terminado el muro.
- Las bermas van destinadas a disminuir la pendiente al pie del muro y para una siembra posterior, mejorando así la estabilidad de la ladera al pie del muro y la integración paisajística del mismo.
- Se excavan dos bermas de anchura 3 m separadas entre si una altura de 5 m.

**9.RESTAURACIÓN DEL PAISAJE**

La legislación actual obliga a aplicar medidas correctoras de los impactos ambientales que se generan como consecuencia de construcción y explotación de infraestructuras. Entre estas medidas se contempla la introducción de la vegetación en los nuevos espacios, condicionada por la estabilidad de las formas construidas, por la semejanza de los nuevos espacios con su entorno (poco o nada modificados) y por la existencia de un medio de crecimiento de la vegetación capaz de cumplir con la función de mantenerla.

A falta de normativa concreta y dada la naturaleza del terreno en la zona de actuación, para resolver esta cuestión se ha tomado como referencia las recomendaciones del *Manual para la restauración de canteras de roca caliza en clima mediterráneo (Jorba, M, Vallejo Calzada, V. R. 2010.)*, publicado por el Àrea d'Avaluació i Restauració d'Activitats Extractives. Departament de Medi Ambient y Habitatge de la Generalitat de Catalunya así como la normativa vigente en cuanto a especies susceptibles de ser utilizadas en restauración de paisajes de la Conselleria de Medi Ambient de la Comunitat Valenciana

El objetivo de este capítulo es doble. En primer lugar, aportar soluciones en el ámbito de la restauración del paisaje y en segundo término que esta restauración contribuya a la estabilización de los taludes, en la medida de lo posible, sin perder de vista que esta tarea debe hacerse de modo que en el futuro requiera del menor mantenimiento posible.

En este sentido, estos objetivos deben complementar los criterios constructivos de los taludes para que aplicándolos después de su construcción, los elementos de la morfología final se adapten lo mejor posible al entorno.

**Procedimiento de restitución de la vegetación**

Este proceso incluye las siguientes fases:

1. Creación de la morfología
2. Establecimiento de un sistema de drenaje
3. Obtención de los substratos
4. Siembras
5. Plantaciones
6. Mantenimiento

En este documento, en este punto, una vez se ha establecido la morfología definitiva de los taludes tomando como base los datos del proyecto y, posteriormente, aplicando los resultados alcanzados con el análisis de estabilidad realizado, el primer paso en la restauración del paisaje consiste decidir que tipo de actuación es la más conveniente al doble objetivo perseguido.

Los dos tipos de actuaciones básicas en este sentido son la siembra o la plantación.

## Siembras

El objetivo principal de las siembras es crear una cubierta vegetal, que reduce la erosión y la esorrentía superficial. En condiciones susceptibles de presentar procesos erosivos importantes (taludes de gran pendiente con substratos muy erosionables), las siembras iniciales tienen como objetivo principal la fijación del substrato.

Para las siembras se suelen utilizar especies de crecimiento rápido, más concretamente, especies estérter, estas son capaces de crear un estrato herbáceo denso en poco tiempo. Dentro de esta especie destacan las gramíneas, que son capaces de formar numerosas hojas a ras de suelo y además sus raíces densifican el suelo. También tienen interés las leguminosas, a causa de su capacidad de utilizar el nitrógeno atmosférico y, por tanto, de crecer en substratos pobres en nutrientes y de mejorarlos. El incremento de la biodiversidad y la instalación de las especies autóctonas que promuevan la evolución de los ecosistemas naturales (sucesión secundaria) debe ser también el objetivo de la revegetación y, en consecuencia, también de las siembras.

Así pues, es importante que las especies estérter no limiten el establecimiento de las autóctonas. El uso de especies estérter anuales o que persistan poco en las zonas sembradas puede generar cubiertas vegetales iniciales importantes y posteriormente pueden permitir la introducción espontánea o forzada de las especies presentes en los ecosistemas naturales de referencia.

## Plantaciones

El principal objetivo de las plantaciones, en el contexto de la restauración ecológica, es acelerar la sucesión creando la composición, la estructura física y la función del ecosistema de referencia (entendido como el que representa el paisaje del entorno del área a restaurar o el paisaje preexistente). Se asume que esta combinación de estructura y función será capaz de aportar una serie de servicios a la sociedad (depuración del agua, control hidrológico, protección del suelo, etc.).

Con frecuencia las comunidades de referencia en el ámbito mediterráneo incluyen especies leñosas, árboles y arbustos, dominando la cubierta vegetal o como grupos de vegetación leñosa dentro de una matriz de herbáceas, con leñosas de reducidas dimensiones (subarbustos) y suelo desnudo. La introducción de plantas leñosas tiene un objetivo doble. Por un lado, recuperar estas especies, con frecuencia emblemáticas y necesarias para el funcionamiento del ecosistema en su conjunto y, por otro lado, las plantas introducidas deben generar una comunidad funcional que requiera la mínima intervención (en todo caso, un nivel de intervención análogo al del ecosistema de referencia).

La vegetación mediterránea se caracteriza por su crecimiento relativamente lento y de pauta estacional. La colonización espontánea de las especies leñosas también es lenta, por falta de semillas, por la ausencia de agentes dispersantes de semillas (como algunas aves), o por la rigurosidad del ambiente (suelos de baja calidad y condiciones meteorológicas desfavorables).

Con la plantación se pretende acelerar la fase de colonización, introduciendo plantas seleccionadas y creando mejores condiciones para su establecimiento. Por ello, la plantación debe considerar simultáneamente una perspectiva temporal inmediata (que garantice la supervivencia de suficientes plantas y la presencia de suficientes especies) y una visión a largo plazo (representada por un ecosistema sostenible en los términos descritos anteriormente).

Además de una mejor integración paisajística y ecológica, la plantación de especies locales ofrece otras ventajas importantes: son especies adaptadas a las condiciones edáficas y climáticas, y también a los agentes bióticos (insectos polinizadores, herbívoros, micorrizas, plagas, potenciales, etc.), de la zona a recuperar. Las plantaciones también son necesarias para incorporar especies de difícil introducción por siembra.

Los criterios para definir la composición y la densidad de las plantaciones se basan, obviamente, en los sistemas de referencia. Debe favorecerse la diversidad de las especies (tipo funcional, formas de ocupación del espacio, interacción con la fauna) teniendo en cuenta las respectivas respuestas a las condiciones adversas o a perturbaciones naturales como el fuego (capacidad de supervivencia, de competencia, de rebrote, etc.), así como los requerimientos o condicionantes específicos de la zona a restaurar (pedregosidad del substrato, pendiente). En esta línea, las propuestas de plantación se presentan según los diferentes tipos de situaciones.

Los listados de especies son sugerencias que deben contrastarse con las especies recogidas en el programa de restauración aceptado por el organismo de la administración competente, y con los ecosistemas de referencia que se desea reproducir. Se pretende seguir conseguir un paisaje como el que se ve en las dos siguientes imágenes, (Ilustración 92) y (Ilustración 93).

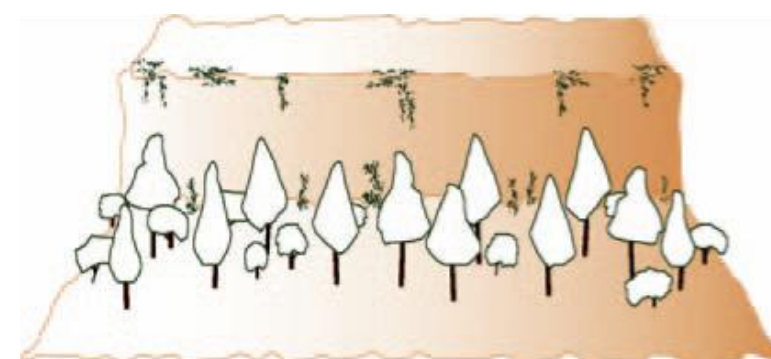


Ilustración 92 Frente del esquema de plantación recomendada. Fuente: Jorbá y Vallejo, 2010.



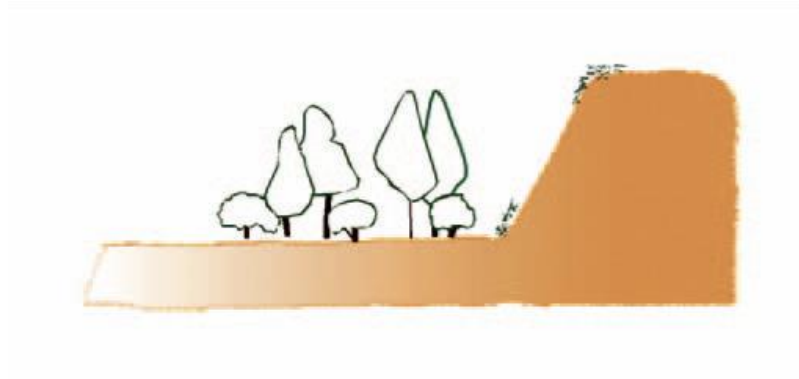


Ilustración 93 Perfil del esquema de plantación recomendable. Fuente: Jorbá y Vallejo, 2010.

En la zona donde se realiza el muro de mampostería, en el PK 2+800 de la CV-363, la zona queda afectada, perdiendo toda la vegetación. Esto es consecuencia del desprendimiento. Como se puede ver en el *Capítulo 4. Visita de campo* de este mismo trabajo, toda la zona alrededor del muro con un radio de 5 metros queda afectada, perdiendo toda la vegetación.

Como se puede observar en la Ilustración 94, se ha decidido dividir el área de tratamiento en dos zonas por sus diferentes necesidades.



Ilustración 94 Vista aérea de las zonas a restaurar. Fuente: Google Earth.

En la zona 2 debe restaurarse el paisaje empleando vegetación arbustiva que garantice la visibilidad de la calzada en una curva de 180° y en la zona 1 es más importante emplear especies arbóreas cuyas raíces contribuyan a estabilizar la ladera.

En la zona 1 se ejecutarán dos bermas. Una de ellas al pie del muro, como se indica en el *Capítulo 8. Definición detallada de la solución propuesta*, se coloca una berma, para reducir la pendiente del talud, quedando esta con una inclinación de 36°, por lo tanto, la zona de estudio se corresponde con una morfología con un talud mayor a 30°, pedregoso y sin substrato, ya que las margas no tienen substrato nutritivo para las plantas (Jorbá y Vallejo, 2010). Más cerca del pie del talud se ejecutará otra berma con el mismo objetivo.

### Substrato

#### Objetivo

Obtener substratos adecuados para taludes pedregosos para que así crezca la vegetación en el talud.

La restauración desde un punto de vista ecológico no tiene que pretender crear substratos fértiles, gruesos o con tierra fina, ya que si se hace así no se logra que se desarrolle una vegetación similar a la natural y lo que se pretende es que el paisaje, al final quede de la forma más homogénea posible. Para ello se intenta conseguir un substrato edáfico que permita conseguir una vegetación natural.

El substrato seleccionado tiene que tener las propiedades físicas y la capacidad de proporcionar nutrientes adecuados para las plantas que crecen en la zona.

Se añaden pequeñas cantidades de materiales orgánicos residuales (estiércoles, lodos de depuradora) o restos vegetales procedentes de un desbroce reciente para conseguir así unos niveles de fertilidad química y biológica adecuados.

#### Acciones a evitar:

- Abordar las tareas de reposición de substrato si no existen los sistemas de protección del talud y de gestión del agua de escorrentía correspondientes.
- Incorporar cantidades de enmienda orgánica en exceso que puedan contaminar por lixiviación las aguas superficiales y los acuíferos.
- Almacenar las enmiendas orgánicas, especialmente lodos de depuradora, en sitios no acondicionados, para evitar problemas ambientales y sanitarios.

#### Condiciones geomorfológicas:

- Anchura de base mínima de la berma 2 m

**Materias primas para el sustrato:**

- Tierras importadas.
- Rechazos moderadamente pedregosos.
- Evitar tierras muy limosas o arenosas.

**Enmiendas:**

- Restos vegetales de operaciones de desbroce, compost, estiércoles o lodos de depuradora.
- Fertilizantes minerales.

**Requerimientos del sustrato:**

- Se recomienda un sustrato de fertilidad media-alta.
- Elementos gruesos: < 50%.
- Materia orgánica: 1 %. La cantidad de materia orgánica añadida no debe representar un incremento superior al 1% de materia orgánica respecto a la tierra fina (fracción < 2mm) del sustrato.
- Salinidad < 3 dSm-1.

**Preparación de las mezclas:**

- Es importante que las enmiendas queden bien incorporadas por lo que hay que hacer varios volteos (3 como mínimo).
- Se recomienda colocar las mezclas de sustrato en el lugar definitivo en forma de mota o de depósito al pie del frente, a medida que se va preparando.
- Es conveniente preparar la mota a finales de invierno, época en que son poco frecuentes las lluvias intensas que podrían erosionar los montones de tierra.
- Dejar reposar las mezclas un mes antes de realizar las plantaciones.

**Colocación del sustrato:**

- En forma de mota o cordón de tierras de 1 m a 2,5 m de altura.
- En la base de un frente rocoso, altura mínima 2 m, máxima 5 m.
- En caso de riesgo de desprendimientos de piedras del frente, se puede colocar la mota unos metros avanzada con respecto al frente rocoso a modo de barrera protectora (ver ficha A1).
- Hay que tener en cuenta el asentamiento del material antes de la plantación (12 meses de asentamiento).
- Intercalar depósitos de sustrato de 1-3 m<sup>3</sup> sobre los taludes muy pedregosos (canchales) para potenciar la instalación de islas de vegetación.

**Dosificación:**

- Volumen de sustrato a reponer 5063.2 m<sup>3</sup>. (Ilustración 94; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)

- Zona 1: Superficie 12192 m<sup>2</sup> y espesor 0,40 m.
  - 12192x0.40 = 4876.8 m<sup>3</sup> de volumen en la zona 1
- Zona 2: Superficie 466 m<sup>2</sup> y espesor 0,40 m.
  - 466x0.40 = 186.4 m<sup>3</sup>
- Densidad aparente del material a enmendar: 1,7 t/m<sup>3</sup>.
- Tierra fina (TF < 2 mm) del material a enmendar: 32%.
- Materia orgánica del material a enmendar: < 1%.
- Materia orgánica enmienda: (sobre la muestra seca): 30%.
- Materia seca enmienda: 65%
- Densidad de la enmienda: 0,8 t/m<sup>3</sup>.

**Siembra****Objetivo:**

- Promover la instalación de vegetación introducida o espontánea en los microhábitats e irregularidades de la roca favorables, para aumentar la biodiversidad y la integración con el entorno.

**Acciones a evitar:**

- Hacer las hidrosiembras en épocas no favorables.

**Acciones no admisibles:**

- Introducir especies exóticas porque pueden competir y desplazar a las especies autóctonas que se pretende potenciar (consultar legislación).

**Proceso:**

Se propone realizar dos tipos de intervención:

1. Revegetación activa sobre la superficie del talud:
  - Aplicación de hidrosiembra localizada a las zonas más favorables del talud, como concavidades y grietas que pueden recoger materiales finos o estratos con materiales poco consolidados potencialmente colonizables por las plantas.
  - La hidrosiembra se aplicará en dos fases. La primera aplicación contiene todos los componentes principales (las semillas, los fertilizantes, el sustrato y, eventualmente, los compuestos húmicos) y parte del acolchado (mulch), el fijador y el agua. La segunda aplicación tiene como objetivo cubrir las semillas para favorecer su germinación utilizando una mezcla con el resto de acolchado, fijador y agua.



## 2. Revegetación pasiva desde la cabecera:

- Si la accesibilidad, las condiciones edáficas y las condiciones morfológicas son favorables, se recomienda hacer siembras con las mismas especies empleadas en la actuación de superficie para la cabecera del talud.
- Se pretende fomentar la revegetación del talud mediante las semillas dispersadas desde la cabecera. En este caso, las siembras pueden ser manuales. Después de la siembra es necesario cubrir las semillas para facilitar su germinación.

### **Composición de las siembras:**

- Época de siembra: septiembre-febrero.
- Forma de aplicación: hidrosiembra.
- Composición especies: incorporando el máximo de especies perennes posibles.
- Dosis total de semilla: 350 kg/ha.
- Acolchado: 600-1000 kg/ha de fibra corta (madera, paja, coco o similar).
- Fijador orgánico o inorgánico: 100-150 kg/ha.
- Agua: 25-50 m<sup>3</sup> /ha.
- Substrato: arcillas, turba, tierra vegetal, substratos de jardinería, etc. en dosis variable según la potencia y las características de la maquinaria utilizada.
- Fertilizantes inorgánicos (opcional): 10-60 g/m<sup>2</sup> de fertilizante NPK (15-30-15).

### **Control de calidad:**

- Control de calidad de los lotes de semillas según los parámetros del apartado 4.3. Se recomienda no aceptar el material vegetal si el lote no cumple los mínimos de calidad recomendados. La dosis de siembra se podrá adaptar al porcentaje de germinación obtenido.

### **Resultados mínimos aconsejables:**

- Proceso de restauración:
  - Presencia de algunas plantas de las especies sembradas y/o espontáneas en las paredes o taludes rocosos.
- Final de la garantía:
  - Cobertura vegetal al final del período de garantía: un 20% de la cobertura media de las paredes rocosas y canchales naturales del entorno.
  - Presencia en la cabecera de las especies sembradas.

### **Mantenimiento:**

- Resiembras en la cabecera si no se cumplen los resultados mínimos recomendados.
- Riegos de mantenimiento en la cabecera si las condiciones meteorológicas después de las siembras no son favorables.

### **Siembras: Relación de algunas especies propias de suelos pedregosos y fisurales:**

- Especie: Phagnalon saxatile.
- Nombre común: manzanilla yesquera.
- Biotipo: leñosa- substrato.



Ilustración 95 Manzanilla.  
Fuente: Elaboración propia

- Especie: Brachypodium retusum.
- Nombre común: patillo, cebada.
- Biotipo: Leñosa- perenne.



Ilustración 96 Cebada. Fuente:  
Elaboración propia.

- Especie: Sedum album.
- Nombre común: uña de gato.
- Biotipo: leñosa- perenne.



Ilustración 97 Uña de gato.  
Fuente: Elaboración propia.

## Plantación

### Objetivo:

- Promover la instalación de vegetación leñosa introducida o espontánea en las motas y cordones para la cobertura (parcial o total) de la pared rocosa o del talud.

### Acciones a evitar:

- Realizar las plantaciones fuera de la época de plantación recomendada.

### Acciones no admisibles:

- Introducir especies exóticas porque pueden competir y/o desplazar a las especies autóctonas que se desea potenciar.

### Consideraciones generales:

- La plantación se realizará en la base de la pared rocosa con una distribución de especies irregular y en varias filas de amplitud (ver esquemas de plantación).
- Se recomienda que las lianas se planten al lado de la pared rocosa y las leñosas un poco más alejadas; y si es posible plantar también lianas en la cabecera (tutorizándolas para fijarlas a la pared rocosa).

### Especificaciones técnicas:

- Época de plantación: octubre-febrero.
- Composición de especies: arbóreas, arbustivas y lianas presentes en la vegetación que se comenta en el próximo punto.
- Nº de especies: 2-3 arbóreas, 2-3 arbustivas y 1-2 lianas.
- Plantas:
  - Edad: Entre 1-2 años.
  - Densidad: 1 árbol/3 m lineales; 1 arbustiva/4 m<sup>2</sup> ; 1 liana/1 m lineal. Estas densidades se deben adaptar según el sistema de referencia.
  - En el caso de observar mortalidad por herbívoros, colocar protectores de polipropileno, u otro material consistente, ventilados.

### Plantaciones: Relación de algunas especies propias de paredes rocosas:

- Especie: *Pinus halepensis*
- Nombre común: Pino carrasco.
- Biotipo: árbol



Ilustración 98 Pino carrasco. Fuente: Elaboración propia.

- Especie: *Quercus coccifera*
- Nombre común: Chaparro.
- Biotipo: Arbusto



Ilustración 99 Chaparro. Fuente: Elaboración propia.

- Especie: *Olea europea* var. *sylvestris*.
- Nombre común: Olivo.
- Biotipo: Árbol- arbusto.



Ilustración 100 Olivo. Fuente: Elaboración propia.

### Resultados mínimos aconsejables:

- Proceso de restauración:
  - 70% supervivencia al cabo de 1 año de la plantación para cada una de las especies plantadas.
- Final de la garantía:
  - Incremento de 1-2 m de altura de los árboles.
  - Presencia de 2-3 especies leñosas rebrotadoras con frutos carnosos. (arbustos maduros).
  - Presencia de nuevas plantas de un 50% de las especies introducidas por siembra y/o plantación.
  - Presencia de plantas de 3-4 especies leñosas del sistema de referencia, no introducidas por siembra o plantación.



**Mantenimiento:**

- Riegos de mantenimiento durante el primer período seco si las condiciones meteorológicas después de las plantaciones no son favorables.
- Reposición de marras después del primer período seco posterior a la plantación.

**Riegos****Objetivos:**

- Definir un sistema de riego para taludes en fase de revegetación.

**Acciones a evitar:**

- Sobredimensionar el riego.
- Ahorrar agua en momentos críticos (temperaturas muy elevadas).
- Generar escorrentía superficial durante el riego.

**Actuaciones aconsejadas:**

- Cuando se realicen siembras, se deben aportar en los 15 días siguientes, de forma natural (lluvia) o de forma asistida, como mínimo el equivalente a una precipitación de 5 l/m<sup>2</sup> (5 mm).
- Si se mantienen las condiciones de sequía deberán repetirse los riegos con una periodicidad semanal o quincenal, según las temperaturas.
- En el caso de plantaciones, es importante regar durante el primer período seco después de la plantación, intentando potenciar solo las especies plantadas (riego por goteo o individualizado).

**Sistemas de riego:**

- Aplicar el riego con el máximo fraccionamiento y la máxima frecuencia.
- Conseguir el máximo recubrimiento y la máxima homogeneidad en la distribución del agua.

**Dosificación:**

- Según de las necesidades evapotranspirativas y del estado de humedad del suelo.
- Como referencia, se toma la dosis de 1 mm (l/m<sup>2</sup>) diario.
- Las aplicaciones se pueden hacer con frecuencia diaria o 3 veces por semana (2 mm/día) o semanalmente (5 mm/día).

**10.PLANIFICACIÓN DE TRABAJOS**

Se ha elaborado un plan de trabajos para llevar a cabo la ejecución de las obras necesarias para desarrollar la solución recomendada. Esta planificación se realiza con la aplicación informática *Microsoft Project*.

La finalidad de este capítulo es tener una idea aproximada de la duración de estas obras, de los bloques en los que se agrupan las distintas tareas y en el orden de preferencia de las tareas, siendo este el punto más significativo a la hora de llevar a cabo la fase de ejecución, es decir, saber que tarea hay que empezar al terminar una tarea o cuando empezar a hacer una tarea.

Los distintos trabajos que es necesario realizar se han distribuido en seis bloques y a cada bloque se le han asignado distintas tareas:

1. Trabajos previos.
2. Movimiento de tierras.
3. Muro de mampostería.
4. Restauración del paisaje.
5. Actividades complementarias.
6. Acabados de obra.
7. Restauración del paisaje

Se ha dispuesto, que las operaciones se inicien el 07/06/2021 y finalicen el 06/08/2021, con una duración total de 54 días. Se han elegido estas fechas para tener la mejor ventana operativa posible, pues como se ve en la Ilustración 3 del *Capítulo 2* en estas fechas las precipitaciones suelen ser menos frecuentes y las temperaturas no serán extremas.

Como se puede observar el apartado de actividades complementarias, donde se incluyen tareas como el control de los EPIs o la gestión de residuos, se extiende a lo largo de todo el periodo de ejecución de las obras. El bloque que más tiempo va a ocupar va a ser el de la ejecución del muro de mampostería, dura 23 días, en este bloque se lleva a cabo la ejecución del muro y de los distintos elementos de drenaje. Este se inicia después del movimiento de tierras, donde se lleva a cabo la demolición del muro actual.

Este plan de trabajos se ha detallado en el *Anejo 3*.

## 11. VALORACIÓN DE LAS OBRAS

En esta última parte del trabajo se ha realizado una estimación de coste de las obras necesarias para llevar a cabo la estabilización de la ladera en el PK 2+800 de la CV-363 mediante la ejecución de un muro de mampostería.

De forma genérica, es necesario para establecer la valoración de una obra:

- Identificar y definir las distintas unidades de obra que intervienen.
- Realizar las mediciones de cada unidad de obra, con su unidad correspondiente.
- Saber el precio unitario de cada unidad de obra.
- Multiplicar el precio unitario de cada unidad por su medición.
- Obtener el presupuesto de ejecución material, en adelante PEM.

Para empezar, se identifican las distintas unidades de obra (*Capítulo 8. Definición detallada de la solución propuesta*) y se han agrupado en los siguientes capítulos:

1. Desbroce.
2. Reexcavación.
3. Drenaje.
4. Muro.
5. Medidas de protección de taludes.
6. Restauración del paisaje.

En el *Anejo 4*. Se muestran con detalle los resultados que se obtienen del proceso de medición y valoración de las actuaciones recomendadas. Este anejo se divide en cuatro secciones siguiendo el procedimiento habitual en Ingeniería Civil.

1. Mediciones.
2. Precios de las unidades de obra.
3. Valoración.
4. Presupuesto de ejecución material, **PEM**.

Por lo tanto, en este capítulo solo se muestra el presupuesto de ejecución material, que se puede ver a continuación:

### 4.- PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

1 DESBROCE	12.725,53 €
2 REEXCAVACIÓN	231.540,12 €
3 DRENAJE	23.927,35 €
4 MURO	392.206,37 €
5 MEDIDAS DE PROTECCIÓN DE TALUDES	80.001,55 €
6 RESTAURACIÓN DEL PAISAJE	22.140,14 €

Total PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL: 762.541,06 €

El presupuesto de ejecución material asciende a la cantidad de:

**SETECIENTOS SESENTA Y DOS MIL  
QUINIENTOS CUARENTA Y UN EUROS  
Y SEIS CÉNTIMOS**

*Ilustración 101 PEM de las tareas a realizar. Fuente: Elaboración propia.*



## 12.RESUMEN Y CONCLUSIONES

El último capítulo de este TFG pretende resumir de forma clara y concisa la problemática de la zona, las tareas realizadas para analizar la estabilidad y justificar la solución adoptada.

En la ladera objeto del estudio, se produce un desprendimiento, en el PK 2+800 de la carretera CV-363 en el término municipal de Aras de los Olmos en Valencia. La rotura de la ladera, que deja incomunicadas a las poblaciones de Losilla y Puebla de San Miguel, se produce en julio de 2019 en el momento en que vuelca una grúa que estaba realizando tareas de mantenimiento en la ladera.

En primer lugar, se realiza una visita de campo donde se observan muros de mampostería en distintas zonas del trazado de la mencionada carretera, muros de escollera dispuestos por delante de muros de mampostería de reciente reparación lo que se advierte en la lechada de cemento de la última hilada que, por su color, es relativamente nueva. Además, otra medida de estabilización que se observa en algunos de estos muros consiste en reforzarlos con micropilotes autoperforantes, una técnica más novedosa.

En esta visita se comprueba la veracidad de la información que proporciona la hoja geológica del IGME y se toman muestras con el objeto de realizar ensayos de laboratorio y obtener así los datos necesarios para el posterior análisis de la estabilidad de la ladera. Al mismo tiempo se analiza la obra de emergencia ejecutada para estabilizar la ladera tras el derrumbamiento. Esta medida de contención está constituida por un muro de hormigón, al pie del mismo se observa la aparición de grietas de tracción, justo en el estrato más superficial que se muestra con una pendiente considerable que acaba en el curso fluvial del río (o barranco o arroyo o lo que sea y pones aquí el nombre) que lleva agua continuamente. En la visita de campo también se inspecciona el estado de ladera desde una perspectiva global, y se obtiene la información y conclusiones que se recogen en el *Capítulo 4*. de este documento.

Sobre las muestras tomadas en la visita de campo se procede a realizar los ensayos en el laboratorio de geotecnia del Departamento de Ingeniería del Terreno. En el *Capítulo 5* de este documento se incluye la descripción de todo el proceso de cada ensayo y los distintos controles que se les realizaba a las muestras. Este capítulo, es de suma importancia, pues al no tener datos de referencia es necesario obtener valores como la resistencia a compresión simple o conocer el grado de alterabilidad de las muestras ensayadas, para poder tener una primera idea de las condiciones en las que se encuentra la zona de estudio, necesarias para poder empezar a abordar el análisis de la estabilidad de la ladera.

Una vez se obtiene los resultados de laboratorio, complementados con otros obtenidos de la bibliografía comúnmente aceptada en ingeniería geotécnica, se procede al estudio de la estabilidad de la ladera. Se hace una revisión teórica previa, donde se concluye que la rotura más probable es una **rotura global**, pues debido a la disposición geológica de los estratos se descartan el resto de posibles roturas. Se decide emplear el método de las rebanadas, específicamente los criterios de Bishop y Janbu simplificados. Además, al estar en una zona rocosa, el criterio de rotura que se emplea es el de Hoek-Brown.

El análisis de la estabilidad se realiza con la aplicación informática *Silde2* de la casa comercial *Rocscience*. En el *Capítulo 6* se estudian varios casos posibles, incluso aquellos más desfavorables, es decir, con episodios de precipitaciones intensas. Se estudia la estabilidad de la ladera con un muro de hormigón armado, (solución actual). Esta solución no dota a la ladera de un coeficiente de seguridad aceptable, tal y como pone en evidencia el estado del terreno al pie del muro el día que se realiza la visita de campo, donde se observa la presencia de grietas de tracción. Estas grietas, suponen alto riesgo de que la ladera al pie del muro colapse. Se realiza una simulación sin ninguna medida de contención, para comprobar el estado real de la ladera, que resulta inestable.

Por tanto, se determina realizar un estudio de diferentes soluciones con objeto de elegir la más adecuada.

En el capítulo 7 se describen algunas posibles medidas de contención, algunas de las cuales se descartan con criterio técnico. Se decide realizar el estudio de cinco alternativas de solución. Para comprobar cual es la medida más adecuada para resolver el problema de estabilidad de la ladera se utiliza el análisis multicriterio, se emplea el Proceso Analítico Jerárquico. Con este proceso, se obtienen los pesos de las variables que van a influir a la hora de que se obtenga una medida de contención u otra. Se tiene en cuenta que, debido al emplazamiento de la medida, que es en un entorno natural, la variable del impacto ambiental es la de mayor peso. Posteriormente, se realiza el análisis de cada alternativa con cada variable y obtener así los pesos de cada alternativa con la variable que se esté estudiando, para acabar realizando una multiplicación entre los pesos de las alternativas y los pesos de las variables.

De entre las cinco medidas estudiadas destacan dos de ellas:

1. Muro de mampostería con mortero resistente, esta solución se realiza después de comprobar que, con un mortero convencional de revoco de características normales, no se alcanza el coeficiente de seguridad mínimo. Se determina que con mortero resistente tipo M-7,5 se alcanza un coeficiente de seguridad mayor al mínimo exigido.
2. Muro de mampostería con mortero de revoco y micropilotes autoperforantes como medida complementaria. Esta solución se decide estudiar ya que cuando se realiza la visita de campo, se ve que es una solución que está aplicada en toda la ladera. Cuando se analiza se comprueba que, para un muro de nueva construcción no proporciona mejores resultados que la opción anterior. Pues, aunque se consigue un coeficiente mayor del mínimo, este se encuentra en el límite y debido a la geometría de la zona, la operación de tener que colocar micropilotes podría ser compleja y encarecer el coste de la obra. Si se considera una opción razonable en muros ya construidos donde supone una medida de refuerzo.

En el *Anejo. 1* se incluyen todas las simulaciones realizadas con un mayor grado de detalle.

Una vez se comprueba que la solución más adecuada consiste en ejecutar un **muro de mampostería con un mortero resistente tipo M-7,5**. Desde el punto de vista de la estabilidad y siendo esta alternativa la de mayor peso en el análisis multicriterio, se realiza una solución detallada de la misma. Esta solución incluye, además del muro de mampostería, el relleno del trasdós, obras de drenaje longitudinal y transversal y dos bermas.

Después de una actuación de este tipo, donde se realiza un movimiento de tierras importante y más aun tratándose de una zona natural, se procede a realizar una restauración del paisaje. Como se comprueba en el *Capítulo 9. Restauración del paisaje*, se han determinado dos zonas que quedan dañadas después de la rotura de la ladera, se denominan zona 1, al área donde se encuentra el talud que se pretende estabilizar y zona 2, más pequeña, entre las dos calzadas. Para la restauración de la zona 1, se idean dos bermas distribuidas bajo el pie del muro. Para la zona 2, no es necesario modificar la geometría del terreno.

La última parte de este trabajo consiste en realizar una medición y una valoración de las obras, este capítulo nos da una aproximación del PEM (Presupuesto de Ejecución Material)

Finalmente se alcanzan las siguientes **conclusiones**.

- La ladera, presenta problemas de estabilidad, por eso se realizan tareas de mantenimiento. Esto se comprueba en el análisis que se realiza con la teoría de las dovelas (o rebanadas) mediante la aplicación informática *Slide2*.
- La medida de contención ejecutada como obra de emergencia, un muro de hormigón armado, no se integra en el paisaje de forma adecuada. Al pie del muro de hormigón armado, en el terreno en que se apoya esta estructura, presenta patologías que pueden desembocar en una rotura del propio muro.
- En el resto de la ladera se observan diversas medidas de contención, como muros con contrafuertes, muros de mampostería con y sin micropilotes autoperforantes, entre otras. Se recomienda una revisión de la ladera, para limpieza y reparación de algunas medidas. Como las ODT deberían de limpiarse de la vegetación, las mallas de un sistema de hidrosiembra que no ha funcionado, deberían eliminarse y substituirse por mallas metálicas de retención, ya que las mallas actuales están realizando la función de estas últimas. En zonas de desprendimientos ocasionales deberían colocarse mallas de triple torsión para evitar que los fragmentos que se desprendan de la roca caigan ladera abajo y acaben en la calzada de la carretera.
- Los ensayos de estabilidad estática realizados a las muestras de calizas, dan unos resultados óptimos. Mientras que las muestras de margas, sometidas
- al ensayo de Dusseaul se alteran bastante hasta tal punto que una de las muestras se acaba fracturando únicamente por el efecto estático del agua.
- La zona de estudio en condiciones de precipitaciones intensas es inestable.

- La solución actual correspondiente a la obra de emergencia, muro de hormigón armado, no logra que la ladera sea estable a largo plazo, además el análisis realizado corrobora las grietas de tracción detectadas al pie del muro..
- En el análisis multicriterio, se obtienen dos alternativas de peso considerable por lo que se decide estudiar la estabilidad del talud con estas dos medidas:
  1. Muro de mampostería con mortero resistente
  2. Muro de mampostería con mortero de revoco y micropilotes autoperforantes
- Los resultados que se obtienen en las simulaciones con el *Slide2*, demuestran que la solución que mejor resultado proporciona es la de colocar un muro de mampostería con un mortero resistente tipo M-7,5 N/mm<sup>2</sup>, esta solución es más económica y funcional que la segunda alternativa estudiada que consiste en ejecutar un muro de mampostería con mortero de revoco y con micropilotes autoperforantes como medida complementaria.
- Se ejecutan dos bermas al pie del muro, para reducir la pendiente y el peso del terreno, contribuyendo así a la estabilidad global de la ladera. Además, estas bermas, posteriormente se usan para restaurar el paisaje.
- La zona a restaurar se divide en dos áreas: la zona 1 consiste en plantar en las bermas especies arbustivas y arbóreas como pinos u olivos, mientras que en la zona 2 se decide plantar flora de tipo arbustivo como manzanilla, que no crecerán de forma considerable y permitirán una visibilidad adecuada en la curva que une las dos calzadas. En los dos taludes que quedan entre las bermas, se realiza una hidrosiembra.
- En la valoración económica de esta solución se obtiene un presupuesto de ejecución material de 762.541,06€

Finalmente, este trabajo de fin de grado logra cumplir las metas marcadas, es decir, conseguir incorporar en un medio rural una medida de contención técnicamente eficaz y económicamente viable, con una buena integración en el paisaje y alineada con los objetivos de desarrollo sostenible número 9, 12, 13 y 15 de la Agenda 2030.

Valencia, Julio 2021

San Lorenzo Molins, Francisco Javier





## **ANEJOS:**

**ANEJO 1. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS TALUDES**

**ANEJO 2. PLANOS**

**ANEJO 3. PLAN DE TRABAJO**

**ANEJO 4. VALORACIÓN DE LAS OBRAS**

**ANEJO 5. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)**



## **ANEJO 1. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES**



## ANEJO 1. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

### Introducción

En el presente anejo, se trata de explicar de forma detallada el procedimiento que se ha seguido para realizar el análisis de la estabilidad de la ladera. También se explica el motivo por el que se realiza cada análisis y como se han solucionado los distintos problemas que aparecen según se van realizando cambios, tanto en la geometría, el elemento de contención o la incorporación o no de la presencia de agua.

Para estudiar la estabilidad de la ladera se emplea la aplicación informática *Slide2 de Rocscience*. El estudio mediante esta aplicación permite comprobar la estabilidad de la ladera, antes y después de la rotura que justifica este trabajo lo que permitirá estimar si la rotura se produjo porque ya estaba deteriorado el macizo rocoso y el vuelco de la grúa solo aceleró el proceso de la rotura. Esta aplicación informática también permite avalar así los resultados obtenidos en el laboratorio. Además, este software va a permitir ver cómo afecta a la estabilidad de la ladera la solución que se construyó en la obra de emergencia, muro de hormigón armado, también se comprueba la solución derivada del análisis de alternativas en dos versiones distintas: muro de mampostería con y sin micropilotes autoperforantes. Se estudia también la ladera en dos situaciones, en condiciones normales, es decir, sin la presencia presencia de agua y en condiciones de episodios de lluvia intensa con presencia de agua. Para este análisis se utiliza el *Manual de taludes del IGME*, que toma como coeficiente de seguridad mínimo 1,5 para la estabilidad de taludes.

### Rotura global

El avance tecnológico de las últimas décadas ha permitido implementar estos procedimientos, de normal muy laboriosos y se han incorporado a programas informáticos incluso de aplicaciones numéricas como los elementos finitos.

Uno de estos programas informáticos es la aplicación *Slide* que se utiliza en este trabajo.

Este software permite analizar estabilidad de superficies de rotura usando métodos de equilibrio de límite basándose en el procedimiento de dovelas verticales.

Se analizan una gran cantidad de superficies de roturas posibles con el objeto de determinar la superficie de rotura crítica para un talud dado.

*Slide2* puede analizar la estabilidad de taludes con superficies de rotura circulares o no-circulares.

Es posible analizar una superficie de rotura concreta o, como es más habitual, realizar la búsqueda de la superficie de rotura crítica, para intentar encontrar aquella que proporcione el factor más bajo de la seguridad.

## PROCEDIMIENTO

En primer lugar, se decide en las unidades en las que se va a trabajar, en este caso, solo es necesario indicar que se va a utilizar el sistema internacional y se define como se quiere que el programa estudie la rotura, se define que se estudie la rotura de izquierda a derecha, pues la zona más propensa a la rotura es la que está en esa dirección. Esto se encuentra en el menú principal, (Ilustración 1) “Análisis”→ “Project Settings”→”General”.

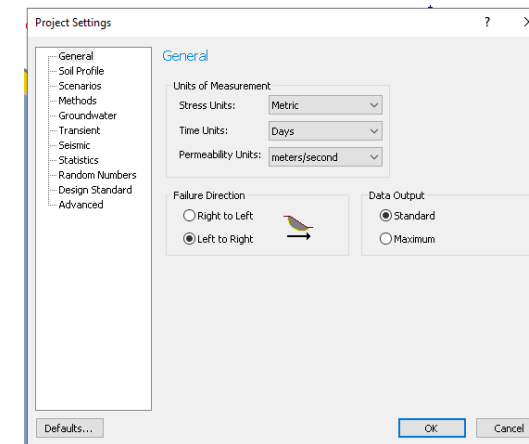


Ilustración 1 Ventana para configuración inicial. Fuente: Slide2.

Dentro de Project Settings, se encuentran múltiples funciones, pero para este estudio solo se necesita realizar un cambio más y se encuentra en “Methods”, (Ilustración 2) aquí se decide que métodos o criterios de rebanadas se quieren aplicar. En este trabajo se aplican dos criterios al mismo tiempo, los más comunes: Bishop simplified y Janbu simplified, con la intención de contrastar resultados.

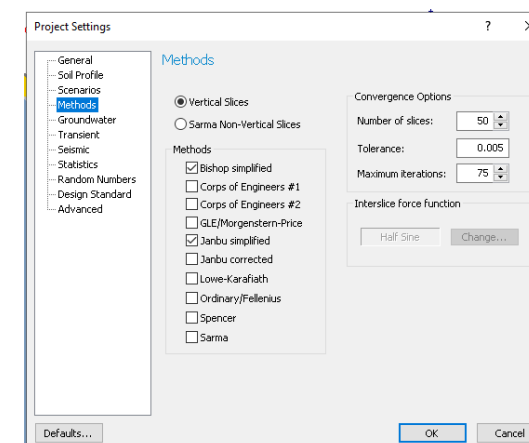


Ilustración 2 Elección de los métodos de rebanadas que se usan. Fuente: Slide2.

Después de definir esto se introduce en la aplicación el perfil del terreno (Ilustración 3) mediante coordenadas (x, y). Hay que destacar que al final debe quedar un polígono totalmente cerrado. A continuación, se procede a definir los estratos que se tienen en toda la ladera. En este caso, se coloca un estrato superior de alternancia de margas y calizas y un segundo estrato de calizas potentes. Una vez dibujados los estratos se procede a adjudicarles sus propiedades. También se decide colocar una sobrecarga sobre las calzadas, simulando así la carga que transmite el tráfico, esta sobrecarga se tiene en cuenta en todos los análisis de estabilidad de la ladera, con objeto de simular la situación más desfavorable. Esta carga se añade accediendo a “Loading” → “Add Distributed Load”. para estar así en la situación más desfavorable. Hay que destacar que no es tramo muy transitado.

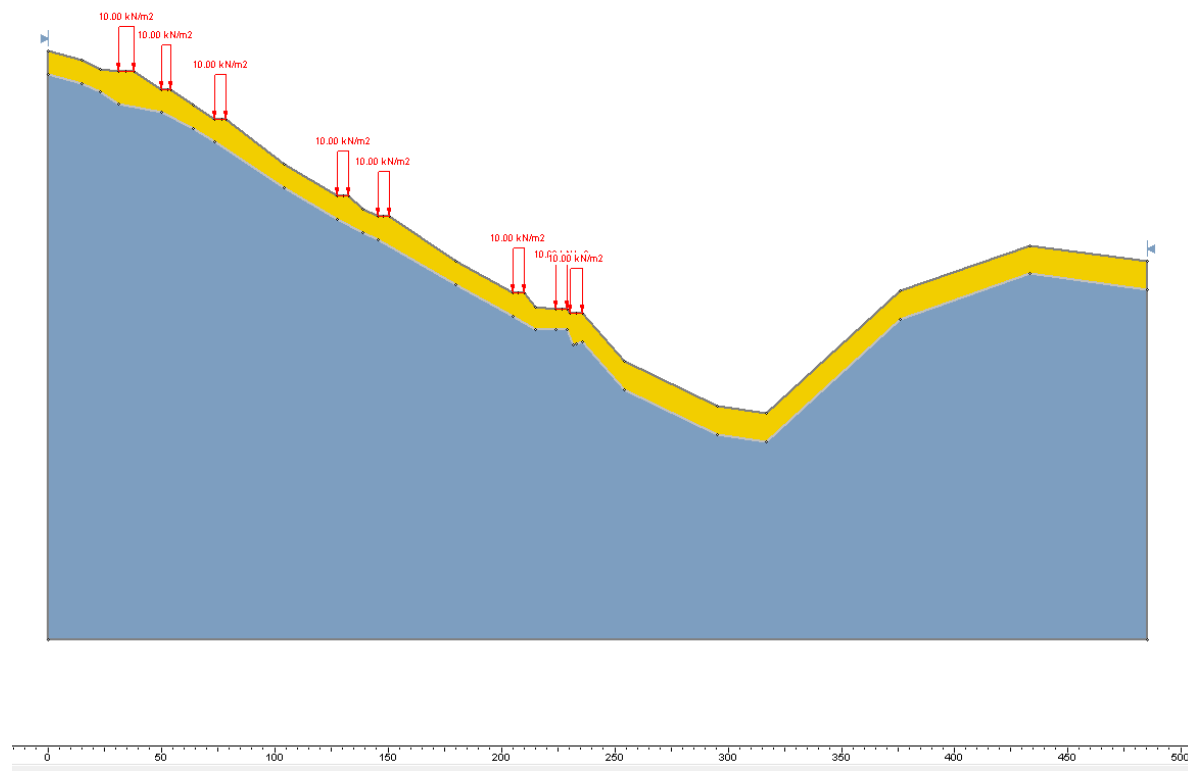


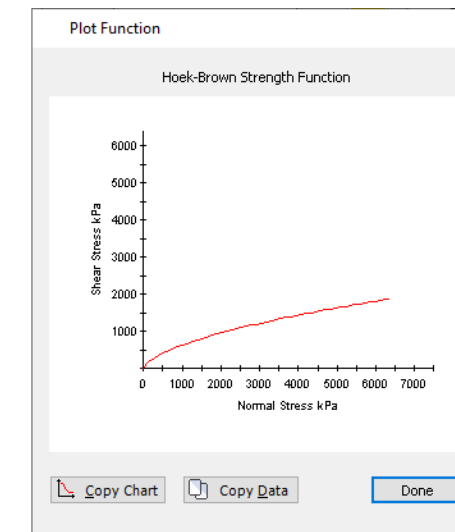
Ilustración 3 Perfil de la ladera que se analiza. Fuente: Slide2.

Finalmente se procede al cálculo o a la simulación del modelo, al ejecutarlo, mediante la opción “Compute” es necesario indicarle al programa que muestre el output, para ello se marca la opción “Interpret” después de que se ejecute y se obtiene el resultado correspondiente a cada simulación.

Los datos que se introducen, la resistencia a compresión simple y peso específico de los estratos del terreno, se obtienen de los ensayos de laboratorio excepto los del estrato de margas que se obtienen de libro: *Ingeniería Geológica*, González de Vallejo et al, 2002. Del mismo modo, las características de los elementos de contención y del relleno en el trasdós del muro: peso específico, cohesión y ángulo de rozamiento, se han obtenido de la bibliografía técnica y constituyen valores comúnmente aceptados.

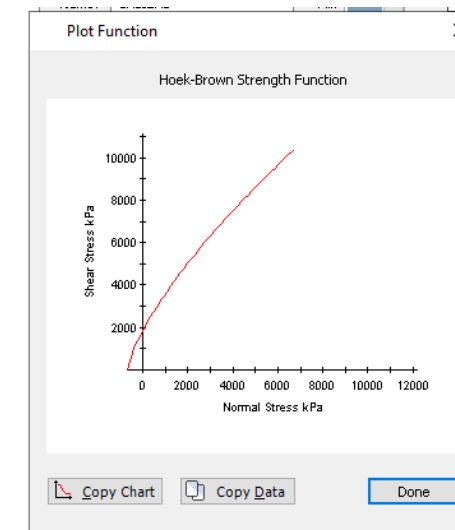
En el estrato más superficial, a pesar de tratarse de una alternancia de margas y calizas, se opta por adjudicar las características de las margas, pues estas son menos resistentes y son las que van a condicionar que haya algún tipo de inestabilidad que pueda llevar a una rotura. En el estrato más profundo, se introducen los datos de las calizas.

A continuación, se muestra la del estrato superficial, correspondiente a la alternancia de margas y calizas. (Gráfica 1)



Gráfica 1 Comportamiento de las margas con el criterio de Hoek- Brown. Fuente: Slide2.

La siguiente corresponde al estrato inferior de calizas potentes. (Gráfica 2)



Gráfica 2 Comportamiento de las calizas con el criterio de Hoek- Brown. Fuente: Slide2.

Viendo las dos gráficas, se puede interpretar:

- El estrato más superficial presenta una resistencia menor que el más profundo.
- El estrato más superficial es más deformable que el estrato más profundo.



Después de definir la zona de estudio, se comprueba el comportamiento de la ladera en distintas simulaciones, que se realizan con la aplicación informática del *Slide2*:

1. SIN PRESENCIA DE AGUA.
2. CON PRESENCIA DE AGUA.
3. SIN PRESENCIA DE AGUA Y MURO DE HORMIGÓN ARMADO.
4. CON PRESENCIA DE AGUA Y MURO DE HORMIGÓN ARMADO.
5. SIN PRESENCIA DE AGUA Y MURO DE MAMPOSTERÍA CON MORTERO DE REVOCO.
6. SIN PRESENCIA DE AGUA, MURO DE MAMPOSTERÍA CON MORTERO DE REVOCO Y MICROPILOTES AUTOPERFORANTES.
7. CON PRESENCIA DE AGUA Y MURO DE MAMPOSTERÍA CON MORTERO DE REVOCO.
8. CON PRESENCIA DE AGUA, MURO DE MAMPOSTERÍA CON MORTERO DE REVOCO Y MICROPILOTES AUTOPERFORANTES.
9. CON PRESENCIA DE AGUA Y MURO DE MAMPOSTERÍA CON MORTERO M-7,5 N/mm<sup>2</sup>.

Para todos los casos que se estudian, se utiliza el criterio de rotura de Hoek-Brown, pues al estar trabajando con rocas es el más adecuado y también lo es para la rotura del muro (si se produjera) tanto si es de hormigón como si se ha construido de mampostería.

Esta es la primera simulación que se realiza, para comprobar cómo se comporta la ladera en condiciones normales, sin presencia de agua y sin ninguna medida de contención. Para todas las simulaciones, como consecuencia de la forma de la ladera, ha sido necesario repetir el proceso con una malla de puntos horizontal y otra vertical para abarcar el mayor número posible de círculos de rotura puesto que estos puntos corresponden a sus centros.

### 1. SIN PRESENCIA DE AGUA

Para esta simulación se utilizan las siguientes características:

- Alternancias de margas y calizas. (Ilustración 4)
  - Peso específico = 24,53 kN/m<sup>3</sup>
  - UCS (Resistencia a compresión simple) = 1500 kPa
  - m = 2
  - s = 0,01
  - D = 0

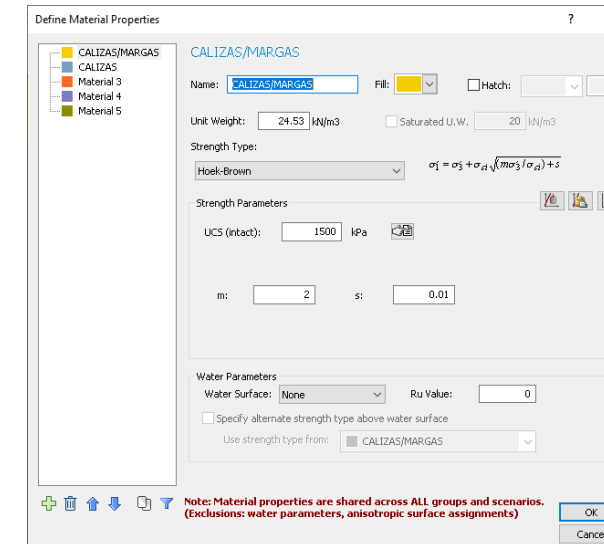


Ilustración 4 Datos introducidos de margas para el caso 1. Fuente: Slide2.

- Calizas potentes. (Ilustración 5)
  - Peso específico = 26 kN/m<sup>3</sup>
  - UCS (Resistencia a compresión simple) = 138850 kPa
  - m = 2
  - s = 0,01
  - D = 0

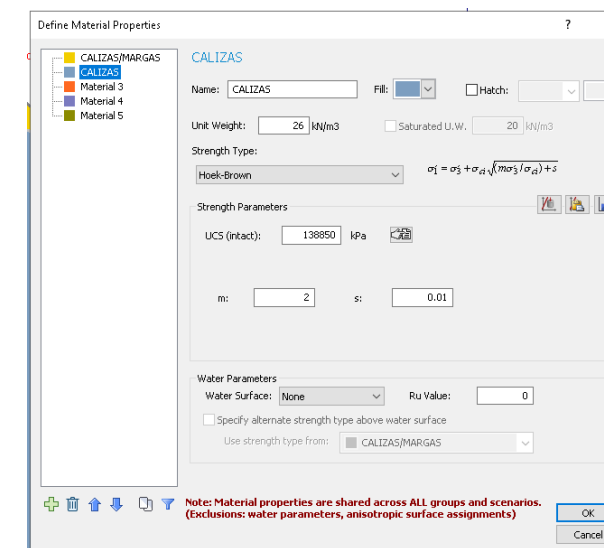


Ilustración 5 Datos introducidos de las calizas para el caso 1. Fuente: Slide2.

El output de la aplicación se incluye a continuación:

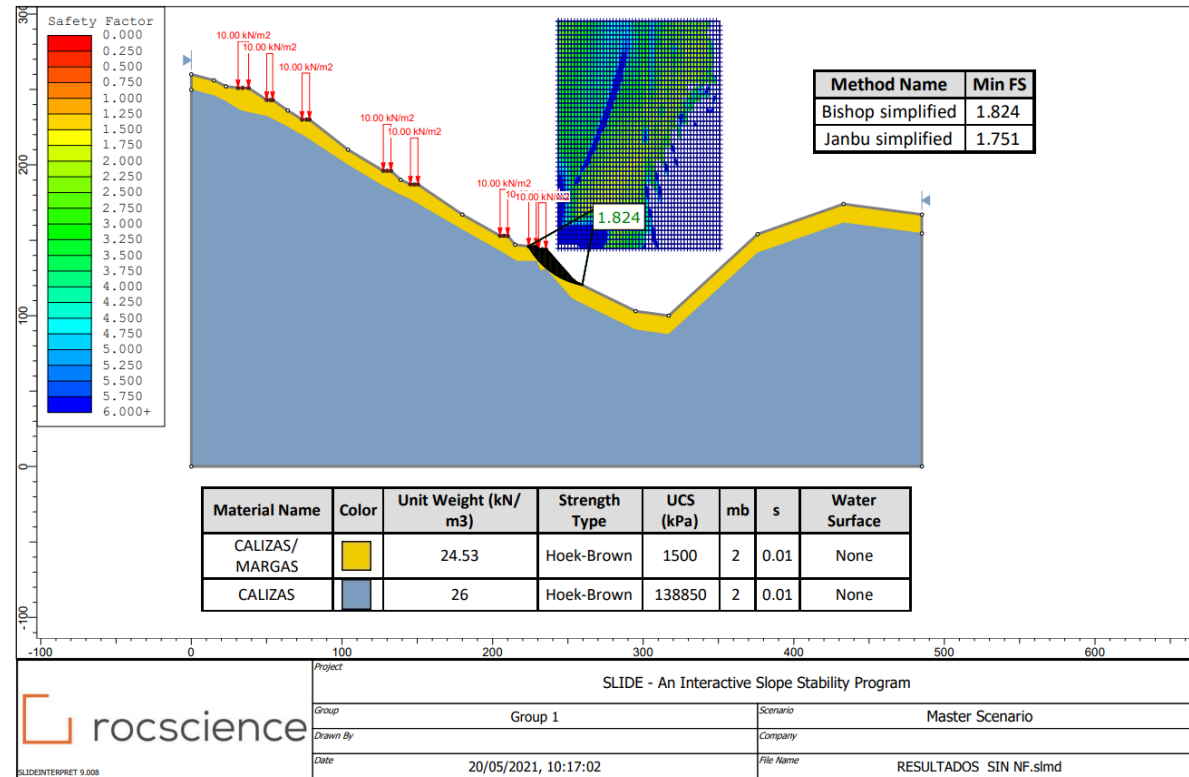


Ilustración 6 Resultados del caso 1. Fuente: Slide2.

Los resultados que se obtienen con este primer análisis (Ilustración 6) son los siguientes:

- El círculo de rotura más probable afecta a la zona donde se produjo el desprendimiento, por lo que no afecta a toda la ladera.
- El coeficiente de seguridad que se obtiene es mayor de 1,5 mínimo exigido por la normativa. Para ser más precisos se obtiene un coeficiente de seguridad mínimo de 1.751. Esto significa que las probabilidades de que se de esta rotura son muy bajas.
- La **ladera** en condiciones normales, es **estable**.
- Los resultados alcanzados con los dos métodos que se han aplicado son los siguientes:
  - Bishop simplified = 1,824
  - Janbu simplified = 1,751

Hay que señalar que la variación de los resultados en cada método es debido a las hipótesis de partida y particularidades que tiene en cuenta cada uno de ellos para realizar los cálculos, pero a pesar de ellos ambos deben estar en el mismo orden de magnitud. Esto se repite a lo largo de todas las simulaciones.

Se decide ampliar el estudio del **caso 1** analizando la malla de puntos en una disposición horizontal, para abarcar una mayor superficie a la hora de detectar los círculos de rotura.

Para este caso los datos que se introducen en el programa son los mismos que se usan en el **caso 1**, con la única diferencia de que como se ha comentado el grid, se dispone de forma horizontal.

El output de la aplicación se incluye a continuación:

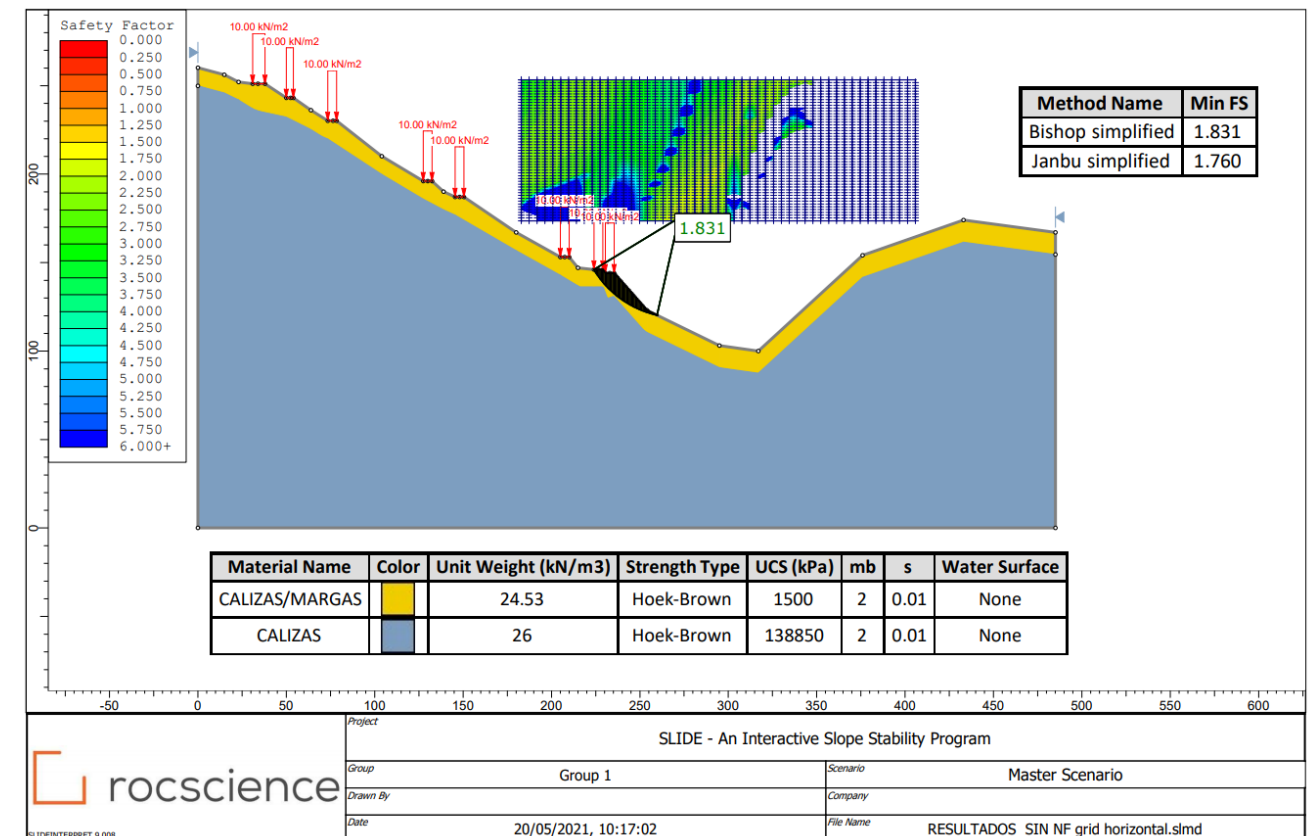


Ilustración 7 Resultado caso 1, grid horizontal. Fuente: Slide2.

Con este análisis (Ilustración 7) se determina que:

- Aunque ahora se abarca una zona de estudio mayor, el círculo de rotura es similar al del **caso 1**.
- La **ladera** sigue siendo **estable**, con un coeficiente de seguridad mínima de 1,760.
- Con los métodos aplicados se obtiene los siguientes coeficientes de seguridad:
  - Bishop simplified = 1,831
  - Janbu simplified = 1,760



## 2. CON PRESENCIA DE AGUA.

A continuación, se estudia la estabilidad de la ladera, pero en condiciones de precipitaciones intensas, por lo que aparece la presencia de agua por la superficie de la ladera. Esta situación es la más desfavorable a la que puede estar sometida la ladera sin medidas de contención.

Para esta simulación se utilizan las siguientes características:

- Alternancias de margas y calizas. (Ilustración 8)
  - Peso específico =  $24,53 \text{ kN/m}^3$
  - Peso específico saturado =  $24.53 \text{ kN/m}^3$
  - UCS (Resistencia a compresión simple) = 1500 kPa
  - $m = 2$
  - $s = 0,01$
  - $D = 0$

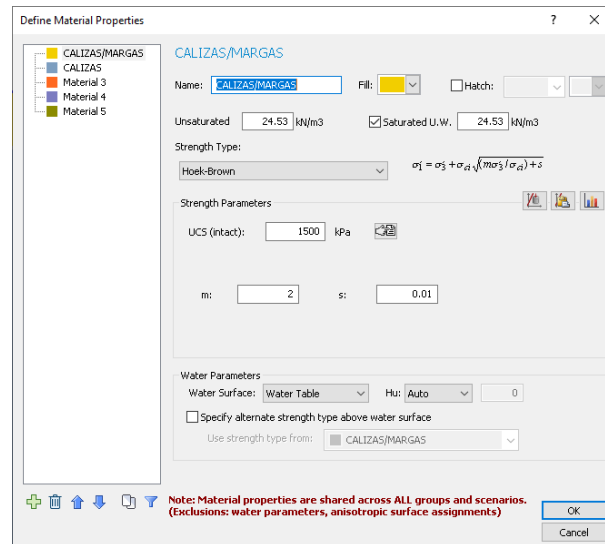


Ilustración 8 Datos introducidos de las margas en el caso 2. Fuente: Slide2.

- Calizas potentes. (Ilustración 9)
  - Peso específico =  $26 \text{ kN/m}^3$
  - Peso específico saturado =  $26 \text{ kN/m}^3$
  - UCS (Resistencia a compresión simple) = 138850 kPa
  - $m = 2$
  - $s = 0,01$
  - $D = 0$

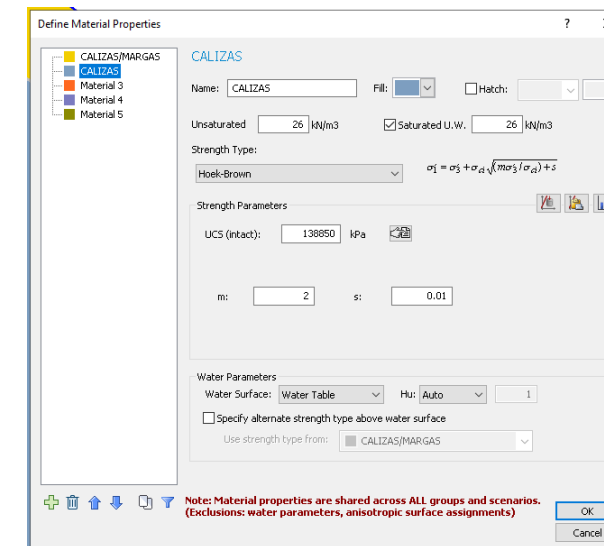


Ilustración 9 Datos introducidos de calizas para el caso 2. Fuente: Slide2

Con estos datos la aplicación muestra también la gráfica que representa el criterio de rotura que como se puede observar es no-lineal. Hay que destacar que esta gráfica coincide en todos los análisis que se han realizado.

Finalmente se obtiene el siguiente resultado:

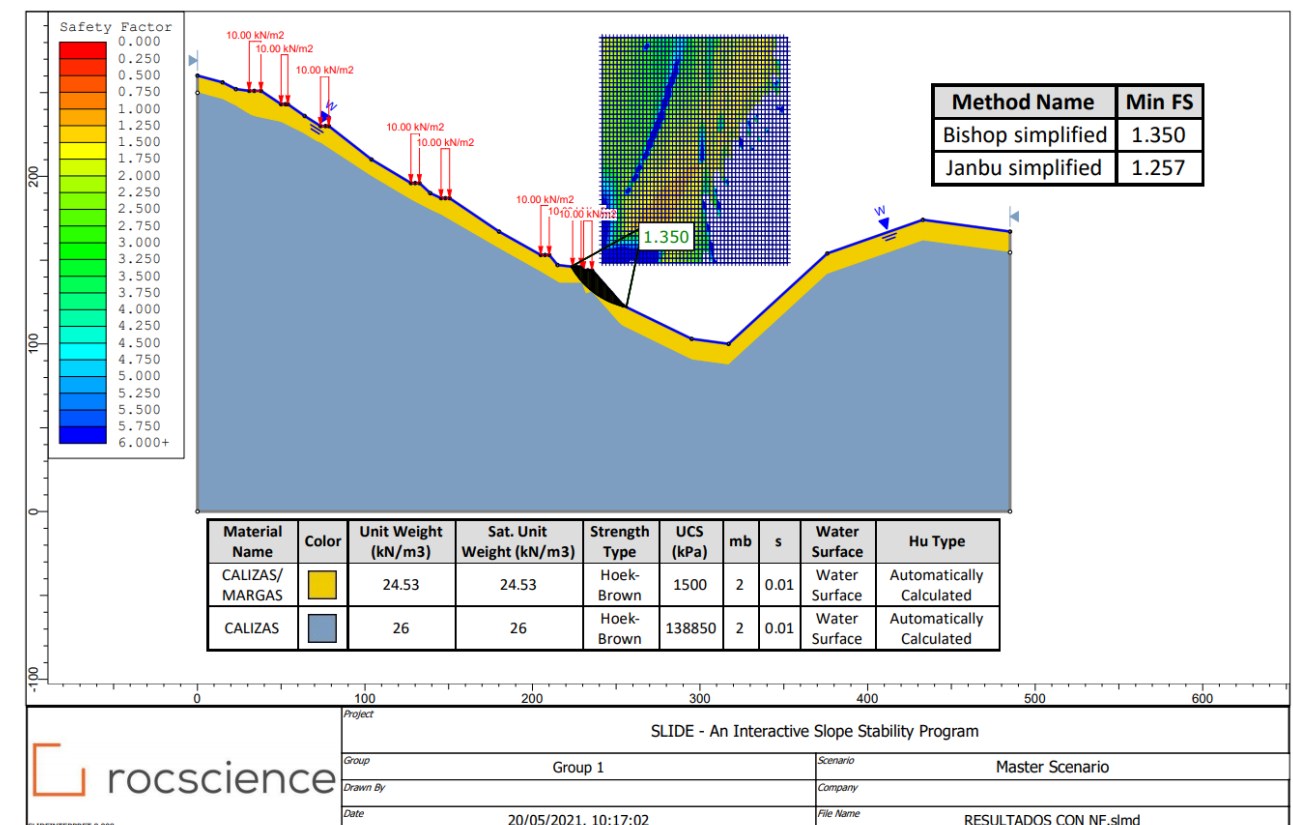


Ilustración 10 Resultado del caso 2. Fuente: Slide2.

Se pueden deducir las siguientes conclusiones de este análisis (Ilustración 10)

- La presencia de agua provoca que el coeficiente de seguridad se reduzca, pasando a ser menor de 1,5 concretamente de 1,257.
- Se sigue teniendo un círculo de rotura similar al de los casos anteriores.
- La **ladera** es potencialmente **inestable**.
- Los métodos utilizados nos proporcionan los siguientes resultados:
  - Bishop simplified = 1,350
  - Janbu simplified = 1,257

A continuación, se muestra el resultado con grid horizontal, para abarcar una mayor zona en el análisis. Los datos utilizados son los mismos que en la simulación anterior.

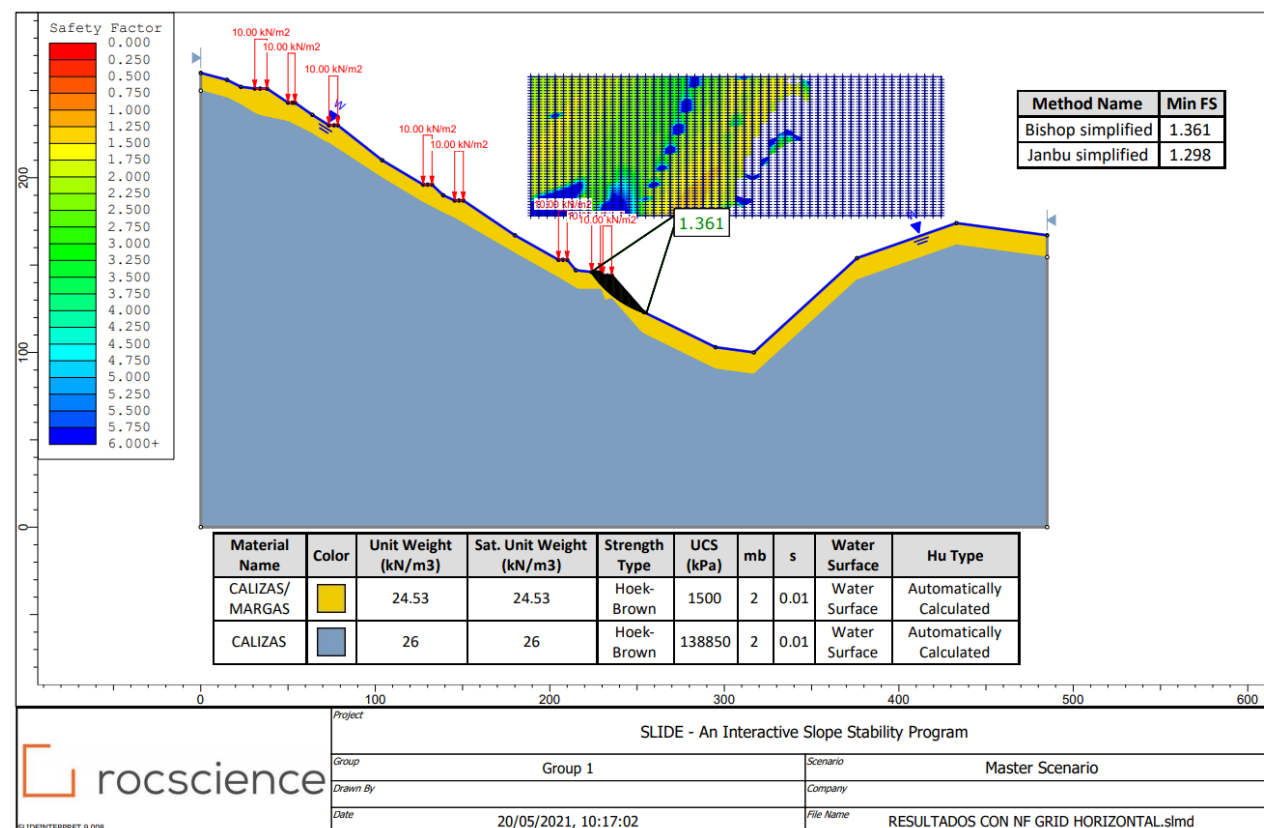


Ilustración 11 Resultado del caso 2, grid horizontal. Fuente: Slide2.

Se obtienen las siguientes conclusiones (Ilustración 11) de la simulación anterior, los coeficientes de seguridad obtenidos son ligeramente mayores lo que indica que, en esta situación, el círculo pésimo tiene su centro en el grid empleado en la simulación anterior.

### CONCLUSIONES DE LOS ANÁLISIS SIN MEDIDAS DE CONTENCIÓN

- La ladera es **estable** en condiciones normales.
- En condiciones de episodios de lluvia muy intensos que diera lugar a una saturación del terreno, donde aparecería **agua** por la superficie de la ladera, es **inestable**.
- Los círculos de rotura de todos los **casos** son similares, lo que indica que la **zona crítica** de esta parte de la ladera es donde se produjo el **desprendimiento**.
- Se realizan análisis con y sin presencia de agua para ver si con unas lluvias muy intensas, la ladera es estable, a pesar de que no se detecta la presencia de la presencia de agua en la zona. Se ha visto que este análisis con y sin presencia de agua es necesario, pues la ladera pasa de ser estable a ser inestable.

Después de comprobar la estabilidad de la ladera sin ninguna medida de contención se procede a comprobar la estabilidad de la ladera incluyendo diversas medidas de contención con y sin presencia de agua, para comprobar cómo afectan a la estabilidad de la ladera.

En primer lugar, se analiza la estabilidad de la ladera con un **muro de hormigón armado** situado justo en la zona donde se produjo la rotura que se corresponde con la medida que se tomó en la obra de emergencia. De la visita de campo realizada se deduce que, el muro de hormigón armado apoya sobre el estrato más superficial constituido por una alternancia de margas y calizas. Se modifica la geometría del estrato de alternancias de margas y calizas y el muro queda visto en todo su alzado.



### 3. SIN PRESENCIA DE AGUA Y MURO DE HORMIGÓN ARMADO.

En este caso se va a estudiar la estabilidad de la ladera en condiciones normales, con la solución que hay implantada actualmente, un muro de hormigón armado.

A continuación, se muestran las características de los materiales, muro de hormigón armado y del relleno en su trasdós.

- Alternancias de margas y calizas.
  - Peso específico =  $24,53 \text{ kN/m}^3$
  - UCS (Resistencia a compresión simple) = 1500 kPa
  - $m = 2$
  - $s = 0,01$
  - $D = 0$
  
- Calizas potentes.
  - Peso específico =  $26 \text{ kN/m}^3$
  - UCS (Resistencia a compresión simple) = 138850 kPa
  - $m = 2$
  - $s = 0,01$
  - $D = 0$

Se usan los mismos datos de los materiales que en el **caso 1**.

- Muro de hormigón armado. (Ilustración 12)
  - Peso específico =  $25 \text{ kN/m}^3$
  - Cohesión = 250 kPa
  - Ángulo de rozamiento =  $45^\circ$
  
- Relleno en el trasdós (Ilustración 13)
  - Peso específico =  $22 \text{ kN/m}^3$
  - Cohesión = 1 kPa
  - Ángulo de rozamiento =  $36^\circ$

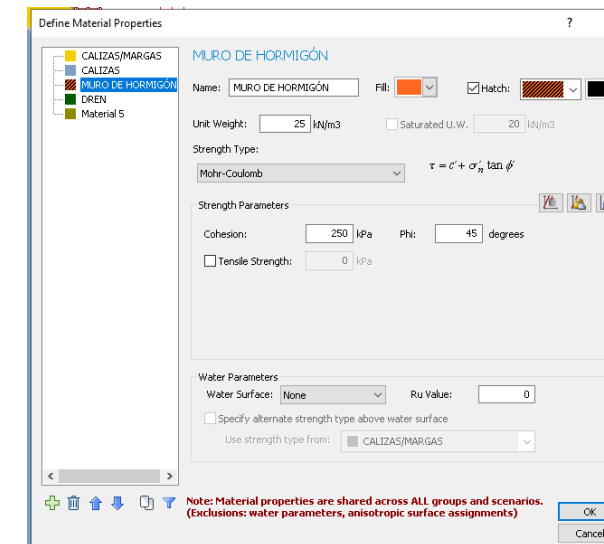


Ilustración 12 Datos del muro de hormigón armado para el caso 3. Fuente: Slide2.

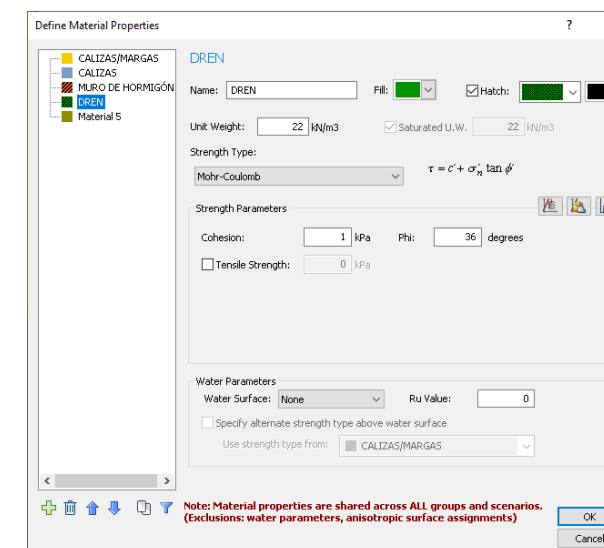


Ilustración 13 Datos del relleno en el trasdós para el caso 3. Fuente: Slide2.

El resultado de este análisis es el siguiente:

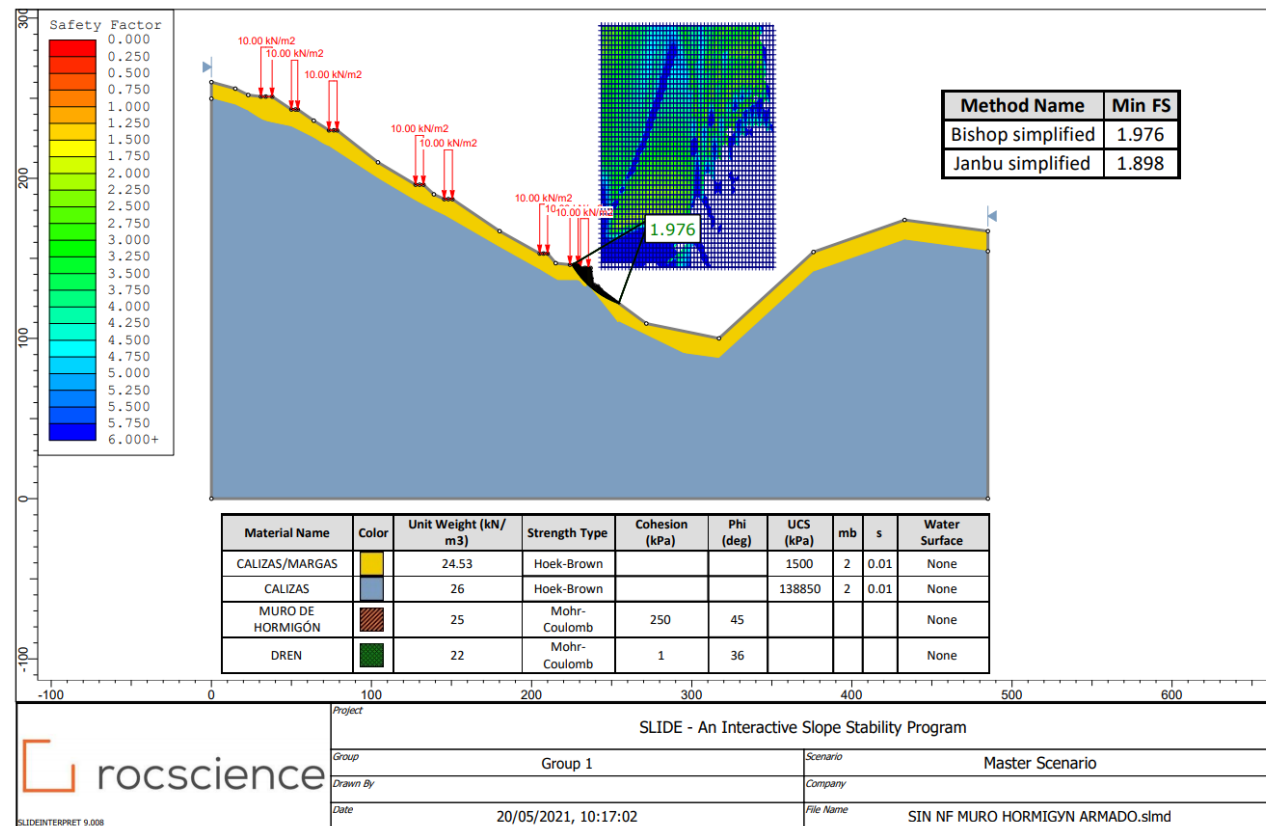


Ilustración 14 Resultado caso 3. Fuente: Slide2.

El resultado que se obtiene es el siguiente:

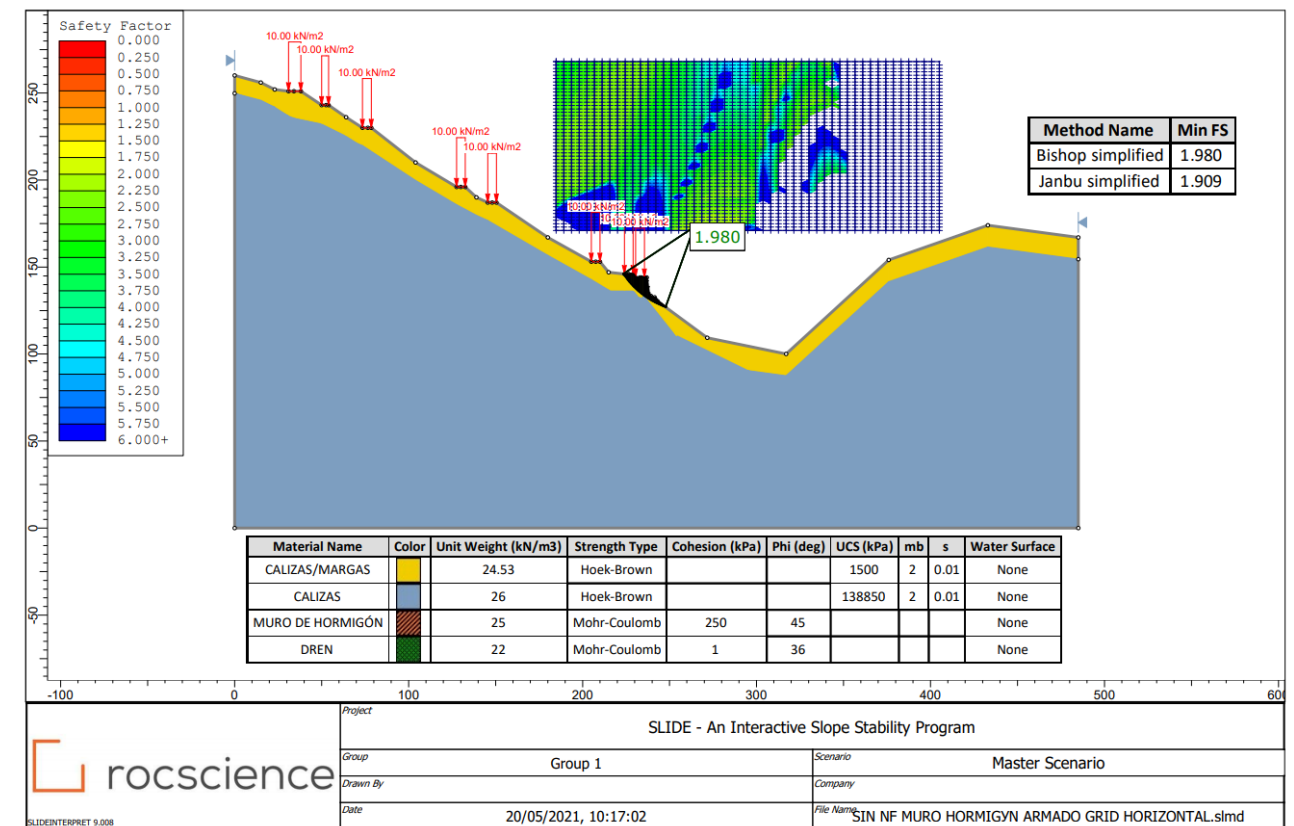


Ilustración 15 Resultado caso 3, grid horizontal. Fuente: Slide2.

Con los resultados obtenidos (Ilustración 14) se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Con el muro de hormigón armado y sin presencia de agua la **ladera es estable**.
- El muro de hormigón armado no influye en el círculo pésimo de rotura, este sigue localizado en la misma zona que en los casos anteriores, contiene al muro de hormigón, no afecta al estrato de las calizas.
- El coeficiente de seguridad que se obtiene es 1.898, está del lado de la seguridad.
- Los métodos empleados nos muestran los siguientes coeficientes de seguridad:
  - Bishop simplified = 1,976
  - Janbu simplified = 1,898

De este análisis (Ilustración 15) se Deduce que:

- La nueva simulación mantiene la **estabilidad** de la ladera.
- El círculo de rotura es prácticamente el mismo.
- El coeficiente de seguridad es muy similar, es de 1,909.
- Los métodos empleados nos muestran los siguientes factores de seguridad:
  - Bishop simplified = 1,980
  - Janbu simplified = 1,909

Al igual que se ha realizado en los casos sin medidas de contención, también se amplía el número de puntos chequeados repitiendo la simulación con una disposición horizontal del grid. Las características de los materiales son las mismas que en análisis anterior.

4. CON PRESENCIA DE AGUA Y MURO DE HORMIGÓN ARMADO.



Al igual que hace en el estudio sin medidas, ahora se analiza la estabilidad de la ladera con el muro de hormigón armado en la condición de presencia de agua. Este muro estará situado en la misma zona que en el caso 3. Para este análisis los materiales que se utilizan tienen las mismas características del caso anterior.

Se obtiene el siguiente resultado:

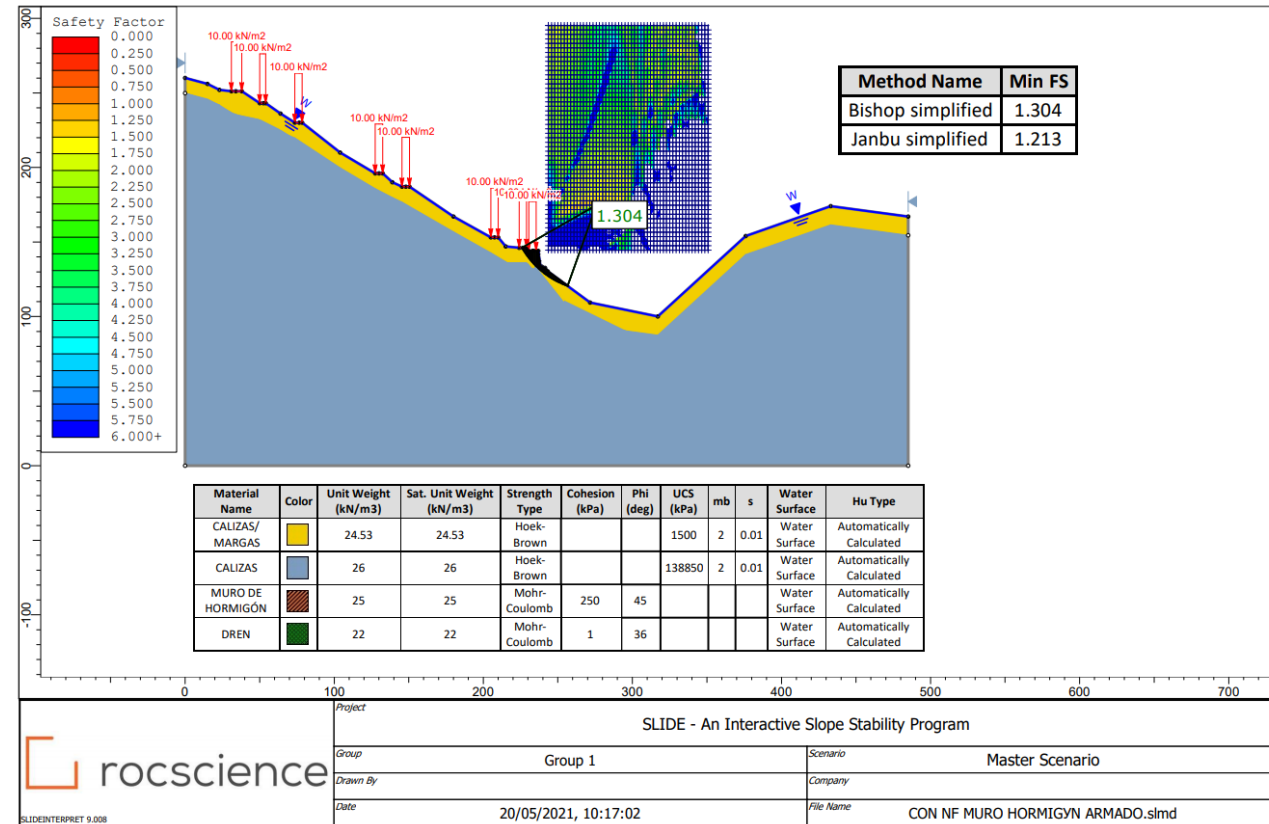


Ilustración 16 Resultado del caso 4. Fuente: Slide2.

De este análisis (Ilustración 16) se sacan las siguientes conclusiones:

- La ladera **no es estable** en la situación más desfavorable, con presencia de agua.
- El círculo de rotura no cambia, sigue estando en la zona del muro y no afecta al estrato de las calizas.
- El coeficiente de seguridad disminuye con respecto al caso 3, pasa a ser **menor al mínimo establecido por la normativa vigente, 1,213**.
- Los resultados que se obtiene con los métodos empleados son los siguientes:
  - Bishop simplified = 1,304
  - Janbu simplified = 1,213

Como en casos anteriores, variando la posición de la malla de centros, se obtiene el siguiente resultado:

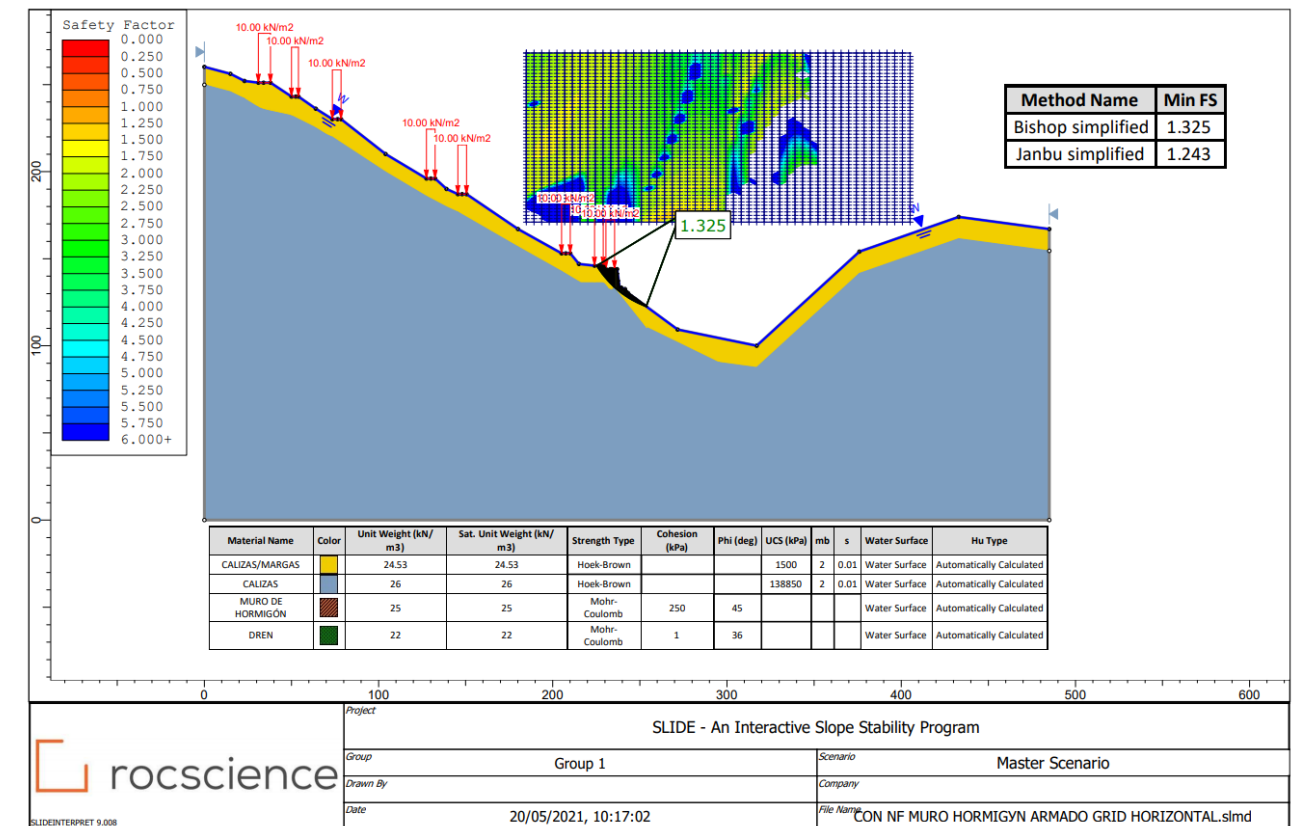


Ilustración 17 Resultado caso 4, grid horizontal. Fuente: Slide2.

Como se puede observar, (Ilustración 17) la situación más restrictiva sigue siendo la anterior, aunque la diferencia en los coeficientes de seguridad obtenidos en mínima.

### 5. SIN PRESENCIA DE AGUA Y MURO DE MAMPOSTERÍA CON MORTERO DE REVOCO.

A continuación, se realiza el estudio cambiando el muro de hormigón por un muro de mampostería, más integrado en el entorno. En este punto del análisis también se valora y se decide si es necesario o no la colocación de un muro de mampostería o de un muro de mampostería con micropilotes autoperforantes, puesto que estas dos medidas se han observado en la visita de campo.

Ambas soluciones van a estar situadas en el mismo punto, en la misma zona que el muro de hormigón armado. Estos muros de mampostería están empotrados en el estrato de calizas y su ancho va variando de forma decreciente desde la base hasta la coronación del muro, además la base tiene una cierta inclinación hacia el trasdós del muro, tal y como recomiendan los procedimientos constructivos de este tipo de muros. Todo esto da lugar a que el muro tenga un buen diseño cumpliendo el objetivo de estabilizar la ladera. Además, en el trasdós del muro se coloca un relleno.

Tanto para el muro de mampostería como para el muro de mampostería con micropilotes autoperforantes, se usa un mortero de revoco con características de la categoría CS I (UNE-EN 998).

Las características del terreno son las mismas que las consideradas en los casos anteriores y las características del muro y el relleno se incluyen a continuación.

- Muro de mampostería (Ilustración 18)
  - Peso específico = 24 kN/m<sup>3</sup>
  - Adherencia = 250 kPa
  - Ángulo de rozamiento = 45

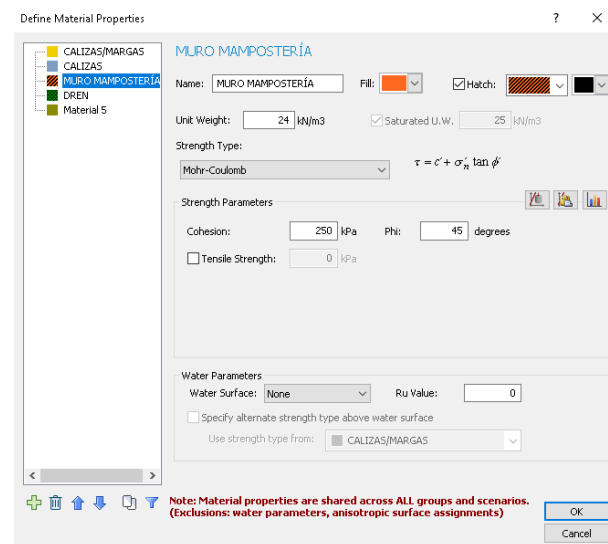


Ilustración 18 Datos del muro de mampostería para el caso 5. Fuente: Slide2.

- Relleno en el trasdós (Ilustración 19)
  - Peso específico = 22 kN/m<sup>3</sup>
  - Cohesión = 1
  - Ángulo de rozamiento = 36°

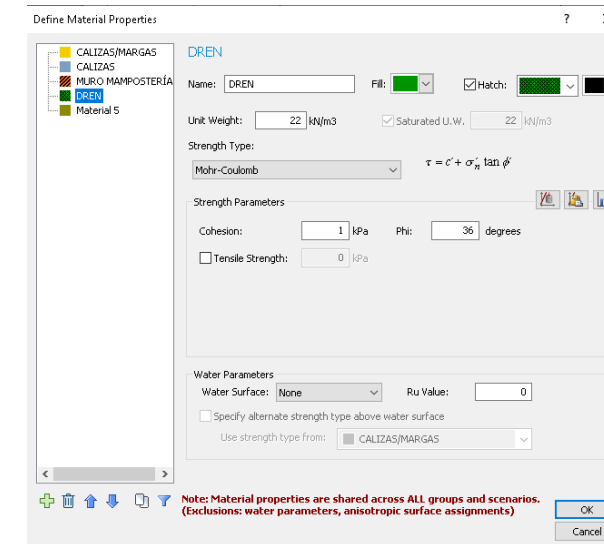


Ilustración 19 Datos del dren para el caso 5. Fuente: Slide2.

El output de la aplicación es el siguiente:

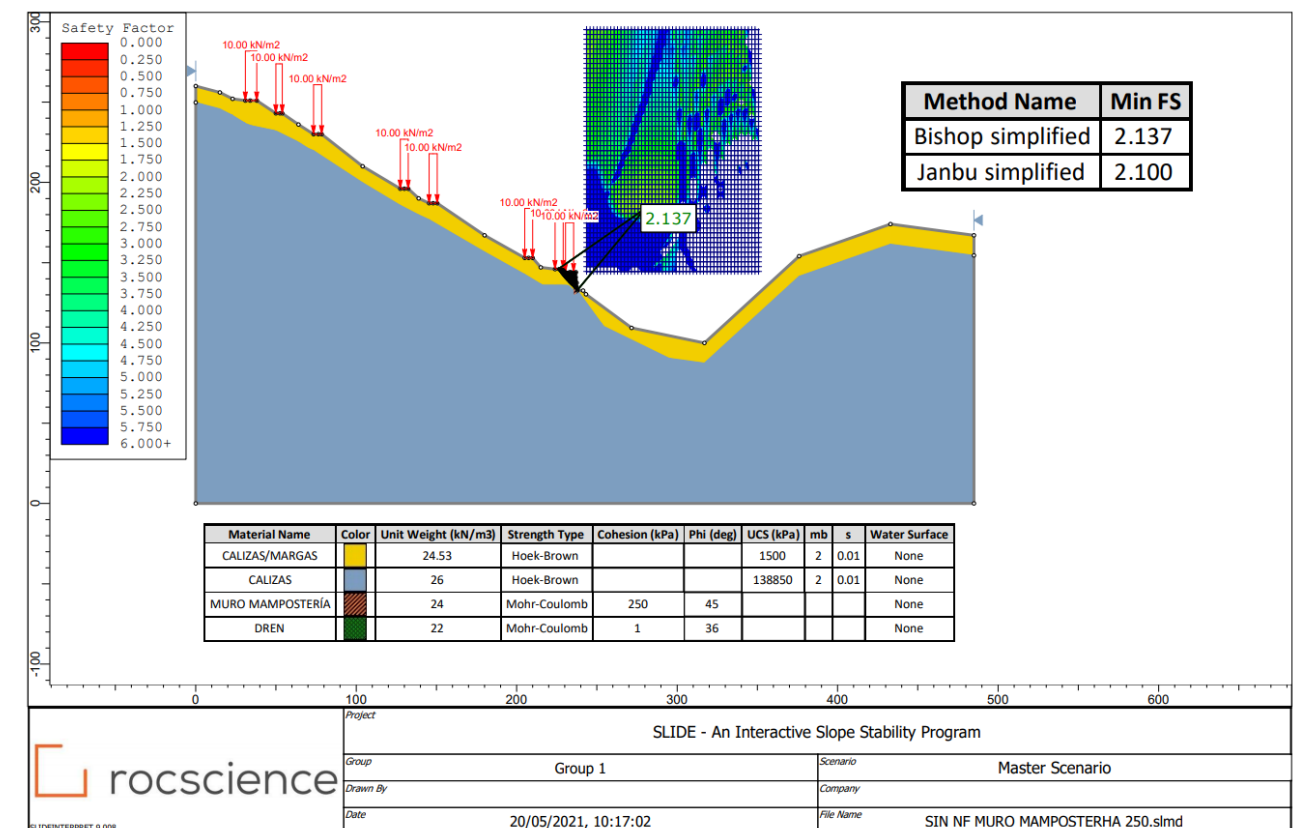


Ilustración 20 Resultados caso 5. Fuente: Slide2.



Se obtienen las siguientes conclusiones (Ilustración 20):

- En **condiciones normales** la ladera es **estable** con un muro de mampostería.
- El círculo péximo de rotura es similar a los casos ya estudiados
- El coeficiente de seguridad es mayor del mínimo exigido por la normativa.
- Se ha incluido en el diseño la construcción de dos bermas en el talud inmediatamente inferior al pie del muro, que afecta al estrato de alternancia de margas y calizas. Esto favorece a la estabilidad, puesto que así se hace más tendida la pendiente de la ladera y se evita una pendiente excesiva que propicie desprendimientos.
- Los coeficientes de seguridad que se obtienen con los métodos usados son los siguientes:
  - Bishop simplified = 2,137
  - Janbu simplified = 2,100

Ampliando la malla de puntos estudiados, se obtienen los siguientes resultados:

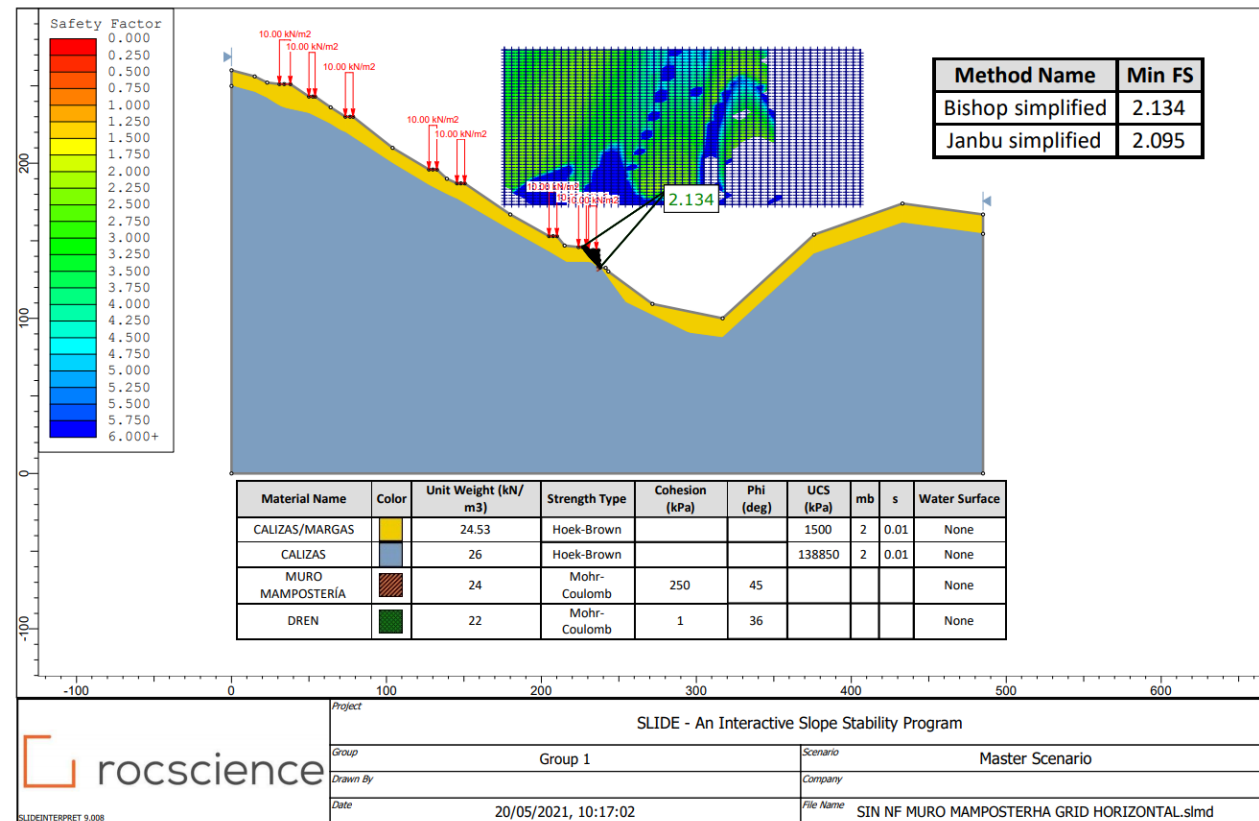


Ilustración 21 Resultado del caso 5, grid horizontal. Fuente: Slide2.

Los coeficientes de seguridad que se obtienen según lo métodos utilizados son:

- Bishop simplified = 2,134
  - Janbu simplified = 2,095
6. SIN PRESENCIA DE AGUA, MURO DE MAMPOSTERÍA CON MORTERO DE REVOCO Y MICROPILOTES AUTOPERFORANTES.

A la vista de los resultados obtenidos en el **caso 5**, se demuestra que la **ladera es estable en condiciones normales**. A pesar de esto, se comprueba cómo afecta a la estabilidad de la ladera incorporar micropilotes autoperforantes. Aunque es importante tener en cuenta que en estas condiciones **no son necesarios**, pero este primer estudio, con la incorporación de estos nos da una idea de cómo van a afectar a los resultados.

Las características de los materiales son las mismas, mientras que las características de los micropilotes autoperforantes son las siguientes:

- Micropilotes autoperforantes:
  - Ángulo respecto a la horizontal = 210°
  - Largo = 12 m
  - Separación horizontal entre micropilotes = 2,8 m
  - Número de micropilotes por columna = 4
  - Colocación a tresbolillo

A continuación, (Ilustración 22) se muestra el resultado obtenido de la simulación de este caso:

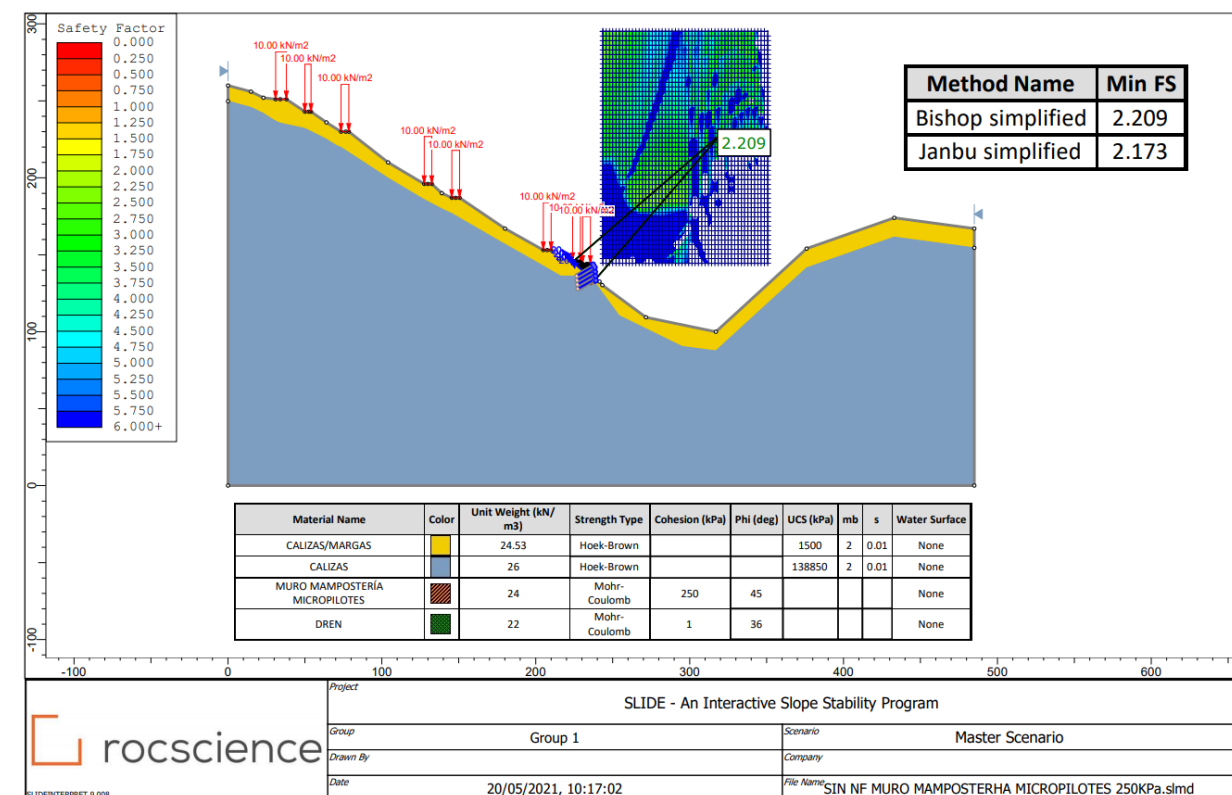


Ilustración 22 Resultado del caso 6. Fuente: Slide2.

Se obtiene las siguientes conclusiones:

- Todas las conclusiones sacadas en el **caso 5** son válidas para este caso.

- El uso de micropilotes autoperforantes no varía de forma significativa el coeficiente de seguridad, pues comparando el **caso 5**, (misma posición del grid) con este caso, los coeficientes son similares:

$$FS_{caso\ 5} \cong FS_{caso\ 6}$$

- Los resultados obtenidos con los métodos de estudio son los siguientes:
  - Bishop simplified = 2,029
  - Janbu simplified = 2,173
- A la vista de los resultados obtenidos, para el próximo caso, se sigue utilizando un muro de mampostería, **sin** micropilotes autoperforantes.

7. CON PRESENCIA DE AGUA Y MURO DE MAMPOSTERÍA CON MORTERO DE REVOCO.

Para el análisis de este caso cada material tiene las mismas características contempladas hasta ahora en las simulaciones anteriores: Se obtiene el siguiente resultado:

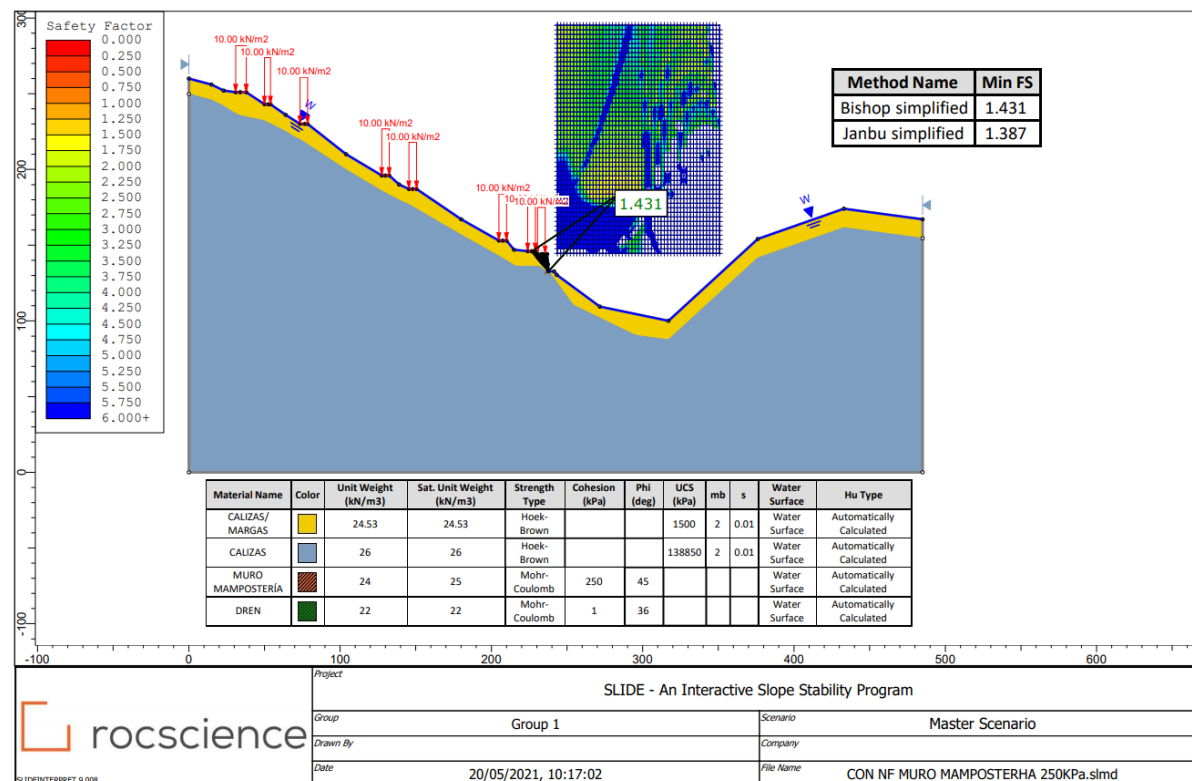


Ilustración 23 Resultado del caso 7. Fuente: Slide2.

De este análisis (Ilustración 23) se obtienen las siguientes conclusiones:

- La ladera con la condición de un episodio de lluvia intensa y presencia de agua **no es estable**.
- El **círculo de rotura** es similar al de los casos que incluyen una medida de contención, sigue estando en la **zona crítica** de la ladera, pero en este caso el círculo de rotura sale por el cuerpo del muro lo que indica que el muro podría romperse.
- El coeficiente de seguridad obtenido es de 1,387 este es menor del mínimo que exige la normativa, 1,5.
- Los resultados obtenidos en función de los métodos utilizados son:
  - Bishop simplified = 1,431
  - Janbu simplified = 1,387

A la vista de estos resultados es obvio que se debe de realizar algún cambio, se plantean dos modificaciones buscando cumplir la normativa, es decir, lograr un coeficiente de seguridad mínimo de 1,5:

- Utilizar micropilotes autoperforantes**, que cosan el muro al terreno y aumenten el coeficiente de seguridad al menos hasta 1,5.
- Aumentar la adherencia entre las piezas del muro** para impedir que la rotura se produzca a través del mismo, es decir, colocar un mortero de cemento de mayor adherencia.

8. CON PRESENCIA DE AGUA, MURO DE MAMPOSTERÍA CON MORTERO DE REVOCO Y MICROPILOTES AUTOPEFORANTES.

En este análisis se utiliza la opción **a)** que se plantea como solución. Las características de los materiales son las mismas que en los análisis con presencia de agua y con muro de mampostería y se sigue usando el mismo mortero.

En el **caso 6**, donde se estudia la estabilidad de la ladera en condiciones normales, es decir sin presencia de agua. En este caso al tratarse del análisis con presencia de agua, más desfavorable se determina aumentar el número de micropilotes por unidad de área.



Las características de los micropilotes autopercutores son las siguientes:

- Ángulo respecto a la horizontal = 210°
- Largo = 12 m
- Separación horizontal entre micropilotes = 2,8 m
- Número de micropilotes por columna = 5
- Colocación a tresbolillo

Se obtiene el siguiente resultado:

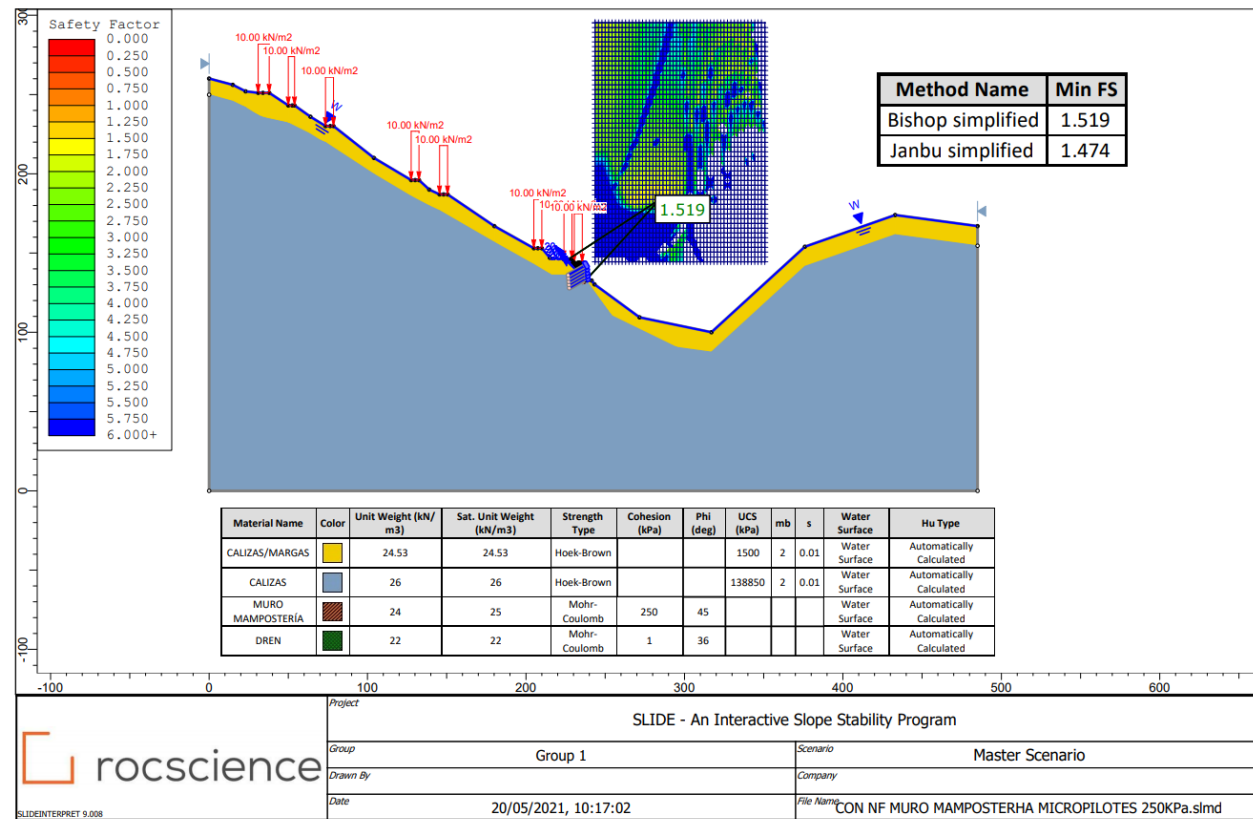


Ilustración 24 Resultado caso 8. Fuente: Slide2.

De donde se deducen las siguientes conclusiones (Ilustración 24):

- La ladera alcanza el coeficiente de seguridad de 1,5 con la nueva disposición de micropilotes, según el método de Bishop simplificado, pero por seguridad, se escoge el menor coeficiente de seguridad, que según Janbu es 1,474, por lo tanto, no se estaría llegando al mínimo al redondear a una cifra decimal.
- La ladera es estable, con los coeficientes de seguridad obtenidos:
  - Bishop simplified = 1,519
  - Janbu simplified = 1,474

- Realizando la opción a) propuesta en el caso 7, que consiste en utilizar micropilotes autopercutores, se consigue un incremento del coeficiente de seguridad respecto al caso 7. Pero la relación que existe entre introducir un micropilote autopercutor y el aumento del factor de seguridad no es muy buena, para llegar al mínimo se tienen que introducir 5 micropilotes por columna y debido al espacio del que se dispone su instalación es compleja, además de lo que supone económicamente.
- El círculo péximo de rotura se mantiene en la misma zona.

9. CON PRESENCIA DE AGUA Y MURO DE MAMPOSTERÍA CON MORTERO M-7,5 N/mm<sup>2</sup>.

En este análisis se simula la opción que consiste en construir, donde se construye un muro de mampostería, pero utilizando un mortero de cemento de una mayor calidad, tipo M-7,5 N/mm<sup>2</sup>, apropiado para la unión de piedras. Utilizando las mismas características de los materiales del caso anterior, pero aumentando la calidad del mortero, se obtiene el siguiente resultado:

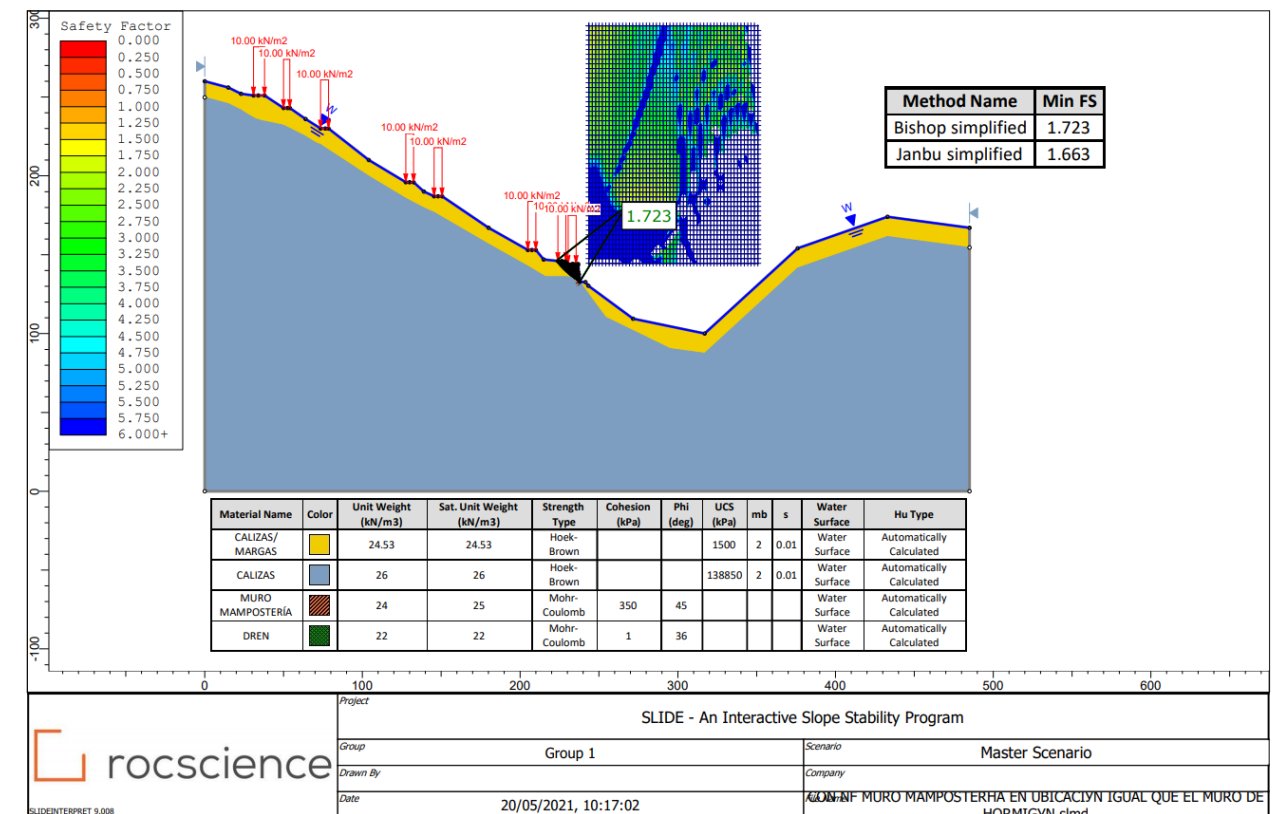


Ilustración 25 Resultado del caso 9. Fuente: Slide2.

Con esta simulación (Ilustración 25) se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- La ladera, con un factor de seguridad mínimo de 1,663 es **estable**.
- El círculo pésimo de rotura pasa por el muro de mampostería, pero como el coeficiente de seguridad es mayor 1,5 se está del lado de la seguridad.

Se amplía el análisis modificando la malla de puntos estudiados y se obtiene lo siguiente:

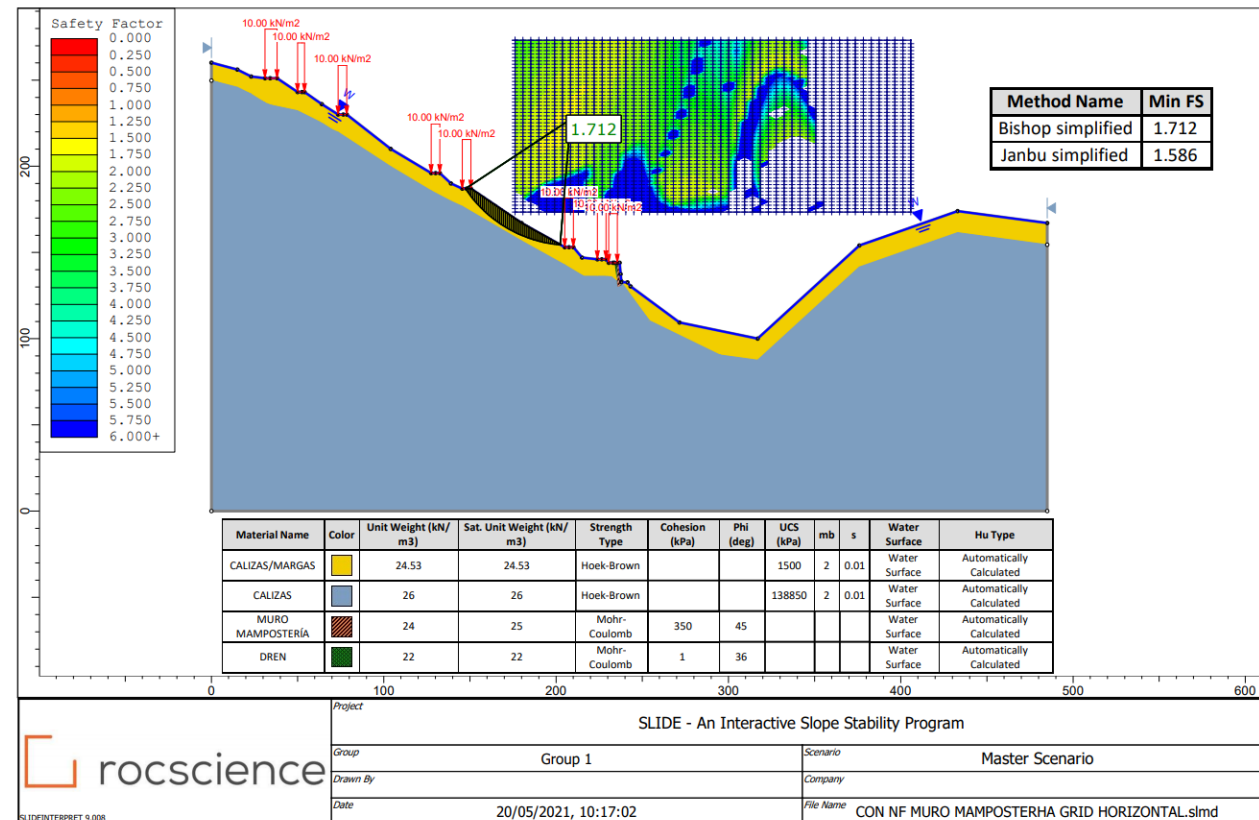


Ilustración 26 Resultado caso 9, grid horizontal. Fuente: Slide2.

De esta simulación (Ilustración 26) se obtiene las siguientes conclusiones:

- Se analiza la estabilidad de la ladera desde un punto de vista global y sí es **estable**, con un factor de seguridad de 1,586.
- El **círculo pésimo de rotura ya no se localiza en la zona crítica**, pasa a la parte superior de la ladera, en la que actualmente hay medidas de estabilidad, por lo que a priori, teniendo en cuenta el coeficiente de seguridad obtenido, no debería de existir ningún tipo de inestabilidad.
- Los factores de seguridad que se obtienen según los métodos que se han utilizado son los siguientes:
  - Bishop simplified = 1,712
  - Janbu simplified = 1,586

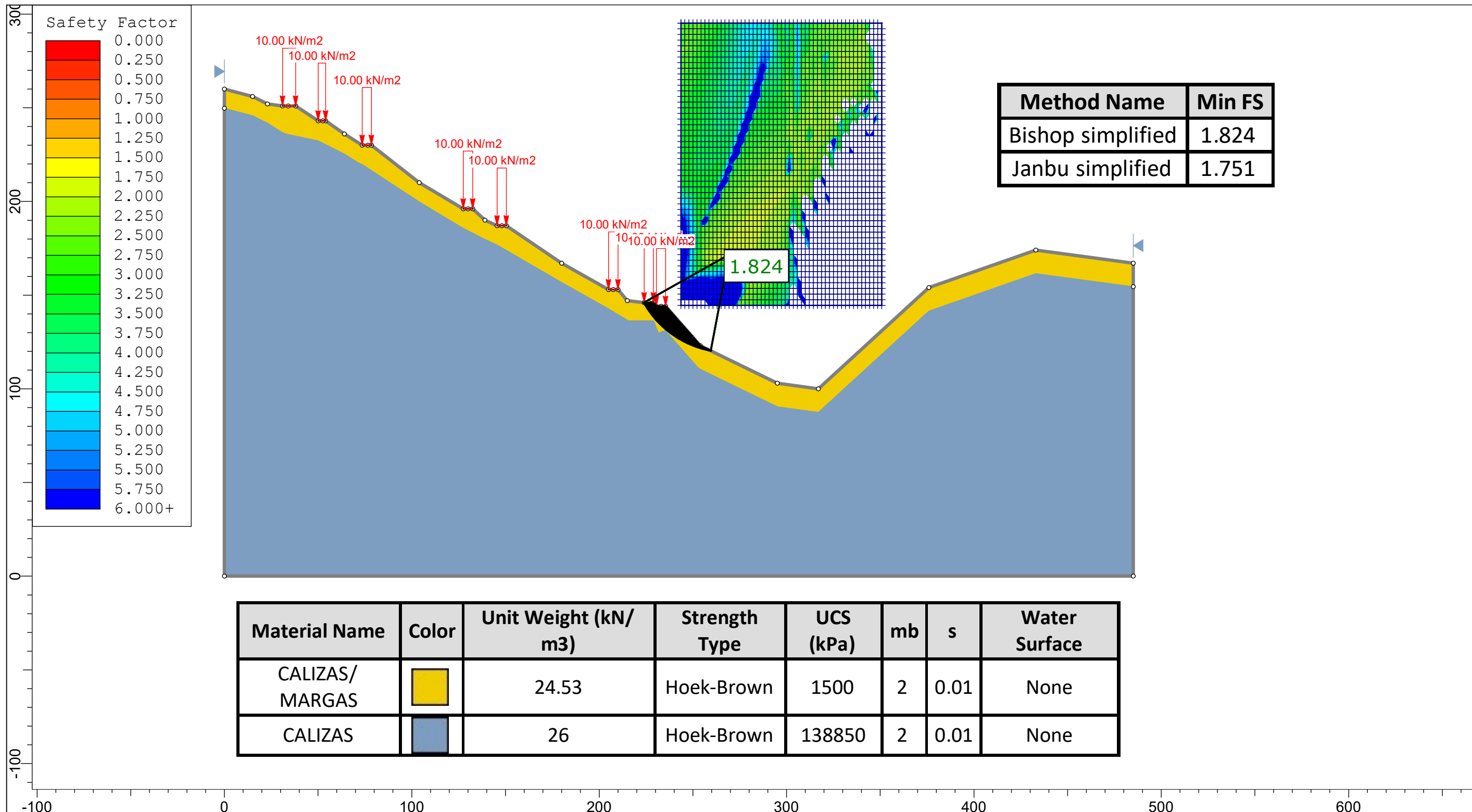
### CONCLUSIONES DE LOS ANÁLISIS CON MEDIDAS DE CONTENCIÓN

- En **condiciones normales**, sin presencia de agua la ladera es **estable** tanto con el muro de hormigón armado, la solución actual, como con el muro de mampostería con o sin micropilotes autoperforantes.
- Con la **presencia de agua**, debido a episodios de lluvia intensos (cada vez más frecuentes debido al cambio climático) se observa lo siguiente:
  - La ladera es potencialmente **inestable** con el **muro de hormigón armado**, quedándose con un factor de seguridad cercano al 1,5 pero por debajo. Este resultado hace indicar que las grietas de tracción que se ven en la visita de campo (Capítulo 4. Visita de campo) tienen explicación, pues la parte del muro que está apoyada en la alternancia de margas y calizas es vulnerable a este hecho.
  - El muro de mampostería con un mortero de categoría CS I con resistencia a compresión simple de 0,5 N/mm<sup>2</sup> no es suficiente puesto que el círculo de rotura pésimo pasa por el cuerpo del muro.
  - La solución de colocar **micropilotes autoperforantes** logra obtener un coeficiente de seguridad de **1,474**, menor a 1,5.
  - La solución de colocar un **mortero de mayor calidad**, tipo M-7,5 N/mm<sup>2</sup>, también logra que la ladera sea estable con un factor de seguridad de **1,663**.
- Por lo tanto, tras estudiar los diversos casos, se decide que la solución más recomendable sería construir un muro de **mampostería con un mortero de cemento M-7,5 N/mm<sup>2</sup>**. Se opta por esta solución, por los siguientes motivos.
  - Con los micropilotes autoperforantes no se logra un incremento significativo del factor de seguridad. Para alcanzar un factor de seguridad similar al de la opción elegida habría que colocar un número de micropilotes muy elevado que encarecería la obra y haría más complejo el procedimiento constructivo
  - Con un mortero de cemento de mayor calidad se logra un aumento significativo del factor de seguridad, además de ser adecuado para las obras de fábricas no armadas. Por lo que con este mortero solucionan los problemas de estabilidad, prescindiendo de los micropilotes.
  - Con esta solución se logra que el círculo pésimo de rotura no pase por la zona afectada y se traslade a otras zonas de la ladera donde hay medidas de estabilización.
  - El mantenimiento de un muro de mampostería es mínimo, pero si se le incorporan micropilotes autoperforantes, se requiere de un mantenimiento más complejo y caro.



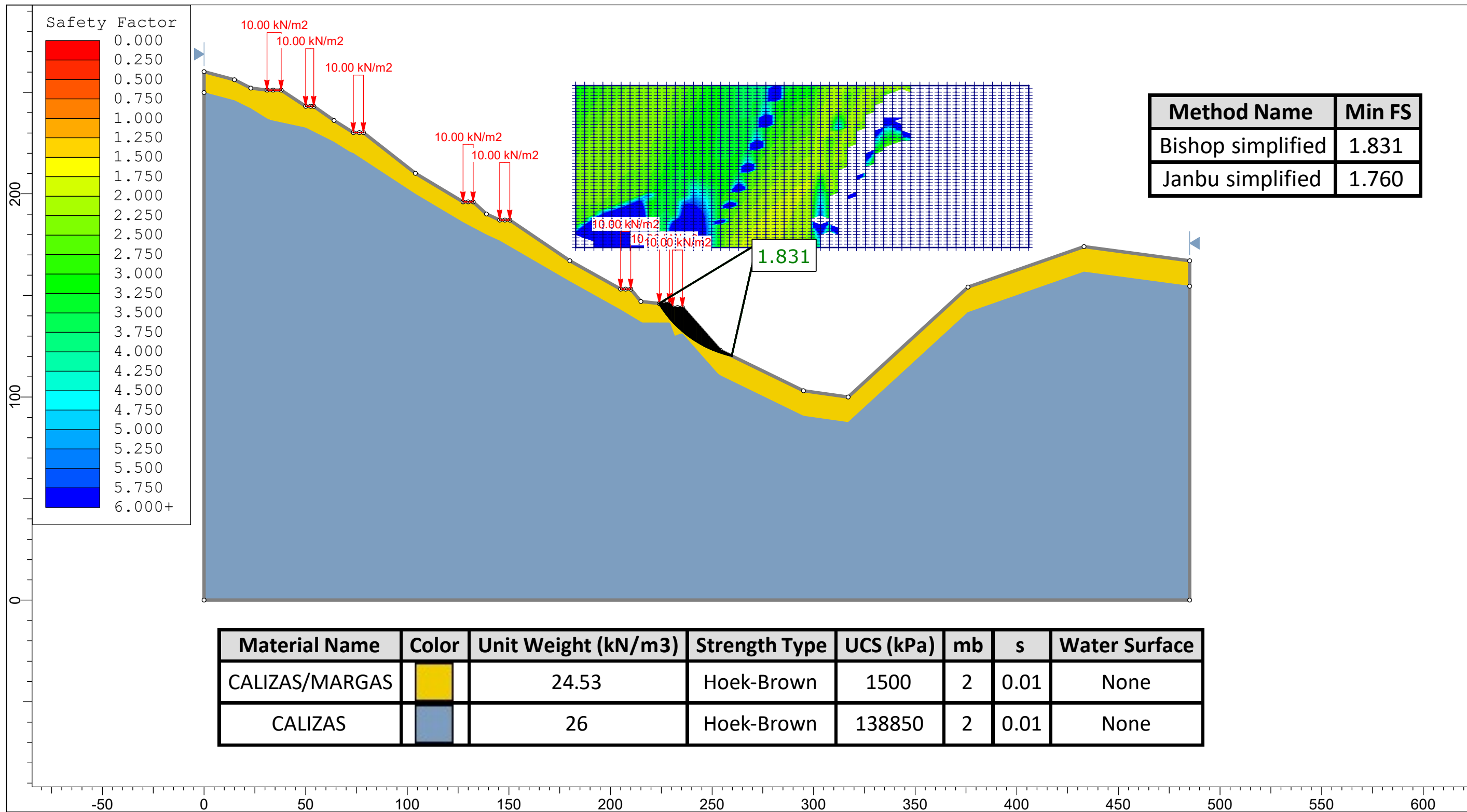



## **APÉNDICE: SIMULACIONES**

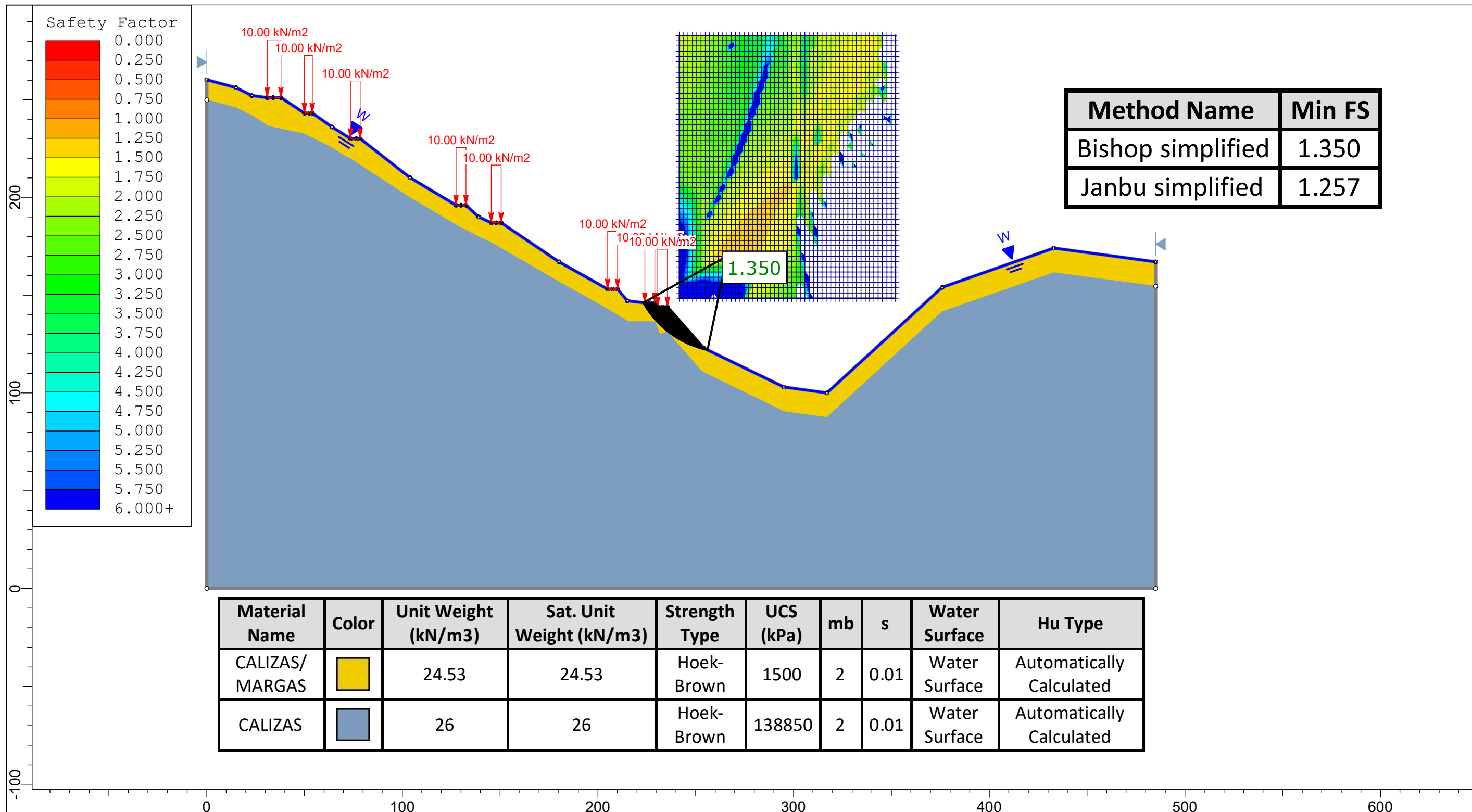


	<b>Project</b> SIN PRESENCIA DE AGUA Y SIN MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN	
	<b>Group</b> Group 1	<b>Scenario</b> Master Scenario
	<b>Drawn By</b> F. J. SAN LORENZO MOLINS	<b>Company</b> DIT - ETSICCP - UPV
	<b>Date</b> 20/05/2021, 10:17:02	<b>File Name</b> RESULTADOS SIN NF.slmd



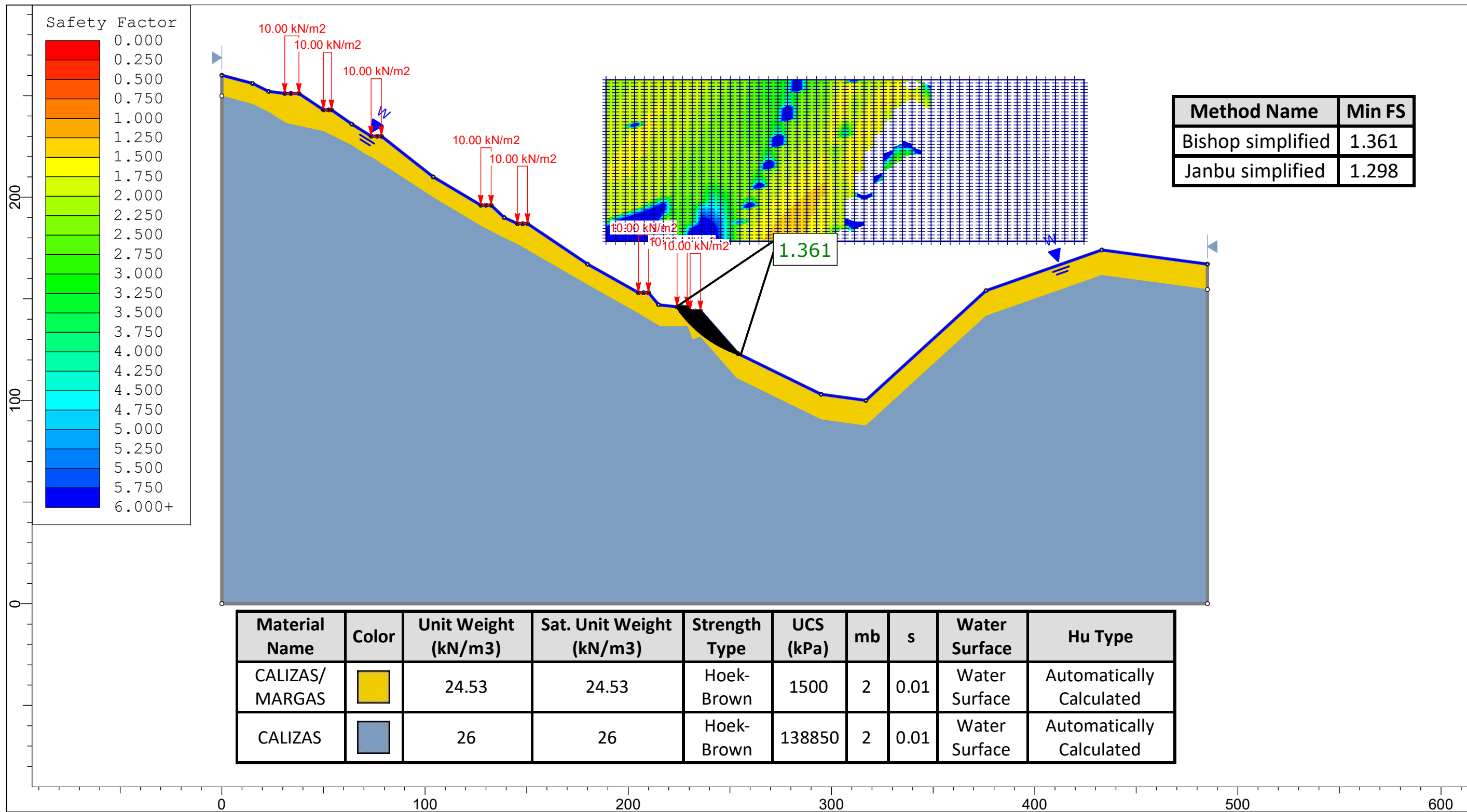



	<b>Project</b> SIN PRESENCIA DE AGUA Y SIN MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN - GRID HORIZONTAL	
	<b>Group</b> Group 1	<b>Scenario</b> Master Scenario
	<b>Drawn By</b> F. J. SAN LORENZO MOLINS	<b>Company</b> DIT - ETSICCP - UPV
	<b>Date</b> 20/05/2021, 10:17:02	<b>File Name</b> RESULTADOS SIN NF grid horizontal.slmd

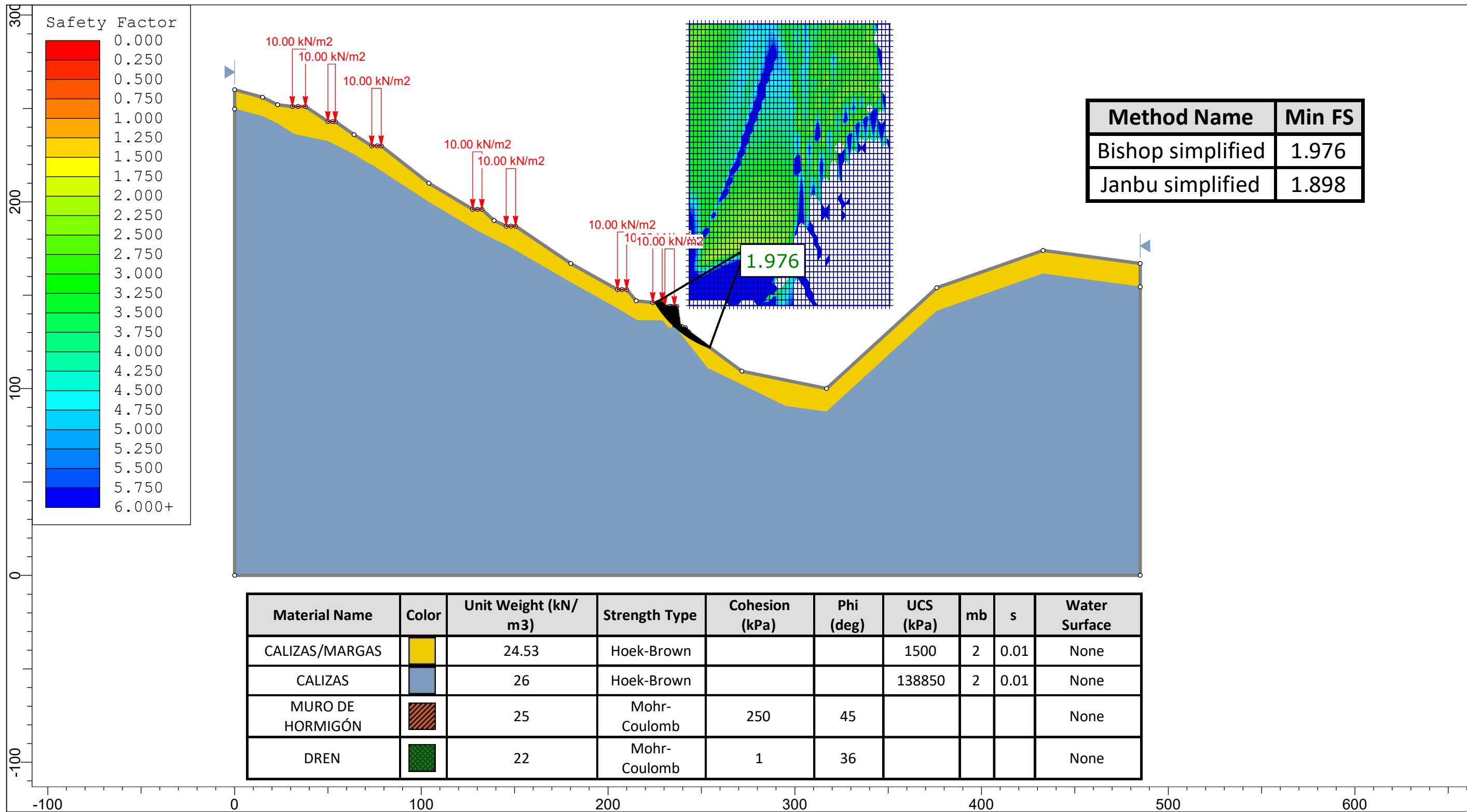


	<b>Project</b> <b>CON PRESENCIA DE AGUA Y SIN MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN</b>	
	<b>Group</b> Group 1	<b>Scenario</b> Master Scenario
	<b>Drawn By</b> F. J. SAN LORENZO MOLINS	<b>Company</b> DIT - ETSICCP - UPV
	<b>Date</b> 20/05/2021, 10:17:02	<b>File Name</b> RESULTADOS CON NF.slmd



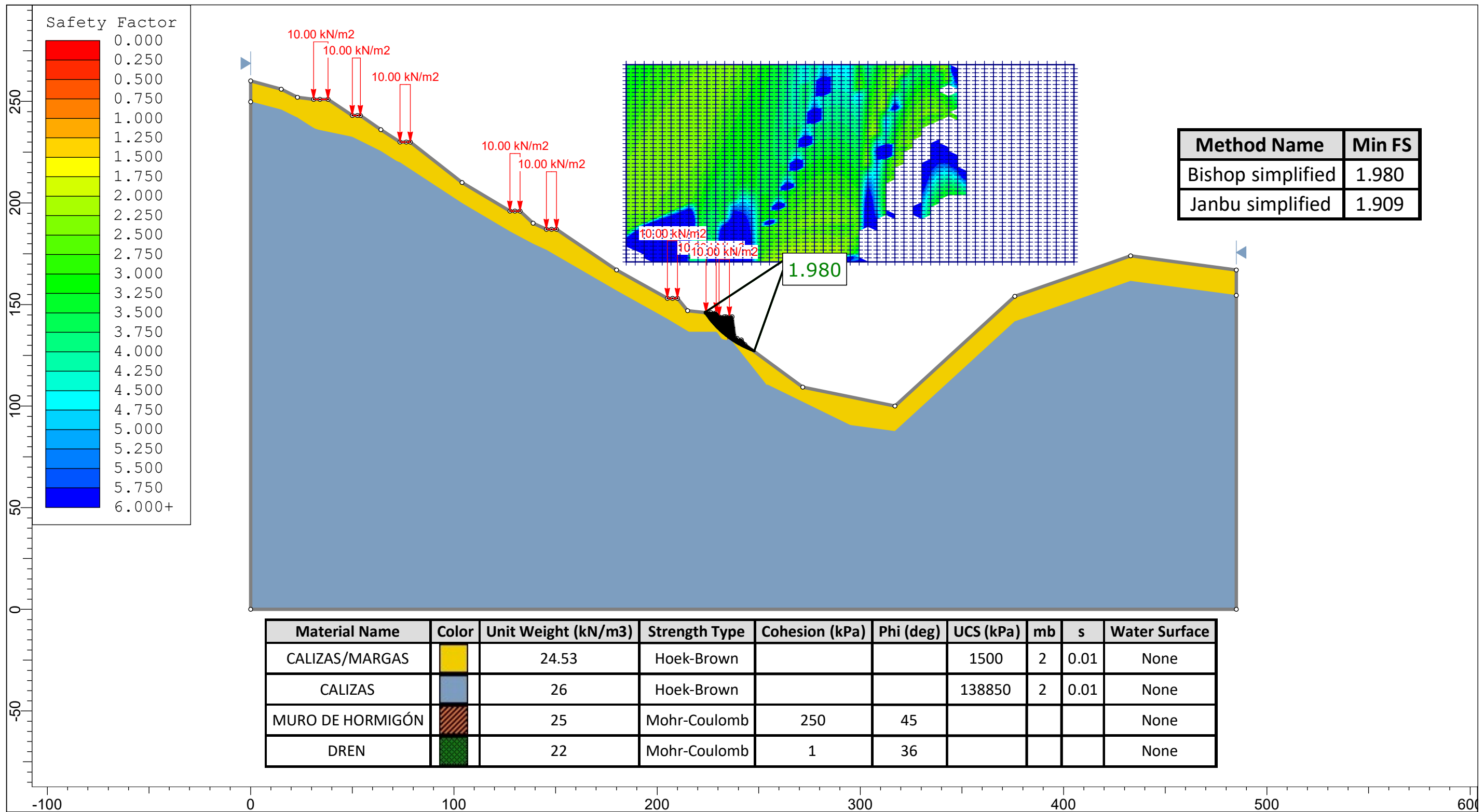


	<b>Project</b> <b>CON PRESENCIA DE AGUA Y SIN MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN - GRID HORIZONTAL</b>	
	<b>Group</b> Group 1	<b>Scenario</b> Master Scenario
	<b>Drawn By</b> F. J. SAN LORENZO MOLINS	<b>Company</b> DIT - ETSICCP - UPV
	<b>Date</b> 20/05/2021, 10:17:02	<b>File Name</b> RESULTADOS CON NF GRID HORIZONTAL.slmd

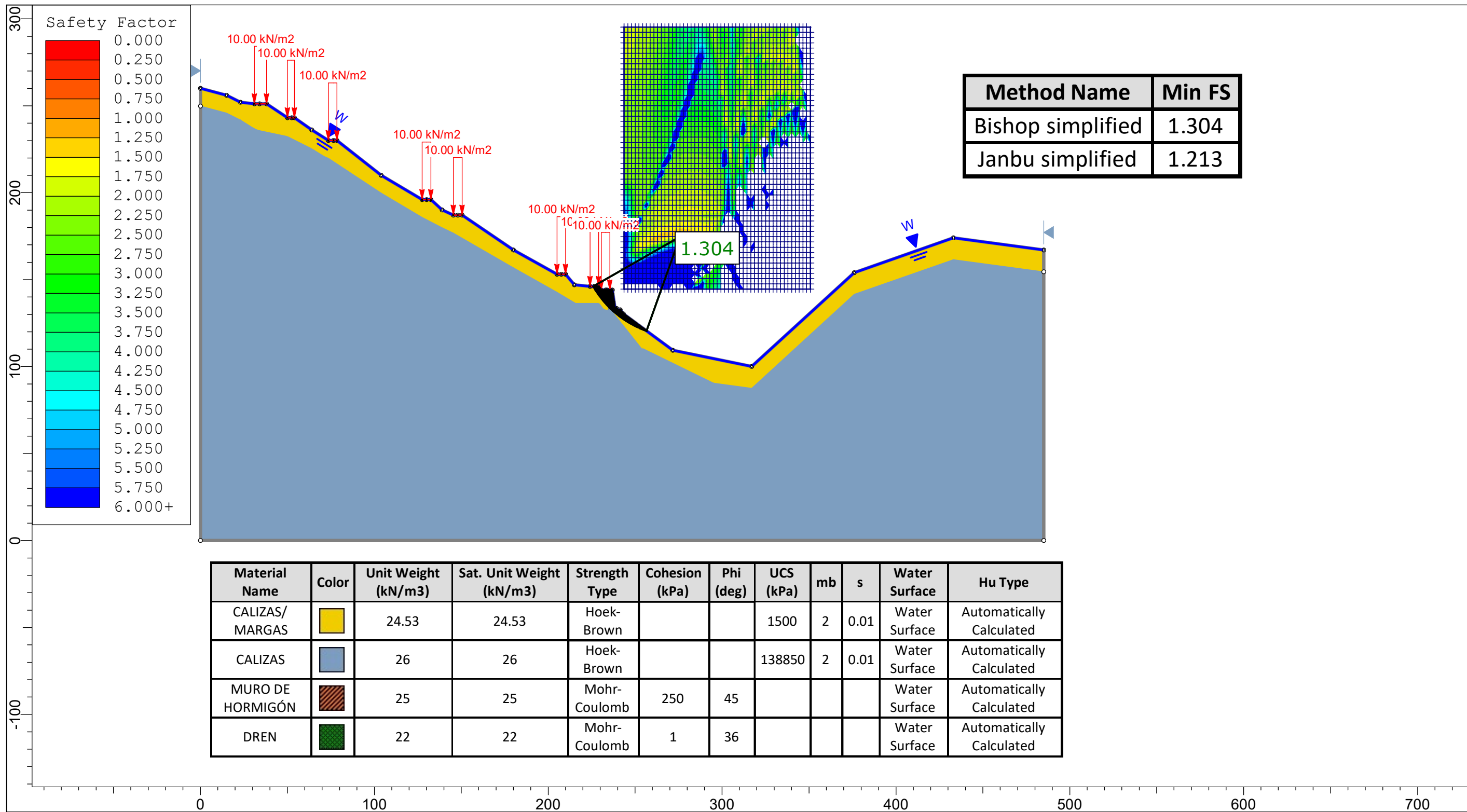


	<b>Project</b> <b>SIN PRESENCIA DE AGUA + MURO DE HORMIGÓN</b>	
	<b>Group</b> Group 1	<b>Scenario</b> Master Scenario
	<b>Drawn By</b> F. J. SAN LORENZO MOLINS	<b>Company</b> DIT - ETSICCP - UPV
	<b>Date</b> 20/05/2021, 10:17:02	<b>File Name</b> SIN NF MURO HORMIGON ARMADO.slmd



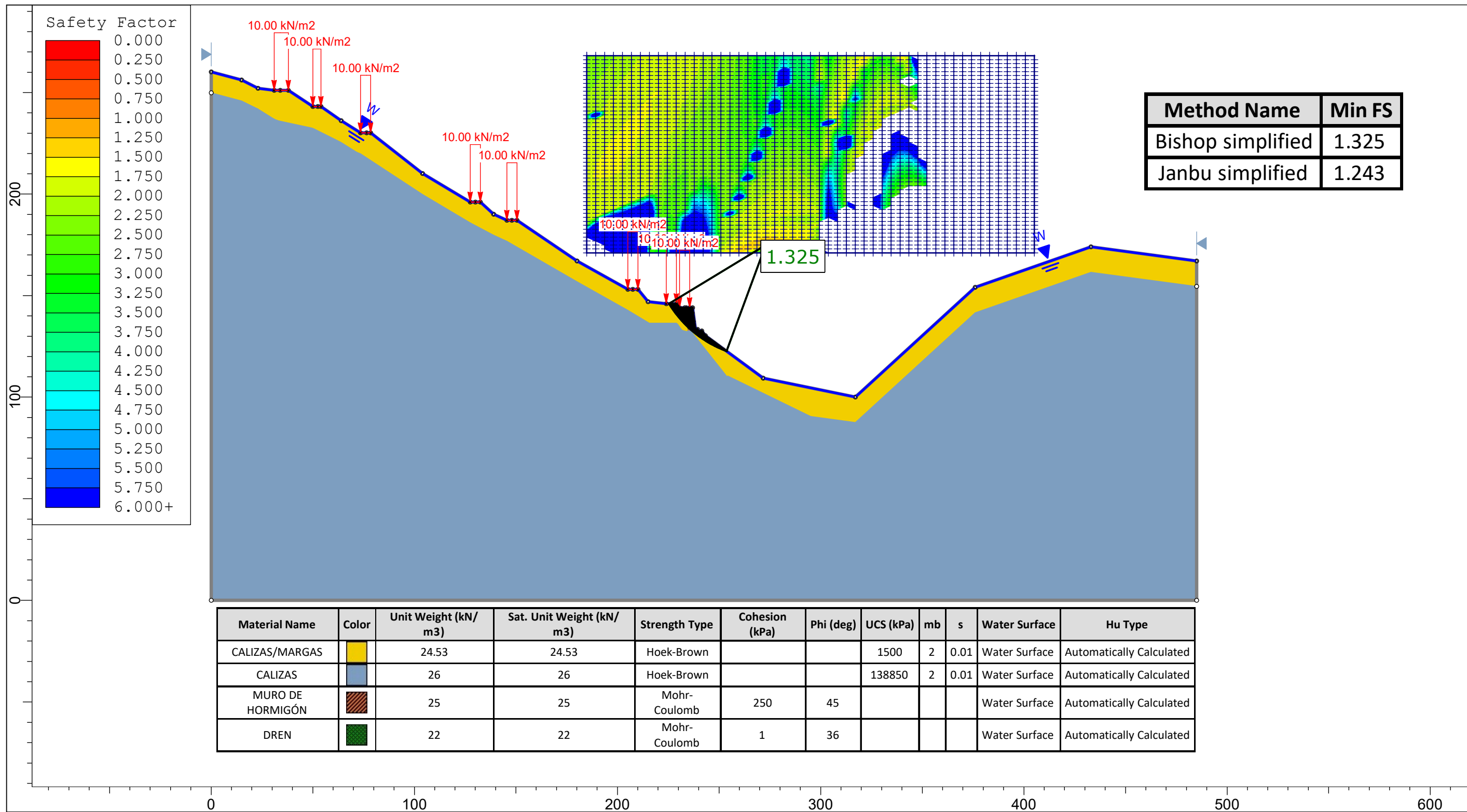



	<b>Project</b> <b>SIN PRESENCIA DE AGUA + MURO DE HORMIGÓN - GRID HORIZONTAL</b>	
	<b>Group</b> Group 1	<b>Scenario</b> Master Scenario
	<b>Drawn By</b> F. J. SAN LORENZO MOLINS	<b>Company</b> DIT - ETSICCP - UPV
	<b>Date</b> 20/05/2021, 10:17:02	<b>File Name</b> SIN NF MURO HORMIGON ARMADO GRID HORIZONTAL.slmd

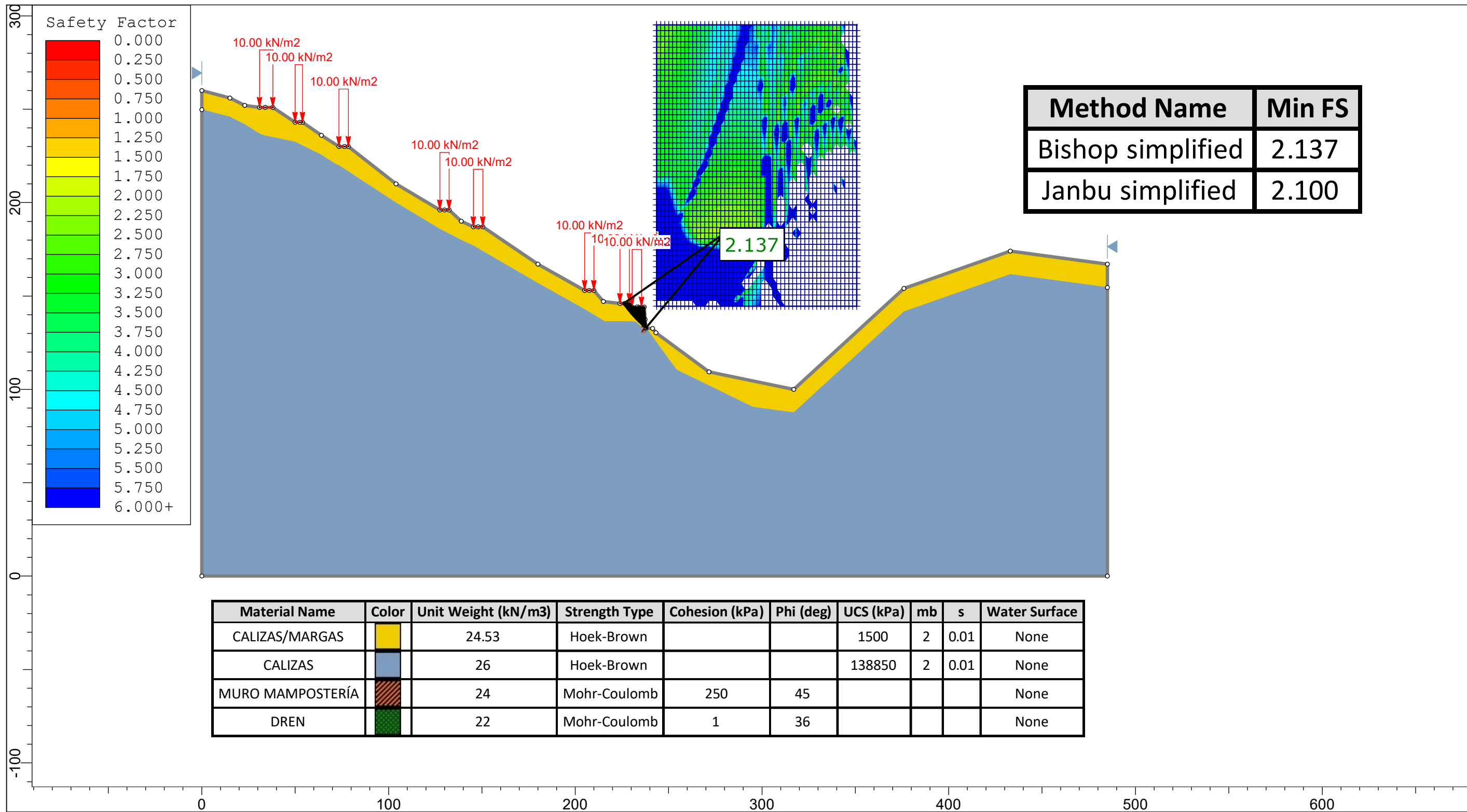


	<b>Project</b> <b>CON PRESENCIA DE AGUA + MURO DE HORMIGÓN</b>	
	<b>Group</b> Group 1	<b>Scenario</b> Master Scenario
	<b>Drawn By</b> F. J. SAN LORENZO MOLINS	<b>Company</b> DIT - ETSICCP - UPV
	<b>Date</b> 20/05/2021, 10:17:02	<b>File Name</b> CON NF MURO HORMIGON ARMADO.slmd



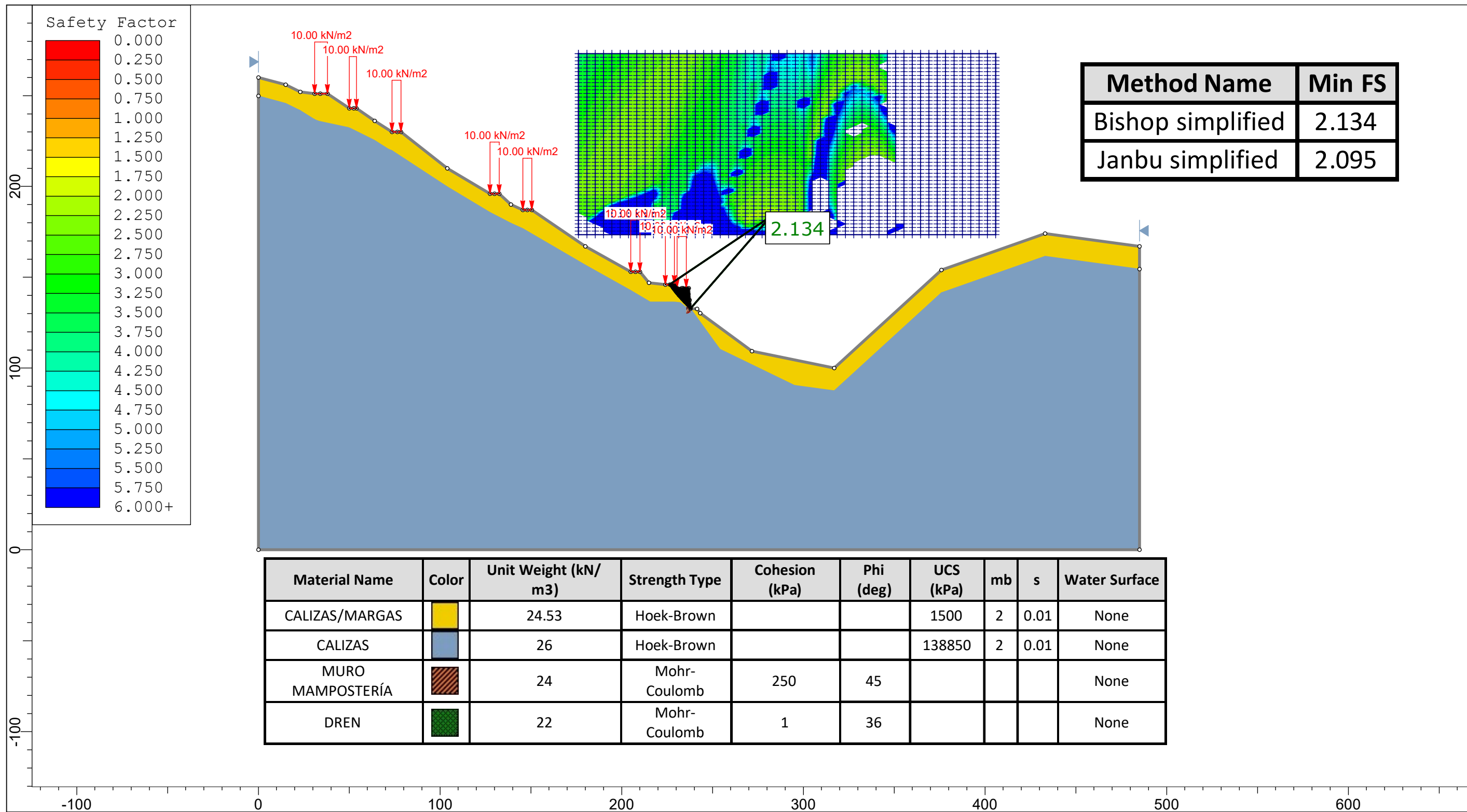


	<b>Project</b> <b>CON PRESENCIA DE AGUA + MURO DE HORMIGÓN - GRID HORIZONTAL</b>	
	<b>Group</b> Group 1	<b>Scenario</b> Master Scenario
	<b>Drawn By</b> F. J. SAN LORENZO MOLINS	<b>Company</b> DIT - ETSICCP - UPV
	<b>Date</b> 20/05/2021, 10:17:02	<b>File Name</b> CON NF MURO HORMIGON ARMADO GRID HORIZONTAL.slmd

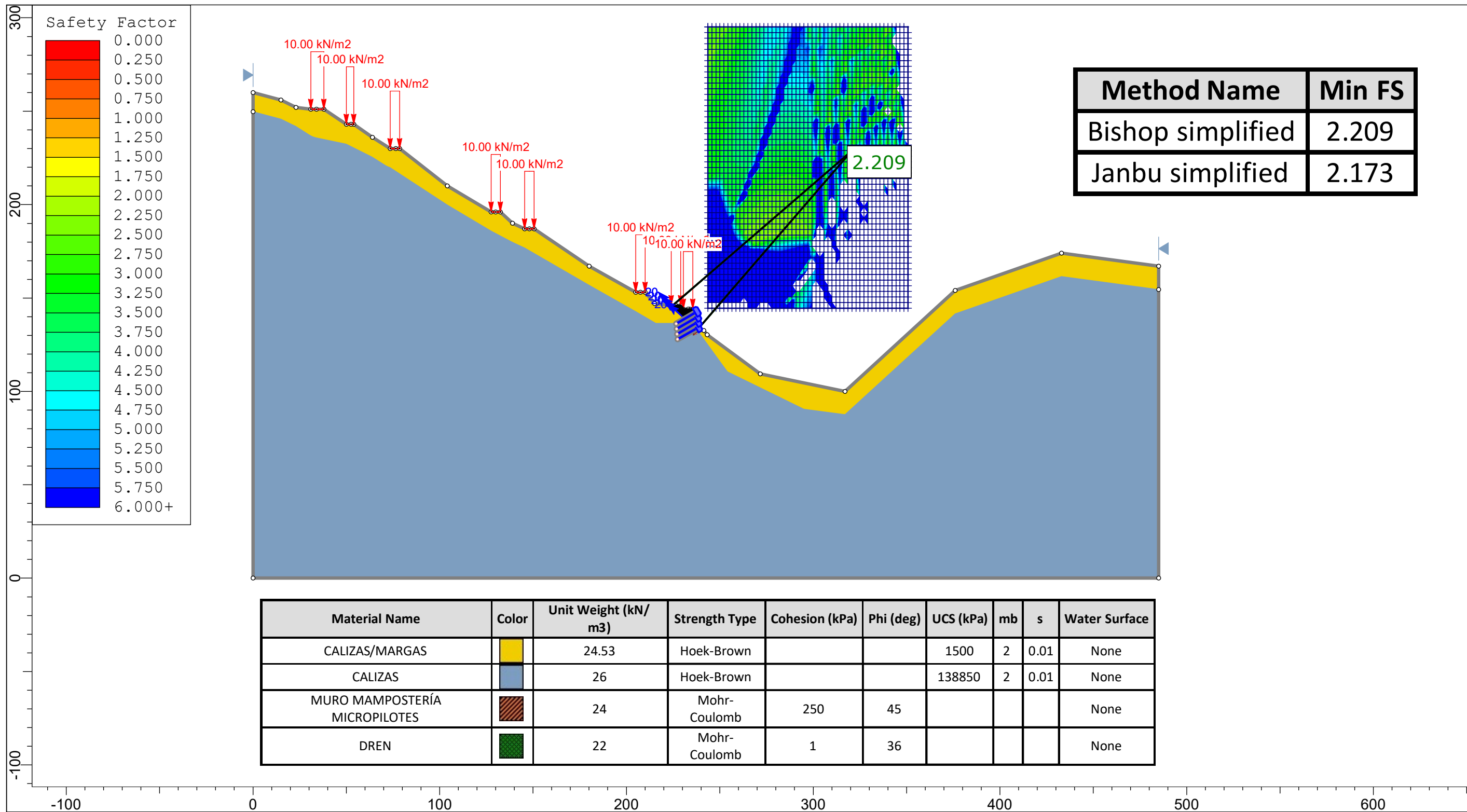


	<b>Project</b> <b>SIN PRESENCIA DE AGUA + MURO MAMPOSTERIA</b>	
	<b>Group</b> Group 1	<b>Scenario</b> Master Scenario
	<b>Drawn By</b> F. J. SAN LORENZO MOLINS	<b>Company</b> DIT - ETSICCP - UPV
	<b>Date</b> 20/05/2021, 10:17:02	<b>File Name</b> SIN NF MURO MAMPOSTERIA REVOCO slmd





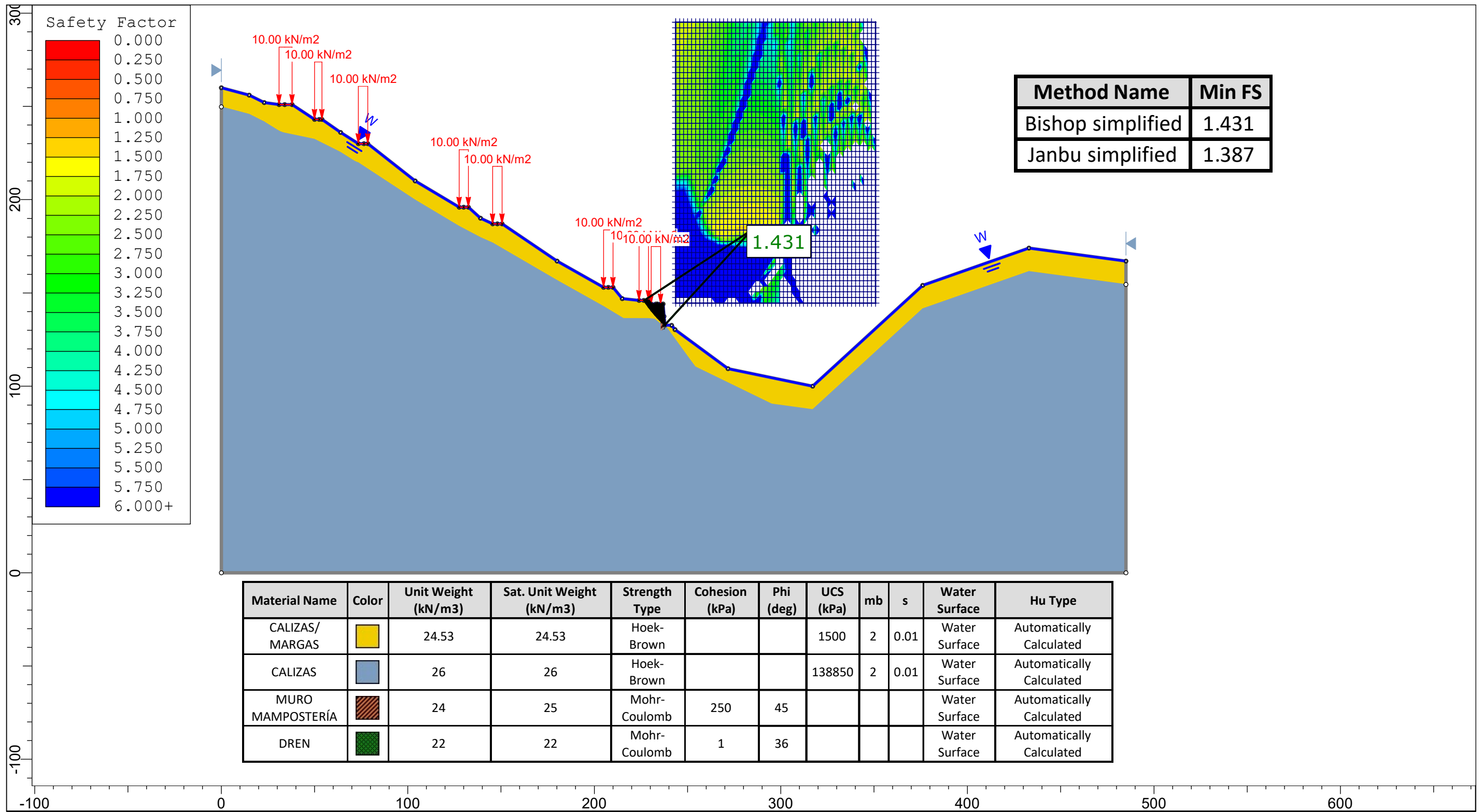
	<b>Project</b> <b>SIN PRESENCIA DE AGUA + MURO DE MAMPOSTERÍA - GRID HORIZONTAL</b>	
	<b>Group</b> Group 1	<b>Scenario</b> Master Scenario
	<b>Drawn By</b> F. J. SAN LORENZO MOLINS	<b>Company</b> DIT - ETSICCP - UPV
	<b>Date</b> 20/05/2021, 10:17:02	<b>File Name</b> SIN NF MURO MAMPOSTERIA GRID HORIZONTAL.slmd




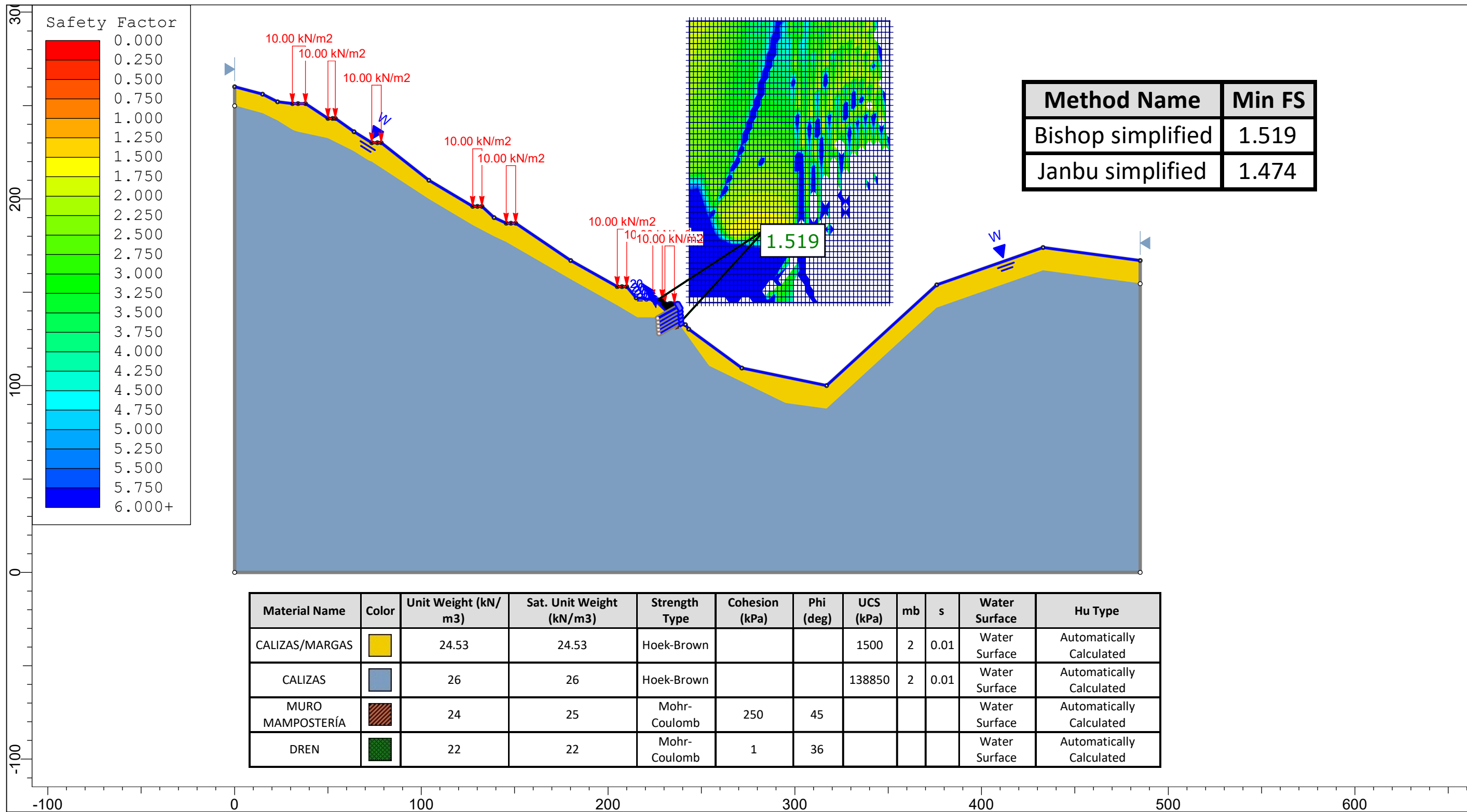
Method Name	Min FS
Bishop simplified	2.209
Janbu simplified	2.173


	<b>Project</b> <b>SIN PRESENCIA DE AGUA + MURO MAMPOSTERIA + MICROPILOTES</b>	
	<b>Group</b> Group 1	<b>Scenario</b> Master Scenario
	<b>Drawn By</b> F. J. SAN LORENZO MOLINS	<b>Company</b> DIT - ETSICCP - UPV
	<b>Date</b> 20/05/2021, 10:17:02	<b>File Name</b> SIN NF MURO MAMPOSTERIA REVOCO MICROPILOTES Imd



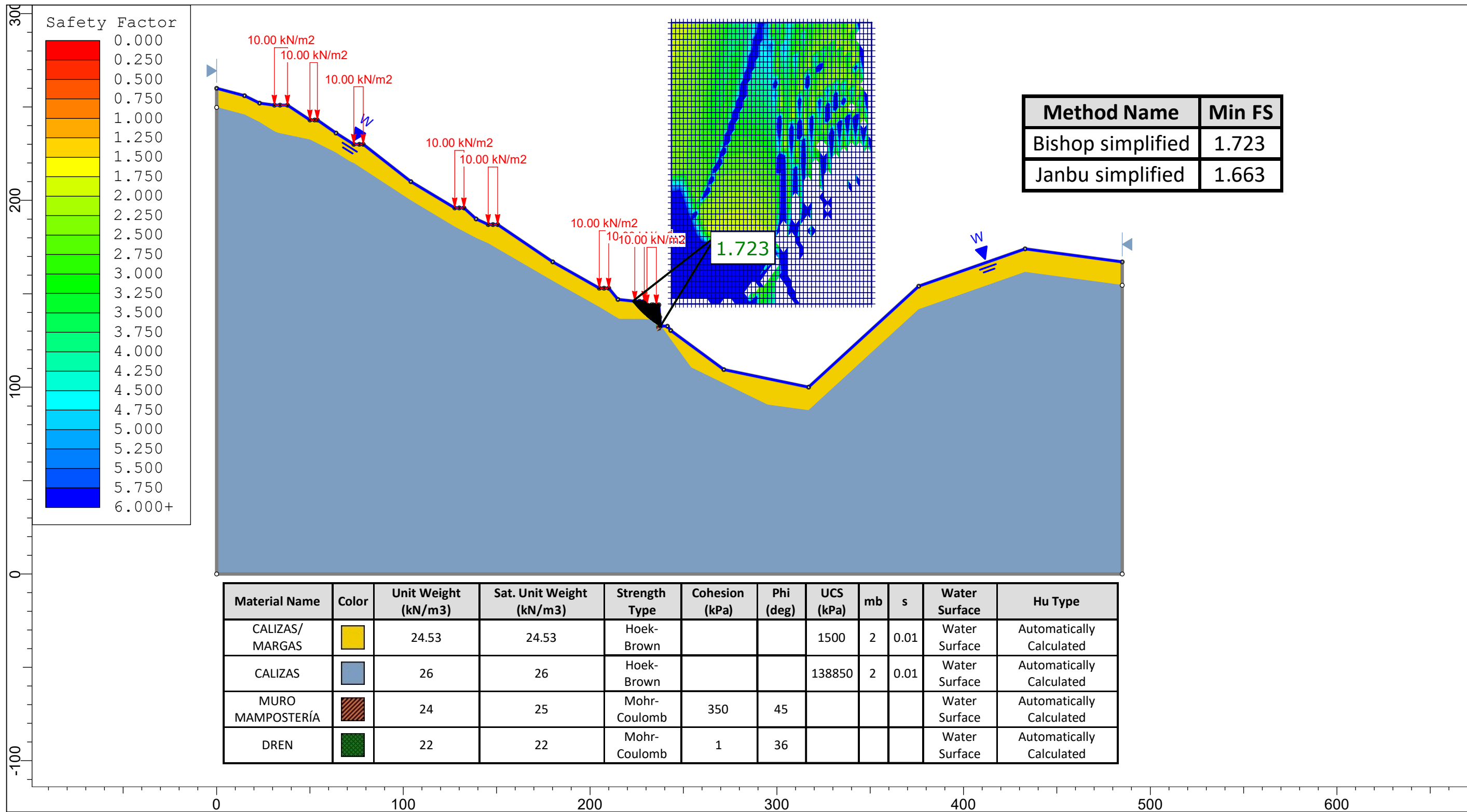


	<b>Project</b> <b>CON PRESENCIA DE AGUA + MURO MAMPOSTERIA</b>	
	<b>Group</b> Group 1	<b>Scenario</b> Master Scenario
	<b>Drawn By</b> F. J. SAN LORENZO MOLINS	<b>Company</b> DIT - ETSICCP - UPV
	<b>Date</b> 20/05/2021, 10:17:02	<b>File Name</b> CON NF MURO MAMPOSTERIA REVOCO.slmd



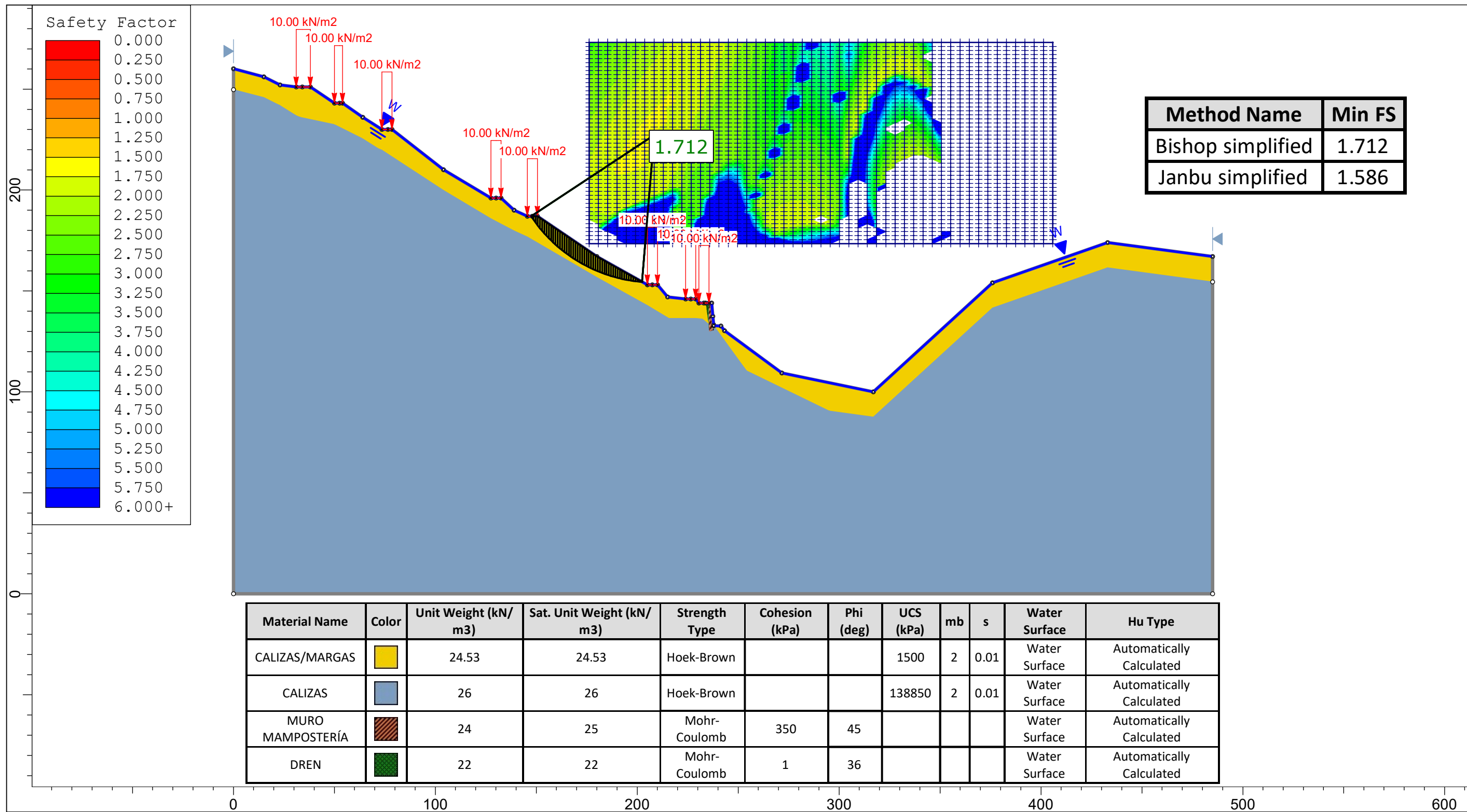
	<i>Project</i> <b>CON PRESENCIA DE AGUA + MURO MAMPOSTERIA + MICROPILOTES</b>	
	<i>Group</i> Group 1	<i>Scenario</i> Master Scenario
	<i>Drawn By</i> F. J. SAN LORENZO MOLINS	<i>Company</i> DIT - ETSICCP - UPV
	<i>Date</i> 20/05/2021, 10:17:02	<i>File Name</i> CON NF MURO MAMPOSTERIA MICROPILOTES REVOCO.slmd





Method Name	Min FS
Bishop simplified	1.723
Janbu simplified	1.663

	<b>Project</b> <b>CON PRESENCIA DE AGUA + MURO MAMPOSTERIA RESISTENTE</b>	
	<b>Group</b> Group 1	<b>Scenario</b> Master Scenario
	<b>Drawn By</b> F. J. SAN LORENZO MOLINS	<b>Company</b> DIT - ETSICCP - UPV
	<b>Date</b> 20/05/2021, 10:17:02	FCleO mNa me NF MURO MAMPOSTERHA E.sImd



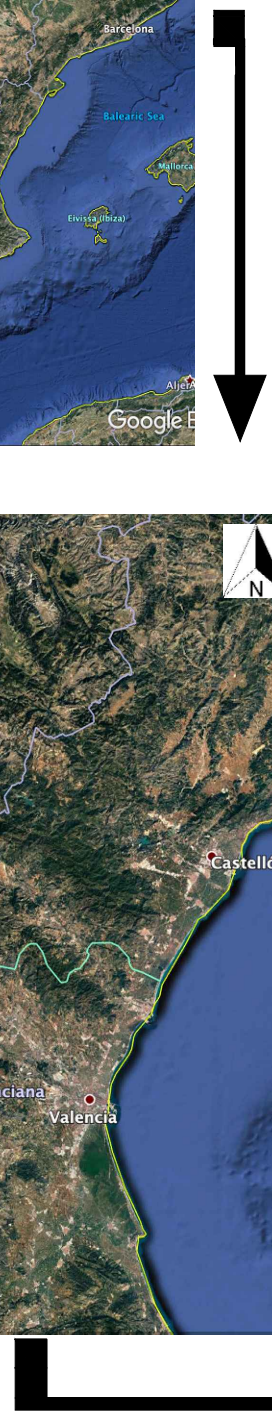
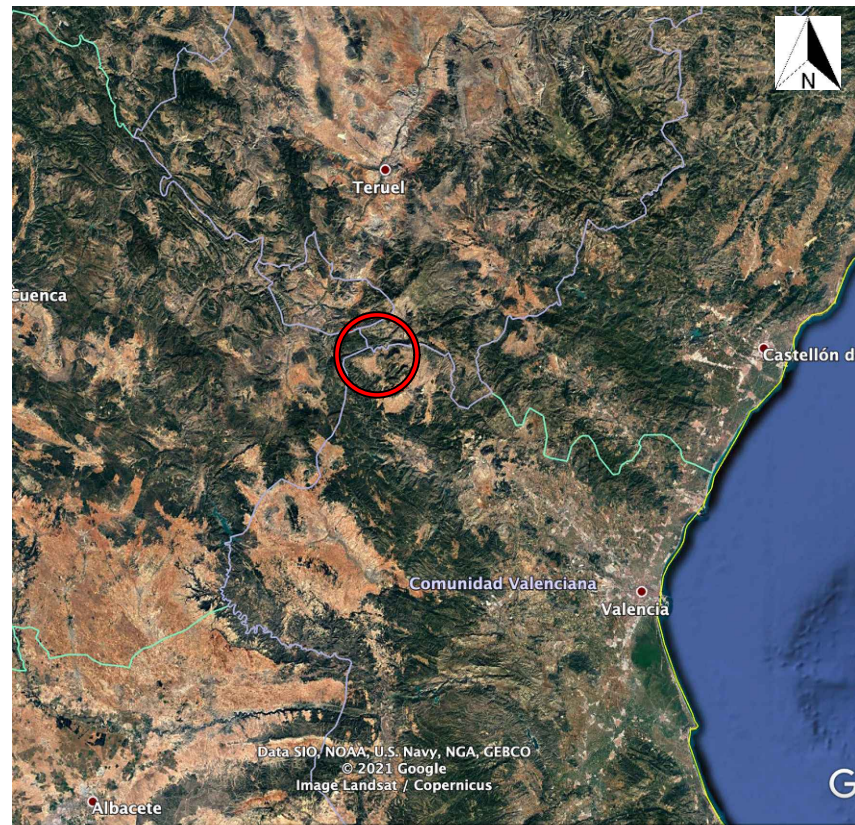
	<b>Project</b> <b>CON PRESENCIA DE AGUA + MURO MAMPOSTERIA RESISTENTE - GRID HORIZ.</b>	
	<b>Group</b> Group 1	<b>Scenario</b> Master Scenario
	<b>Drawn By</b> F. J. SAN LORENZO MOLINS	<b>Company</b> DIT - ETSICCP - UPV
	<b>Date</b> 20/05/2021, 10:17:02	<b>File Name</b> CON NF MURO MAMPOSTERHA GRID HORIZONTAL.slmd





## ANEJO 2. PLANOS





UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



Título del proyecto:  
Estabilización de taludes en el PK 2+800 de  
la carretera CV-363, término municipal de  
Aras de los Olmos (Valencia)

Autor:  
Francisco Javier San Lorenzo  
Molins  
Tutora:  
María Elvira Garrido de la Torre

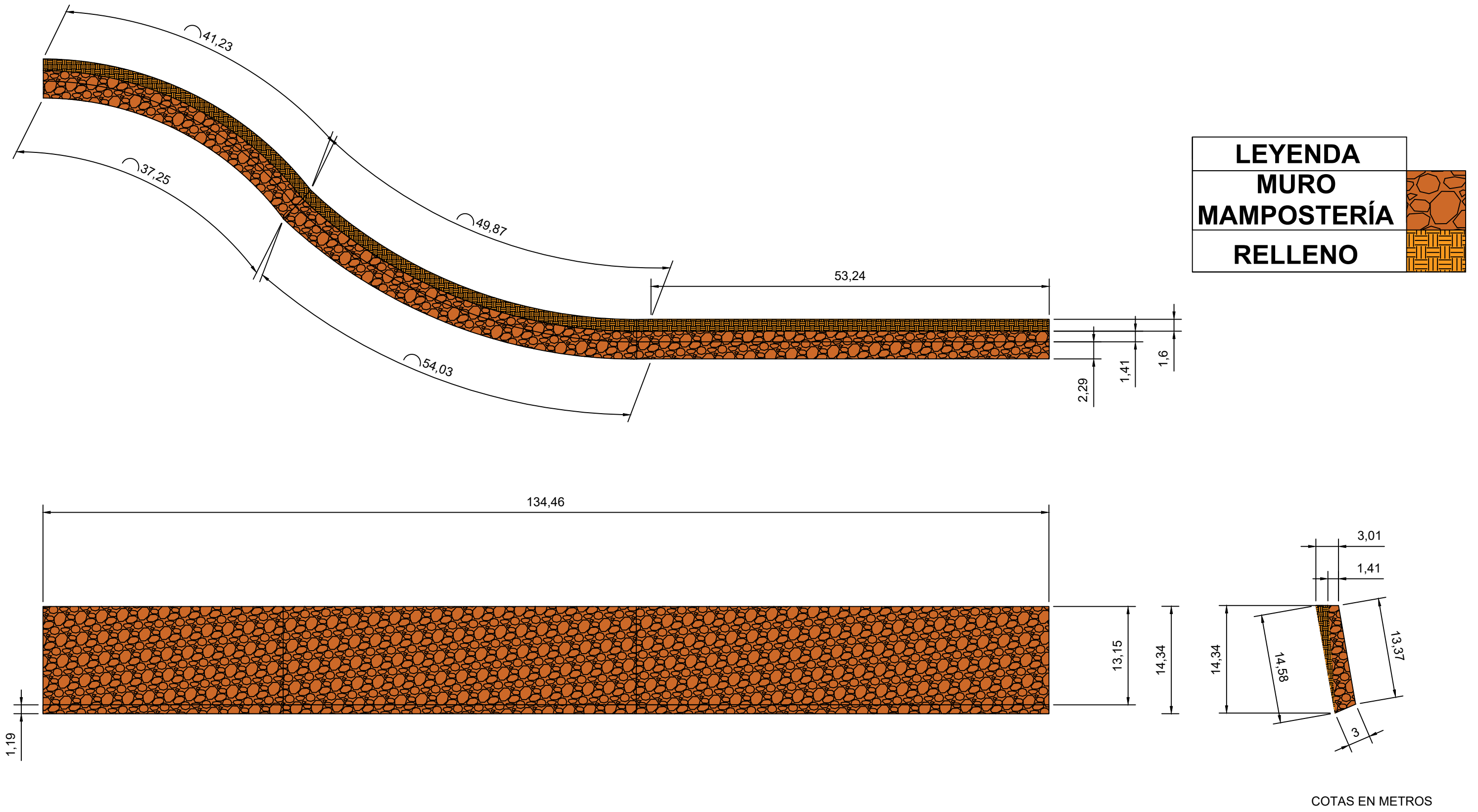
Escala:  
S/E

Fecha:  
Julio 2021

Título del plano:  
LOCALIZACIÓN

Plano:  
Nº1





UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



Título del proyecto:  
Estabilización de taludes en el PK 2+800 de  
la carretera CV-363, término municipal de  
Aras de los Olmos (Valencia)

Autor:  
Francisco Javier San Lorenzo  
Molins  
Tutora:  
María Elvira Garrido de la Torre

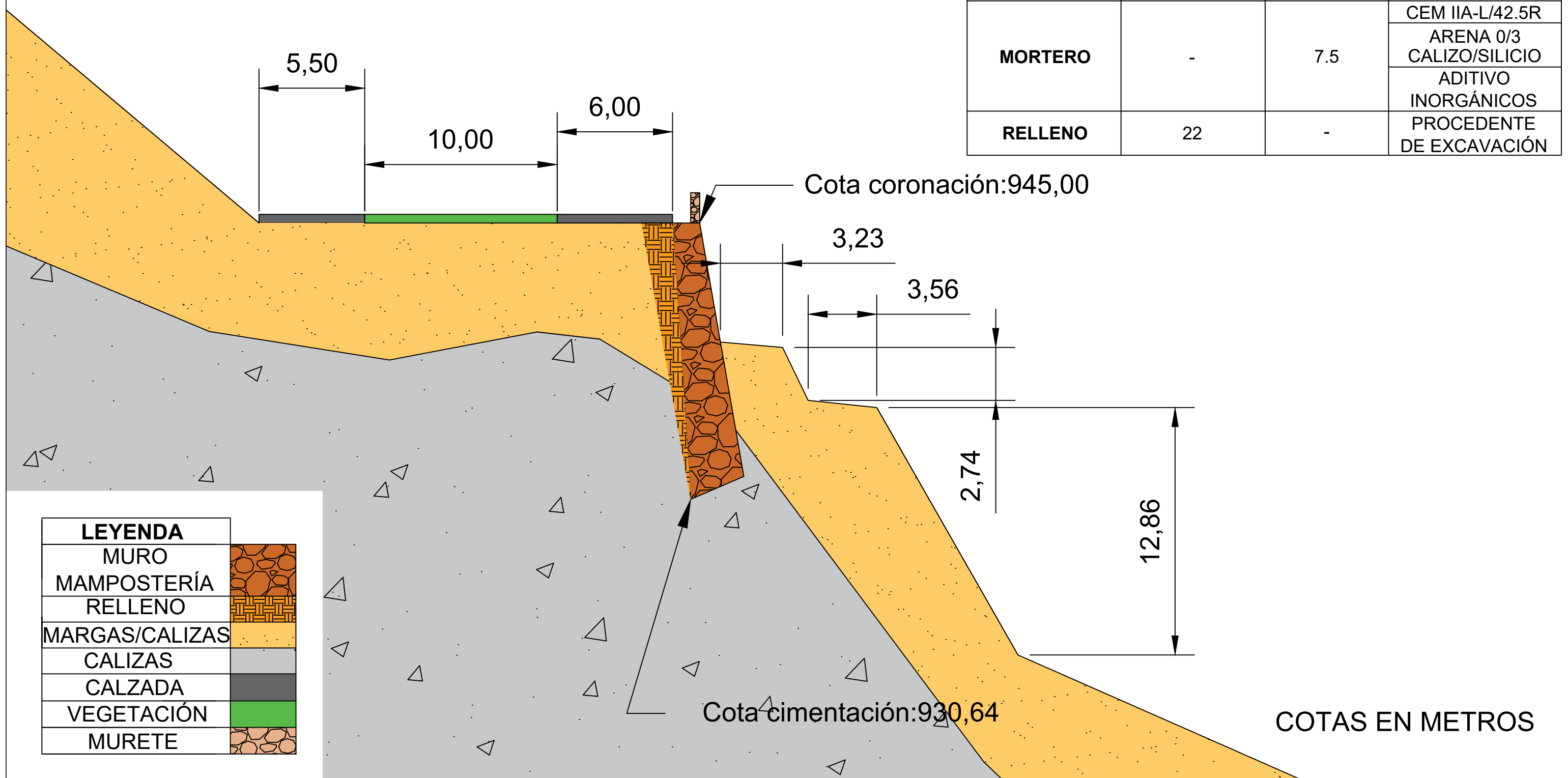
Escala:  
1/500

Fecha:  
Julio 2021

Título del plano:  
MURO DE  
MAMPOSTERÍA

Plano:  
Nº2

	PESO ESPECÍFICO kN/m <sup>3</sup>	RESIST. N/mm <sup>2</sup>	
MAMPOSTERIA	24	-	ROCA CALIZA LOCAL
MORTERO	-	7.5	CEM IIA-L/42.5R
			ARENA 0/3 CALIZO/SILICIO
			ADITIVO INORGÁNICOS
RELLENO	22	-	PROCEDENTE DE EXCAVACIÓN



LEYENDA	
MURO	
MAMPOSTERÍA	
RELLENO	
MARGAS/CALIZAS	
CALIZAS	
CALZADA	
VEGETACIÓN	
MURETE	

COTAS EN METROS



Título del proyecto:  
Estabilización de taludes en el PK 2+800 de la carretera CV-363, término municipal de Aras de los Olmos (Valencia)

Autor:  
Francisco Javier San Lorenzo Molins  
Tutora:  
María Elvira Garrido de la Torre

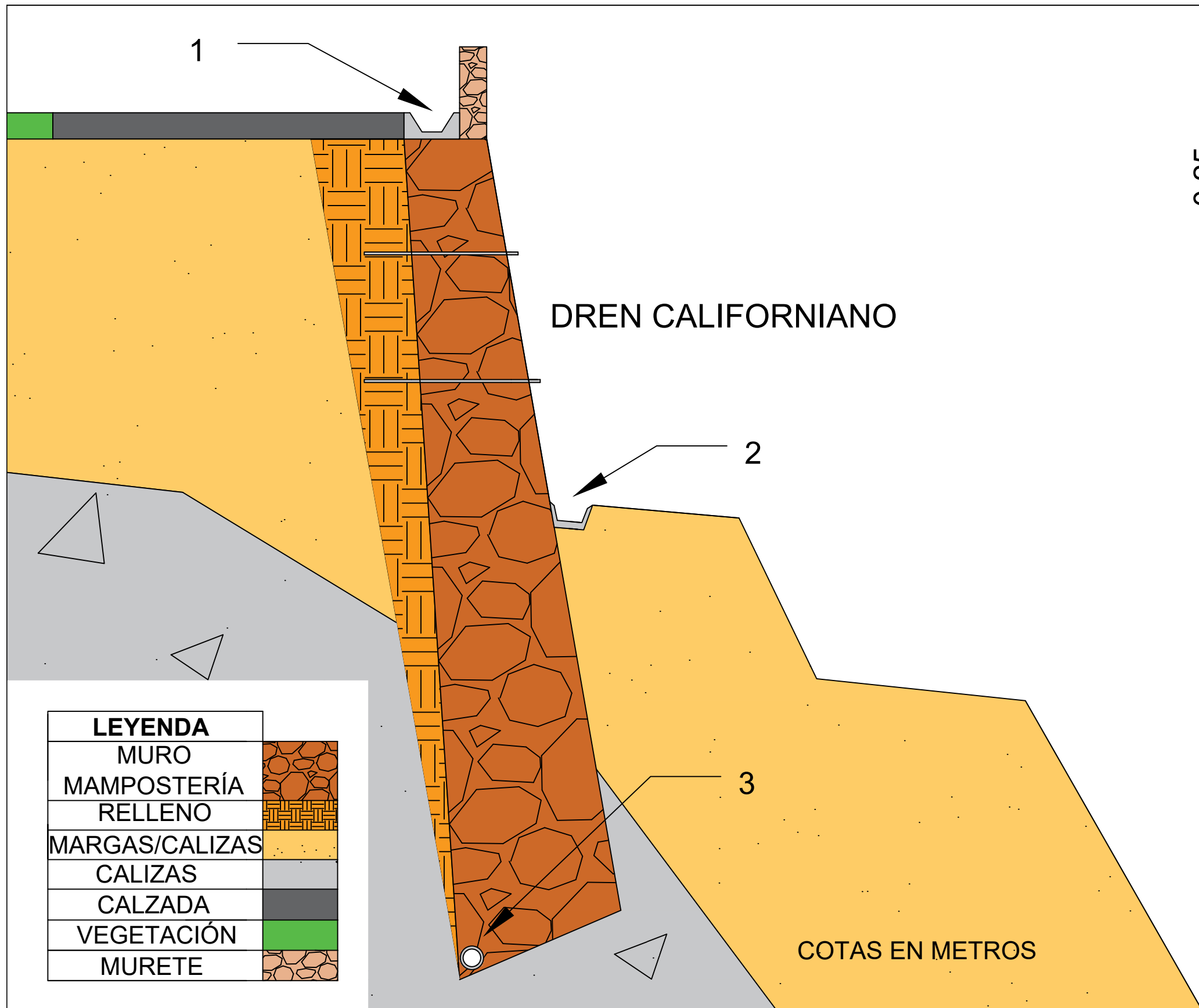
Escala:  
1/200

Fecha:  
Julio 2021

Título del plano:  
DETALLE DEL MURO

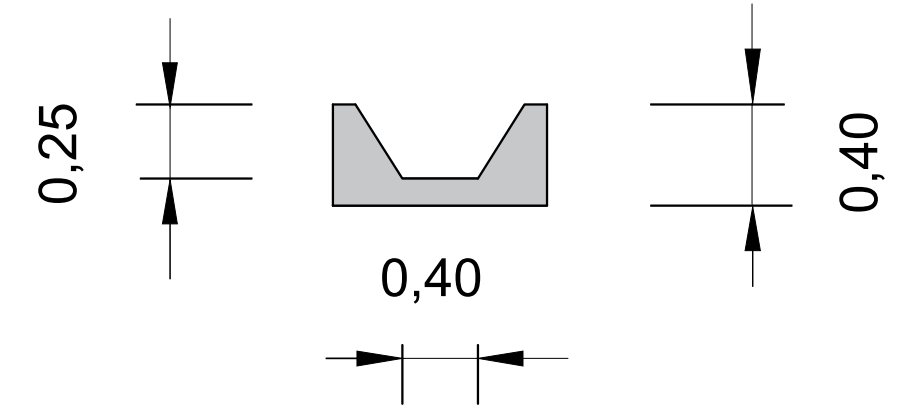
Plano:  
Nº3



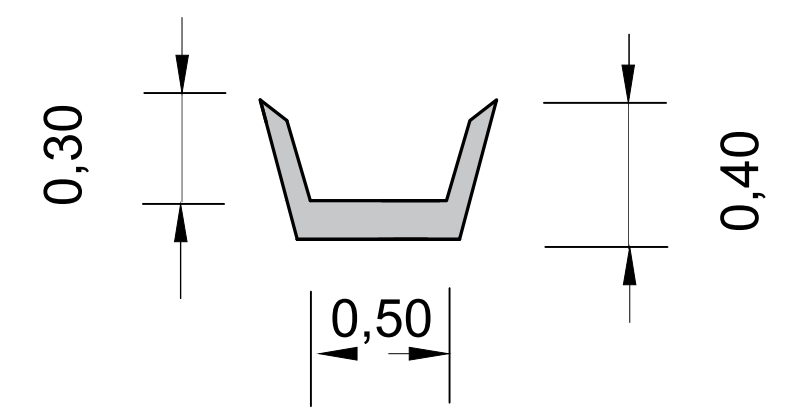


LEYENDA	
MURO	
MAMPOSTERÍA	
RELLENO	
MARGAS/CALIZAS	
CALIZAS	
CALZADA	
VEGETACIÓN	
MURETE	

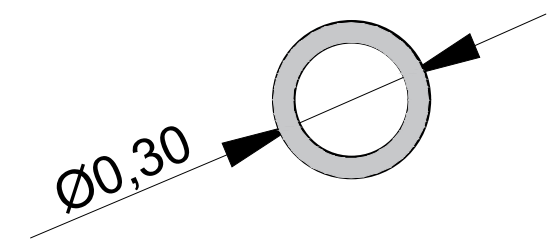
### 1) Cuneta de coronación



### 2) Cuneta de berma



### 3) Drenaje longitudinal



Título del proyecto:  
Estabilización de taludes en el PK 2+800 de  
la carretera CV-363, término municipal de  
Aras de los Olmos (Valencia)

Autor:  
Francisco Javier San Lorenzo  
Molins  
Tutora:  
María Elvira Garrido de la Torre

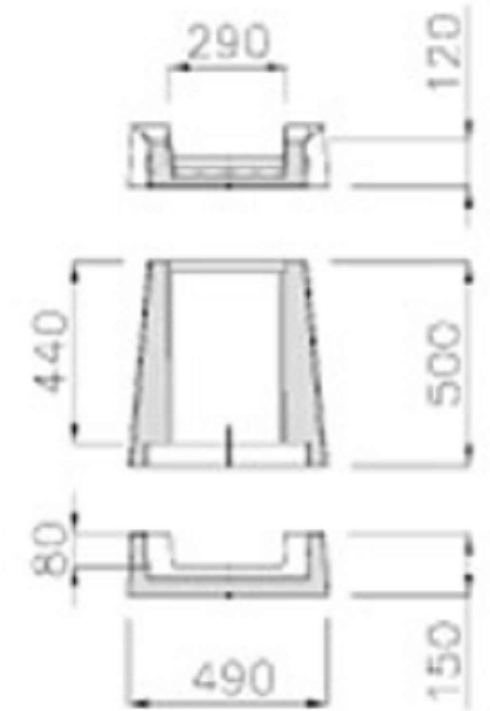
Escala:  
S/E

Fecha:  
Julio 2021

Título del plano:  
DRENAJE

Plano:  
Nº4





MEDIDAS EN MILÍMETROS



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



Título del proyecto:  
Estabilización de taludes en el PK 2+800 de  
la carretera CV-363, término municipal de  
Aras de los Olmos (Valencia)

Autor:  
Francisco Javier San Lorenzo  
Molins  
Tutora:  
María Elvira Garrido de la Torre

Escala:  
S/E

Fecha:  
Julio 2021

Título del plano:  
DETALLE BAJANTE

Plano:  
Nº5





### **ANEJO 3. PLAN DE TRABAJO**







## **ANEJO 4. VALORACIÓN DE LAS OBRAS**

## 1. MEDICIONES DEL PORYECTO

### 1.1. DESBROCE

Núm	Código	Medición	UM	Descripción
1	DESB01	8483,69	m2	Desbroce en el talud , con empleo de excavadora, carga y transporte de los productos a vertedero o lugar de empleo.
	<u>Descripción</u>	<u>Unidades</u>		<u>Largo</u> <u>Ancho</u> <u>Alto</u> <u>Parcial</u>
	Talud(zona1)	1		134,46   59,63   8017,72
	Zona 2	1		58,00   8,03   465,97
				<b>Total... 8483,68734</b>

### 1.2. REEXCAVACIÓN

Nº	Código	Medición	UM	Descripción
2	REEX01	5647,32	m3	Excavación en talud en roca, con empleo de retroexcavadora, carga y transporte de los productos de la excavación a vertedero o a acopio.
	<u>Descripción</u>	<u>Unidades</u>		<u>Largo</u> <u>Ancho</u> <u>Alto</u> <u>Parcial</u>
	Talud	1		134,46   5,6   15   5647,32
				<b>Total... 5647,32</b>
3	REEX02	2016,90	m2	Perfilado y refino de talud en tierra o roca ripable, incluso retirada y transporte de los productos resultantes a vertedero o a acopio.
	<u>Descripción</u>	<u>Unidades</u>		<u>Largo</u> <u>Ancho</u> <u>Alto</u> <u>Parcial</u>
	Talud	1		134,46   15   2016,90
				<b>Total... 2016,90</b>
4	REEX03	2420,28	m3	Formación de bermas al pie del muro, con productos adecuados procedentes de la excavación o préstamos, incluso humectación, compactación, rasanteado y refino, totalmente terminado.
	<u>Descripción</u>	<u>Unidades</u>		<u>Largo</u> <u>Ancho</u> <u>Alto</u> <u>Parcial</u>
	Berma	2		
	Berma 1	1		134,46   3   3   1210,14
	Berma 2	1		134,46   3   3   1210,14
				<b>Total... 2420,28</b>

### 1.3 DRENAJE

Nº	Código	Medición	UM	Descripción
5	DREN01		m	Drenes californianos colocados en el muro al tresbolillo, incluyendo transporte y colocación.
	<u>Descripción</u>	<u>Unidades</u>		<u>Largo</u> <u>Ancho</u> <u>Alto</u> <u>Parcial</u>
	Talud	98		
				<b>Total... 98</b>
6	DREN02	403,38	m2	Drenaje longitudinal, de sección circular com diámetro de 30 cm, cama de arena, tubo PVC ranurado incluso transporte a obra y colocación
	<u>Descripción</u>	<u>Unidades</u>		<u>Largo</u> <u>Ancho</u> <u>Alto</u> <u>Parcial</u>
	Cimentación	1		134,46   3   403,38
				<b>Total... 403,38</b>
7	DREN03	134,46	m	Cuneta trapecial tipo T1 de h=0,25 m. y base 0,40 m, con taludes 2/1, revestida de hormigón HM-20 de espesor 12 cm, incluso compactación y preparación de la superficie de asiento, regleado y p/p de encofrado terminada.
	<u>Descripción</u>	<u>Unidades</u>		<u>Largo</u> <u>Ancho</u> <u>Alto</u> <u>Parcial</u>
	Coronación	1		134,46   134,46
				<b>Total... 134,46</b>
8	DREN04	133,60	m	Bajante trapecial de h=0,8 m y base de 0,49 m de hormigón HM-20 de espesor 7 cm, incluso fabricación y preparación de superficie de asiento, reglado y p/p de encofrado terminada.
	<u>Descripción</u>	<u>Unidades</u>		<u>Largo</u> <u>Ancho</u> <u>Alto</u> <u>Parcial</u>
	Lateral derecho	1		76,5   76,50
	Lateral izquierdo	1		57,1   57,10
				<b>Total... 133,60</b>
9	DREN05	134,46	m	Cuneta trapecial de h= 0,31 m y base 0,5 m con talude 2/1 revestida de hormigón HM-20 de espesor 12 cm incluso compactación y preparación de la superficie de asiento, reglado y p/p de encofradp terminada.
	<u>Descripción</u>	<u>Unidades</u>		<u>Largo</u> <u>Ancho</u> <u>Alto</u> <u>Parcial</u>
	Berma 1	1		134,46   134,46
				<b>Total... 134,46</b>



**1.4 MURO**

Nº	Código	Medición	UM	Descripción
10	MURO01	403,38	m2	Hormigón de limpieza HM-15 de espesor 10 cm., en base de losa, incluso preparación de la superficie de asiento, regleado y nivelado, terminado.
	<u>Descripción</u>	<u>Unidades</u>		<u>Largo</u> <u>Ancho</u> <u>Alto</u> <u>Parcial</u>
	Talud	1		134,46   3   403,38
				<b>Total... 403,38</b>

Nº	Código	Medición	UM	Descripción
11	MURO02	3856,3128		Mampuestos de la zona, extraída de la propia excavación o de préstamo cercano, incluyendo transporte y colocación y mortero M-7,5 en cada hilada incluso fabricación transporte y colocación.
	<u>Descripción</u>	<u>Unidades</u>		<u>Largo</u> <u>Ancho</u> <u>Alto</u> <u>Parcial</u>
	Talud	1		134,46   2   14,34   3856,31
	Talud	1		134,46   2,5   14,34   4097,33
				<b>Total... 3856,31</b>

**1.5 MEDIDAS DE PROTECCIÓN DE TALUDES**

Nº	Código	Medición	UM	Descripción
12	PRTD01	2097,576	m2	Saneos de taludes de excavación de forma manual o bien utilizando medios mecánicos convencionales, incluso retirada, carga y transporte a vertedero o alugar de empleo del material resultante del proceso de saneo.
	<u>Descripción</u>	<u>Unidades</u>		<u>Largo</u> <u>Ancho</u> <u>Alto</u> <u>Parcial</u>
	Talud 1	1		134,46   2,74   368,42
	Talud 2	1		134,46   12,86   1729,16
				<b>Total... 2097,58</b>

**1.6 RESTAURACIÓN DEL PAISAJE**

Nº	Código	Medición	UM	Descripción
13	REPA01	812,17	m <sup>3</sup>	Tierra vegetal en capa de 0,50 cm de espesor, incluso aprovisionamiento y traslado de materiales hasta la obra, extendido, compactación, perfilado y colocación conforme a planos de proyecto y p.p. de elementos y maquinaria auxiliares
	<u>Descripción</u>	<u>Unidades</u>		<u>Largo</u> <u>Ancho</u> <u>Alto</u> <u>Parcial</u>
	Berma 1	1		134,46   3,23   0,40   434,31
	Berma 2	1		134,46   3,56   0,40   191,47
	Zona 2	1		58,00   8,03   0,40   186,39
				<b>Total ... 812,17</b>

14 REPA02 2.097,576 m<sup>2</sup> Hidrosiembra en las bermas de los taludes a base de 20% de Brachypodium retusum, 15% de Anthyllis vulneraria, 20% de Phagnalon saxatile, 15% Paronychia argentea, 15% de Sedum album, 15% de Helianthemum apenninum, todo ello con una dosis 30-35 g/m<sup>2</sup>, con 1.000 kg/ha. de abono de liberación controlada, 500 kg/ha. de celulosa mecánica, 200 kg/ha. de paja triturada, 50 kg/ha. de polímero absorbente de agua y 120 kg/ha. de estabilizador tipo polibutadieno, tapado inmediatamente después con 500 kg/ha. de celulosa mecánica, 100 kg/ha. de paja triturada y 80 kg/ha. de estabilizador tipo polibutadieno

<u>Descripción</u>	<u>Unidades</u>	<u>Largo</u>	<u>Ancho</u>	<u>Alto</u>	<u>Parcial</u>
Talud 1	1	134,46		2,74	368,42
Talud 2	1	134,46		12,86	1729,16
					<b>Total ... 2.097,58</b>

15 REPA03 20,000 ud Pinus halepensis (Pino carrasco) de 12 a 14 cm. de perímetro de tronco, suministrado a raíz desnuda y plantación en hoyo de 1x1x1 m., incluso apertura del mismo con los medios indicados, abonado, formación de alcorque y primer riego.

<u>Descripción</u>	<u>Unidades</u>	<u>Largo</u>	<u>Ancho</u>	<u>Alto</u>	<u>Parcial</u>
BERMA 1	10				10
BERMA 2	10				10
					<b>Total ... 20</b>

16 REPA04 10,000 ud Quercus coccifera (Chaparro) de 0,4 a 0,6 m. de altura, suministrado en contenedor y plantación en hoyo de 0,6x0,6x0,6 m., incluso apertura del mismo con los medios indicados, abonado, formación de alcorque y primer riego.

<u>Descripción</u>	<u>Unidades</u>	<u>Largo</u>	<u>Ancho</u>	<u>Alto</u>	<u>Parcial</u>
Berma 1	5				5
Berma 2	5				5
					<b>Total ... 10</b>

17 REPA05 10,000 ud Olea europea var. sylvestris (Olivo) de 12 a 14 cm. de perímetro de tronco, suministrado en contenedor y plantación en hoyo de 1x1x1 m., incluso apertura del mismo con los medios indicados, abonado, drenaje, formación de alcorque y primer riego.

<u>Descripción</u>	<u>Unidades</u>	<u>Largo</u>	<u>Ancho</u>	<u>Alto</u>	<u>Parcial</u>
Berma 1	5				5
Berma 2	5				5
					<b>Total ... 10</b>

18 REPA06 465,972 ud Phagnalon saxatile (manzanilla yesquera) de 15 a 30 cm de altura, suministrado en contenedor y plantación en hoyo 1x1x1 m, incluso apertura del mismo con los medios indicados, abonado, drenaje, formación de alcorque y primer riego.

<u>Descripción</u>	<u>Unidades</u>	<u>Largo</u>	<u>Ancho</u>	<u>Alto</u>	<u>Parcial</u>
Zona 2	1	58,00	8,03		465,97
					<b>Total... 465,97</b>

## 2.- PRECIOS DE LAS UNIDADES DE OBRA

### 2.1 DESBROCE

Núm	Código	UM	Descripción	Importe en letra	Importe en cifras
1	DEBR01	m2	Desbroce en el talud , con empleo de excavadora, carga y transporte de los productos a vertedero o lugar de empleo.		
				UN EURO CON CINCUENTA CÉNTIMOS	1,50 €

### 2.2 REEXCAVACIÓN

Núm	Código	UM	Descripción	Importe en letra	Importe en cifras
2	REEX01	m <sup>3</sup>	Excavación en talud en roca, con empleo de retroexcavadora, incluso precorte necesario carga y transporte de los productos de los productosde la excavación a vertedero o a acopio.		
				VEINTIOCHO EUROS	28,00 €
3	REEX02	m <sup>2</sup>	Perfilado y refino de talud en tierra o roca ripable, incluso retirada y transporte de los productos resultantes a vertedero o a acopio.		
				VEINTICINCO EUROS	25,00 €
4	REEX03	m <sup>3</sup>	Formación de bermas al pie del muro, con productos adecuados procedentes de la excavación o préstamos, incluso humectación, compactación, rasanteado y refino, totalmente terminado.		
				NUEVE EUROS CON CINCUENTA CÉNTIMOS	9,50 €

### 2.3 DRENAJE

Núm	Código	UM	Descripción	Importe en letra	Importe en cifras
5	DREN01	ml	Drenes californianos colocados en el muro al tresbolillo, incluyendo transporte y colocación.		
				VEINTE EUROS Y CUATRO CENTIMOS	20,04 €
6	DREN02	ml	Drenaje longitudinal, de sección circular com diámetro de 30 cm, cama de arena, tubo incluso transporte a obra y colocación		
				TREINTA Y CUATRO EUROS CON DOCE CÉNTIMOS	34,12 €
7	DREN03	ml	Cuneta trapecial tipo T1 de h=0,25 m. y base 0,40 m, con taludes 2/1, revestida de hormigón HM-20 de espesor 12 cm, incluso compactación y preparación de la superficie de asiento, regleado y p/p de encofrado terminada.		
				VEINTE EUROS Y CUATRO CENTIMOS	20,04 €
8	DREN04	ml	Bajante rectangular de h=0,8 m y base de 0,49 m de hormigón HM-20 de espesor 7 cm, incluso fabricación y preparación de superficie de asiento, reglado y p/p de encofrado terminada.		
				VEINTIUN EUROS Y CUATRO CÉNTIMOS	21,04 €
9	DREN05	ml	Cuneta trapecial de h= 0,31 m y base 0,5 m con talude 2/1 revestida de hormigón HM-20 de espesor 12 cm incluso compactación y preparación de la superficie de asiento, reglado y p/p de encofradp terminada.		
				VEINTE EUROS Y CUATRO CENTIMOS	20,04 €



**2.4 MURO**

Núm	Código	UM	Descripción	Importe en letra	Importe en cifras
10	LSCB01	m <sup>2</sup>	Hormigón de limpieza HM-15 de espesor 10 cm., en base de losa, incluso preparación de la superficie de asiento, regleado y nivelado, terminado.	TREINTA Y CINCO EUROS Y CUARENTA Y DOS CENTIMOS	35,42 €
11	MURO02	m3	Mamapuestos de la zona, extraída de la propia excavación o de préstamo cercano, incluyendo transporte y colocación y mortero M-7,5 en cada hilada incluso fabricación transporte y colocación.	NOVENTA Y OCHO EUROS	98,00 €

**2.5 MEDIDAS DE PROTECCIÓN DE TALUDES**

Núm	Código	UM	Descripción	Importe en letra	Importe en cifras
12	PRTD01	m3	Saneamiento de taludes de excavación de forma manual o bien utilizando medios mecánicos convencionales, incluso retirada, carga y transporte a vertedero o alugar de empleo del material resultante del proceso de saneo.	TREINTA Y OCHO EUROS Y CATORCE CENTIMOS	38,14 €

**2.6 RESTAURACIÓN DEL PAISAJE**

Nº	Código	UM	Descripción	Importe en letra	Importe en cifras
13	REPA01	m3	Tierra vegetal en capa de 0,50 cm de espesor, incluso aprovisionamiento y traslado de materiales hasta la obra, extendido, compactación, perfilado y colocación conforme a planos de proyecto y p.p. de elementos y maquinaria auxiliares	CUATRO EUROS Y VEINTE CENTIMOS	4,20 €

14	REPA02	m2	Hidrosiembra en las bermas de los taludes a base de 20% de Brachypodium retusum, 15% de Anthyllis vulneraria, 20% de Phagnalon saxatile, 15% Paronychia argentea, 15% de Sedum album, 15% de Helianthemum apenninum, todo ello con una dosis 30-35 g/m <sup>2</sup> , con 1.000 kg/ha. de abono de liberación controlada, 500 kg/ha. de celulosa mecánica, 200 kg/ha. de paja triturada, 50 kg/ha. de polímero absorbente de agua y 120 kg/ha. de estabilizador tipo polibutadieno, tapado inmediatamente después con 500 kg/ha. de celulosa mecánica, 100 kg/ha. de paja triturada y 80 kg/ha. de estabilizador tipo polibutadieno	UN EURO Y OCHENTA CENTIMOS	1,80 €
15	REPA03	ud	Pinus halepensis (Pino carrasco) de 12 a 14 cm. de perímetro de tronco, suministrado a raíz desnuda y plantación en hoyo de 1x1x1 m., incluso apertura del mismo con los medios indicados, abonado, formación de alcorque y primer riego.	TREINTA Y OCHO EUROS Y CINCUENTA Y CUATRO CENTIMOS	38,54 €
16	REPA04	ud	Quercus coccifera (Chaparrero) de 0,4 a 0,6 m. de altura, suministrado en contenedor y plantación en hoyo de 0,6x0,6x0,6 m., incluso apertura del mismo con los medios indicados, abonado, formación de alcorque y primer riego.	TREINTA Y NUEVE EUROS Y CUARENTA Y DOS CENTIMOS	39,42 €
17	REPA05	ud	Olea europea var. sylvestris (Olivo) de 12 a 14 cm. de perímetro de tronco, suministrado en contenedor y plantación en hoyo de 1x1x1 m., incluso apertura del mismo con los medios indicados, abonado, drenaje, formación de alcorque y primer riego.	CINCUENTA Y CINCO EUROS Y CUARENTA Y OCHO CENTIMOS	55,48 €
18	REPA06	ud	Phagnalon saxatile (manzanilla yesquera) de 15 a 30 cm de altura, suministrado en contenedor y plantación en hoyo 1x1x1 m., incluso apertura del mismo con los medios indicados, abonado, drenaje, formación de alcorque y primer riego.	VEINTIOCHO EUROS CON CUARENTA CÉNTIMOS	28,40 €

### 3.- VALORACIÓN

#### 3.1 DESBROCE

Núm	Código	UM	Descripción	Medición	Precio	Importe
1	DESB01	m2	Desbroce en el talud , con empleo de excavadora, carga y transporte de los productos a vertedero o lugar de empleo.	8483,69	1,50	12725,53

#### 3.2. REEXCAVACIÓN

Nº	Código	UM	Descripción	Medición	Precio	Importe
2	REEX01	m3	Excavación en talud en roca, con empleo de retroexcavadora, carga y transporte de los productos de la excavación a vertedero o a acopio.	5647,32	28,00 €	158.124,96 €
3	REEX02	m2	Perfilado y refino de talud en tierra o roca ripable, incluso retirada y transporte de los productos resultantes a vertedero o a acopio.	2016,90	25,00	50422,50
4	REEX03	m3	Formación de bermas al pie del muro, con productos adecuados procedentes de la excavación o préstamos, incluso humectación, compactación, rasanteado y refino, totalmente terminado.	2420,28	9,50 €	22.992,66 €

#### 3.3 DRENAJE

Nº	Código	UM	Descripción	Medición	Precio	Importe
5	DREN01	m	Drenes californianos colocados en el muro al tresbolillo, incluyendo transporte y colocación.	98,00	20,04	1963,92
6	DREN02	m2	Drenaje longitudinal, de sección circular com diámetro de 30 cm, cama de arena, tubo incluso transporte a obra y colocación	403,38	34,12 €	13.763,33 €
7	DREN03	m	Cuneta trapezial tipo T1 de h=0,25 m. y base 0,40 m, con taludes 2/1, revestida de hormigón HM-20 de espesor 12 cm, incluso compactación y preparación de la superficie de asiento, regleado y p/p de encofrado terminada.	134,46	20,04 €	2.694,58 €
8	DREN04	ml	Bajante rectangular de h=0,8 m y base de 0,49 m de hormigón HM-20 de espesor 7 cm, incluso fabricación y preparación de superficie de asiento, reglado y p/p de encofrado terminada.	133,6	21,04 €	2.810,94 €
9	DREN05	ml	Cuneta trapezial de h= 0,31 m y base 0,5 m con talude 2/1 revestida de hormigón HM-20 de espesor 12 cm incliso compactación y preparación de la superficie de asiento, reglado y p/p de encofradp terminada.	134,46	20,04	2.694,58 €



### 3.4 MURO

<u>Nº</u>	<u>Código</u>	<u>UM</u>	<u>Descripción</u>			
10	MURO01	m2	Hormigón de limpieza HM-15 de espesor 10 cm., en base de losa, incluso preparación de la superficie de asiento, regleado y nivelado, terminado.			
				<u>Medición</u>	<u>Precio</u>	<u>Importe</u>
				403,38	35,42 €	14.287,72 €
11	MURO02		Mampuestos de la zona, extraída de la propia excavación o de préstamo cercano, incluyendo transporte y colocación y mortero M-5 en cada hilada incluso fabricación transporte y colocación.			
				<u>Medición</u>	<u>Precio</u>	<u>Importe</u>
				3856,31	98,00	377918,65

### 3.5 MEDIDAS DE PROTECCIÓN DE TALUDES

<u>Nº</u>	<u>Código</u>	<u>UM</u>	<u>Descripción</u>			
12	PRTD01	m2	Saneo de taludes de excavación de forma manual o bien utilizando medios mecánicos convencionales, incluso retirada, carga y transporte a vertedero o alugar de empleo del material resultante del proceso de saneo.			
				<u>Medición</u>	<u>Precio</u>	<u>Importe</u>
				2097,58	38,14	80001,55

### 3.6 RESTAURACIÓN DEL PAISAJE

Nº	Código	UM	Descripción											
13	REPA01	m <sup>3</sup>	Tierra vegetal en capa de 0,50 cm de espesor, incluso aprovisionamiento y traslado de materiales hasta la obra, extendido, compactación, perfilado y colocación conforme a planos de proyecto y p.p. de elementos y maquinaria auxiliares	16	REPA04	ud	Quercus coccifera (Chapparro) de 0,4 a 0,6 m. de altura, suministrado en contenedor y plantación en hoyo de 0,6x0,6x0,6 m., incluso apertura del mismo con los medios indicados, abonado, formación de alcorque y primer riego.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Precio</th> <th>Importe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>39,42 €</td> <td>394,20 €</td> </tr> </tbody> </table>	Medición	Precio	Importe	10	39,42 €	394,20 €
Medición	Precio	Importe												
10	39,42 €	394,20 €												
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Precio</th> <th>Importe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>812,17</td> <td>4,20 €</td> <td>3.411,10 €</td> </tr> </tbody> </table>	Medición	Precio	Importe	812,17	4,20 €	3.411,10 €					
Medición	Precio	Importe												
812,17	4,20 €	3.411,10 €												
14	REPA02	m <sup>2</sup>	Hidrosiembra en las bermas de los taludes a base de 20% de Brachypodium retusum, 15% de Anthyllis vulneraria, 20% de Phagnalon saxatile, 15% Paronychia argentea, 15% de Sedum album, 15% de Helianthemum apenninum, todo ello con una dosis 30-35 g/m <sup>2</sup> , con 1.000 kg/ha. de abono de liberación controlada, 500 kg/ha. de celulosa mecánica, 200 kg/ha. de paja triturada, 50 kg/ha. de polímero absorbente de agua y 120 kg/ha. de estabilizador tipo polibutadieno, tapado inmediatamente después con 500 kg/ha. de celulosa mecánica, 100 kg/ha. de paja triturada y 80 kg/ha. de estabilizador tipo polibutadieno	17	REPA05	ud	Olea europea var. sylvestris (Olivo) de 12 a 14 cm. de perímetro de tronco, suministrado en contenedor y plantación en hoyo de 1x1x1 m., incluso apertura del mismo con los medios indicados, abonado, drenaje, formación de alcorque y primer riego.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Precio</th> <th>Importe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10,00</td> <td>55,48</td> <td>554,80 €</td> </tr> </tbody> </table>	Medición	Precio	Importe	10,00	55,48	554,80 €
Medición	Precio	Importe												
10,00	55,48	554,80 €												
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Precio</th> <th>Importe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2097,58</td> <td>1,80</td> <td>3775,64</td> </tr> </tbody> </table>	Medición	Precio	Importe	2097,58	1,80	3775,64					
Medición	Precio	Importe												
2097,58	1,80	3775,64												
15	REPA03	ud	Pinus halepensis (Pino carrasco) de 12 a 14 cm. de perímetro de tronco, suministrado a raíz desnuda y plantación en hoyo de 1x1x1 m., incluso apertura del mismo con los medios indicados, abonado, formación de alcorque y primer riego.	18	REPA06	ud	Phagnalon saxatile (manzanilla yesquera) de 15 a 30 cm de altura, suministrado en contenedor y plantación en hoyo 1x1x1 m, incluso apertura del mismo con los medios indicados, abonado, drenaje, formación de alcorque y primer riego.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Precio</th> <th>Importe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>465,97</td> <td>28,40</td> <td>13233,60</td> </tr> </tbody> </table>	Medición	Precio	Importe	465,97	28,40	13233,60
Medición	Precio	Importe												
465,97	28,40	13233,60												
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Precio</th> <th>Importe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20</td> <td>38,54 €</td> <td>770,80 €</td> </tr> </tbody> </table>	Medición	Precio	Importe	20	38,54 €	770,80 €					
Medición	Precio	Importe												
20	38,54 €	770,80 €												



#### **4.- PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL**

---

1 DESBROCE	12.725,53 €
2 REEXCAVACIÓN	231.540,12 €
3 DRENAJE	23.927,35 €
4 MURO	392.206,37 €
5 MEDIDAS DE PROTECCIÓN DE TALUDES	80.001,55 €
6 RESTAURACIÓN DEL PAISAJE	22.140,14 €
Total PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL:	762.541,06 €

El presupuesto de ejecución material asciende a la cantidad de:

**SETECIENTOS SESENTA Y DOS MIL  
QUINIENTOS CUARENTA Y UN EUROS  
Y SEIS CÉNTIMOS**



## **ANEJO 5. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)**

**ANEJO 5. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)****Relación del TFG/TFM “Estabilización de taludes en el PK 2+800 de la carretera CV-363, término municipal de Aras de los Olmos” con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.**

Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. <b>Fin de la pobreza.</b>				X
ODS 2. <b>Hambre cero.</b>				X
ODS 3. <b>Salud y bienestar.</b>				X
ODS 4. <b>Educación de calidad.</b>				X
ODS 5. <b>Igualdad de género.</b>				X
ODS 6. <b>Agua limpia y saneamiento.</b>				X
ODS 7. <b>Energía asequible y no contaminante.</b>				X
ODS 8. <b>Trabajo decente y crecimiento económico.</b>				X
ODS 9. <b>Industria, innovación e infraestructuras.</b>			X	
ODS 10. <b>Reducción de las desigualdades.</b>				X
ODS 11. <b>Ciudades y comunidades sostenibles.</b>				X
ODS 12. <b>Producción y consumo responsables.</b>	X			
ODS 13. <b>Acción por el clima.</b>		X		
ODS 14. <b>Vida submarina.</b>				X
ODS 15. <b>Vida de ecosistemas terrestres.</b>			X	
ODS 16. <b>Paz, justicia e instituciones sólidas.</b>				X
ODS 17. <b>Alianzas para lograr objetivos.</b>				X

**Descripción de la alineación del TFG/M con los ODS con un grado de relación más alto.**

El objetivo de este anejo, es determinar con que Objetivos de Desarrollo Sostenible (en adelante ODS) establecidos en la Agenda 2030 se alinea el presente trabajo de fin de grado. Para ello se explica cada uno de ellos, según la Agenda 2030, y dentro de cada objetivo se relaciona, el proyecto con la meta de dicho objetivo.

La ONU, en el año 2015, aprueba la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, esto busca provocar que tanto los países y sus sociedades emprendan un nuevo camino con el que mejorar la vida de todos, sin dejar a nadie atrás. La Agenda cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, los cuales se pueden ver en la tabla anterior.

Toda la sociedad, debe de concienciarse de lo importante que es cumplir los siguientes objetivos, pues esto daría lugar a que se mejorara la calidad de vida desde un punto de vista global. Es por ello que, en este Trabajo de Fin de Grado, de título: “Estabilización de taludes en el PK 2+800 de la carretera CV-363, término municipal de Aras de los Olmos”, se alinea con los objetivos mostrados en la tabla anterior, haciendo de la zona donde se va a llevar a cabo la actuación, una zona más sostenible y comprometida con los objetivos que plantea la ONU.

El sector de la construcción se caracteriza, lamentablemente por ser un sector reactivo a cambiar metodologías de construcción o a innovar.

Es por ello que, el sector de la construcción tiene un largo camino, que poco a poco está empezando a recorrer, por lo que cada vez se destina más fondos a investigar con materiales más sostenibles, hormigones de mayor durabilidad, aprovechar más los recursos, consiguiendo así infraestructuras sostenibles o un mayor uso de prefabricados. Con el objetivo de modernizar el sector, invirtiendo más en I+D+i y a su vez cumplir con los objetivos que demanda la Agenda 2030.

En este trabajo se alinea, en mayor o menor medida, con los siguientes ODS:

**9. Industria, innovación e infraestructuras.**

Dentro de este objetivo se incluye la industrialización inclusiva y sostenible, con la innovación y la infraestructura, pueden impulsar a las fuerzas económicas dinámicas y competitivas que fomentan la creación del empleo y los ingresos. Estas tienen un gran peso para introducir y promover nuevas tecnologías, facilitar el comercio internacional y permitir el uso eficiente de los recursos.

Hay que destacar de este objetivo, que tanto la innovación como el progreso tecnológico son básicos para descubrir soluciones duraderas para los desafíos económicos y medioambientales, como el aumento de la eficiencia energética y de recursos. Este objetivo, poco a poco se va cumpliendo pues se ve un incremento de la inversión en investigación y desarrollo (I+D), como porcentaje del PIB, que aumentó un 0,2% del 2000 al 2015. Pero aún queda por hacer y es que hay que conseguir que en las regiones en vías de desarrollo también crezca.

En el presente trabajo, dentro de este objetivo se alcanzan las siguientes metas:

**9.4** De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas.





Esta meta se cumple por que se ha decidido realizar una estructura de mampostería, utilizando material natural de la zona, por lo que no se van a agotar otros recursos en la obtención del material. La estructura por la tanto es sostenible. Lo mismo ocurre con las dos bermas que se van a disponer al pie del muro, estas se realizarán con material procedente de la excavación, por lo que no es necesario comprar material de cantera, se reutiliza este. Es por todo esto que en este trabajo se propone una solución donde la reutilización de materiales es esencial. Además, se busca que los costes sean mínimos en la adquisición de nuevos materiales. Además, esta solución, en comparación con el muro de hormigón armado que hay supone un menor coste de fabricación y también una menor huella de carbono por la fabricación de los materiales como el hormigón.

## 12. Producción y consumo responsables.

Es sabido por todos, que hoy en día las fuerzas impulsoras de la economía mundial son el consumo y la producción, estas dos variables dependen la una de la otra, se retroalimentan, pero a su vez ambas dependen del medio ambiente y de los recursos, que afectan al planeta.

Por lo tanto, lamentablemente, el progreso económico y el crecimiento social, siempre ha ido acompañado de una degradación del medio ambiente, y si se sigue así existe el riesgo de que ciertos recursos se agoten, con lo que esto a su vez perjudicaría el desarrollo futuro.

El consumo y la producción sostenibles consisten en hacer más y mejor con menos. También se trata de desvincular el crecimiento económico de la degradación medioambiental, aumentar la eficiencia de recursos y promover estilos de vida sostenibles.

De este objetivo de desarrollo sostenible, se cumplen las siguientes metas:

**12.2** De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales.

La solución propuesta, es una solución comprometida con el medio ambiente, sostenible, pues se va a realizar con material de la zona, ya que este es abundante, tanto el muro de mampostería, como las bermas y el relleno. Con todo esto también se estaría realizando un uso eficiente de los recursos naturales.

**12.4** De aquí a 2020, lograr la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida, de conformidad con los marcos internacionales convenidos, y reducir significativamente su liberación a la atmósfera, el agua y el suelo a fin de minimizar sus efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente.

Esta meta, en este proyecto se cumple, ya que para la fase de construcción hay una gestión de residuos. Además, hay que volver a destacar que los materiales que se utilizan son de la zona, por lo que no se va a producir contaminación en su creación.

**12.5** De aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización.

La mayor parte de la solución se realiza con material reutilizado, como el material obtenido en la excavación para la realización del relleno y de las bermas. También, los mampuestos se extraen de la propia ladera, siempre que no comprometan a la estabilidad de la misma.

**12.6** Alentar a las empresas, en especial las grandes empresas y las empresas transnacionales, a que adopten prácticas sostenibles e incorporen información sobre la sostenibilidad en su ciclo de presentación de informes.

Esta solución, reúne las condiciones necesarias, para que, si en un futuro se lleva a cabo, la empresa constructora que lo realice adopte prácticas sostenibles, con la reutilización del material.

**12.8** De aquí a 2030, asegurar que las personas de todo el mundo tengan la información y los conocimientos pertinentes para el desarrollo sostenible y los estilos de vida en armonía con la naturaleza.

Este proyecto, es un claro ejemplo, de como conseguir los objetivos marcados de estabilidad e integración paisajística minimizando las emisiones o como dar un uso efectivo a materiales naturales, sin que perjudiquen al medio ambiente. Es por esto que, sirve como ejemplo para la población como desarrollo sostenible y de armonía con la naturaleza.

**12.a** Ayudar a los países en desarrollo a fortalecer su capacidad científica y tecnológica para avanzar hacia modalidades de consumo y producción más sostenibles.

La solución adoptada, puede servir de ejemplo para países en vías de desarrollo, que tengan problemas similares de estabilidad en una ladera, pues en estos países, abundan las zonas verdes y este proyecto presenta una buena práctica de como combinar una medida de estabilización con el medio ambiente, haciendo que esta se integre de una forma eficaz y funcione de una manera eficaz.

## 13. Acción por el clima.

Los niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y de otros gases de efecto invernadero en la atmósfera están aumentando considerablemente en los últimos años.

El cambio climático, está a la orden del día y no es para menos, pues afecta a todo el mundo. Sus consecuencias, son visibles en las economías de los países y en la forma de vida, tanto de las personas como de los animales. La climatología también se está viendo afectada, pues cada vez hay precipitaciones más intensas, en zonas en las que antes no las había, un claro ejemplo de esto es que en los últimos dos años, se han suspendido las clases en por las precipitaciones, algo que no había pasado antes. Además, debido a estas lluvias, y las altas temperaturas, los polos se están derritiendo y esto provoca que el nivel de los mares y los océanos aumente. Este problema es bastante serio, pues para las zonas de costa como la Comunidad Valenciana le supondrá perder metros de la línea de costa, por no hablar de países como Holanda, que año a año gana terreno al mar.

Las últimas noticias de las emisiones a la atmósfera de gases invernadero, son buenas, pero a la vez son engañosas, pues hay que recordar que debido a la pandemia que seguimos viviendo, COVID-19, a provocado que muchas industrias cierren de forma temporal o permanente o produzcan menos. Pero todo hace indicar que según se vaya alcanzando la normalidad, estos niveles de gases invernadero volverán a sus niveles normales. El cambio climático no se va a pausar.

Por lo tanto, hay que tomar medidas, para rebajar estos niveles de emisiones de gases de efecto invernadero.



Del objetivo número 13, se alcanzan las siguientes metas:

**13.1** Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países.

Debido a los fuertes episodios de lluvia que se están produciendo últimamente, el estudio de la estabilidad de la ladera con nivel freático (aunque no presente), es esencial. Pues se ha diseñado la solución para que cuando estos episodios de lluvia tan extrema se produzcan la ladera siga teniendo un coeficiente de seguridad considerable. Además, se han provisto dos drenes transversales en los laterales del muro para desaguar la escorrentía. Hay que destacar que también se propone la limpieza de ODT para que cumplan su función de forma adecuada y poder así adaptarse a las inclemencias meteorológicas.

**13.2** Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.

Las emisiones en este proyecto son mínimas, algo que es buena para no incrementar el nivel de los gases de efecto invernadero. Pues ninguna fábrica va a tener que producir material, y la maquinaria que se utiliza para lo construcción del muro y de las bermas es mínima.

## 15. Vida de ecosistemas terrestres.

En 2016, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) alertó de un incremento importante en las epidemias zoonóticas. Esto afecta directamente a las personas, pues un gran número de nuevas infecciones en los seres humanos son zoonóticas, es decir, de procedencia animal. Además, las causas de estas enfermedades están relacionadas con la salud de los ecosistemas.

Para cambiar el rumbo al que van los ecosistemas, pues van camino de su destrucción, las Naciones Unidas han declarado la Década para la Restauración de los Ecosistemas (2021-2030). Esto busca frenar la pérdida y degradación de los ecosistemas y encontrar medidas para mejorarlos y concienciar a la población de lo importante que es saber convivir con cada ecosistema.

Se alcanzan las siguientes metas del objetivo número 15:

**15.1** Para 2020, velar por la conservación, el restablecimiento y el uso sostenible de los ecosistemas terrestres y los ecosistemas interiores de agua dulce y los servicios que proporcionan, en particular los bosques, los humedales, las montañas y las zonas áridas, en consonancia con las obligaciones contraídas en virtud de acuerdos internacionales.

La solución propuesta no solo se realiza en su mayoría con materiales reutilizables, sino que, además, busca una integración paisajística, para que el paisaje no se vea afectado por esta medida de contención. Además, se realiza una restauración del paisaje, plantando vegetación en las dos bermas que se van a construir con la finalidad de conservar la flora y la fauna de la zona.

## CONCLUSIONES:

Dada la ubicación de la medida de contención que es necesaria para lograr la estabilidad de la ladera, desde el principio del trabajo se ha buscado que esta se integrara de forma adecuada en el paisaje. Además, dadas las buenas características del material de la zona, también se aprovecha este material para ejecutar el muro de mampostería. Por último, se decide colocar unas bermas de terreno de la zona, proveniente de la zona y plantar vegetación en estas bermas, consiguiendo así que la zona al pie del muro quede totalmente integrada en el paisaje, además de reducir la pendiente al pie del muro, dotando a este de una mayor estabilidad.

Este proyecto es un claro ejemplo, de como se pueden lograr objetivos dentro de la ingeniería civil, respetando el medio ambiente, sin que este se vea afectado por la solución que se aplica a un problema determinado, en este caso, de estabilidad. También reaprovechando el material excavado, evitando así que se tenga que transportar, reduciendo la emisión de  $CO_2$ .

Por todo esto se puede ver que este Trabajo de Fin de Grado, se alinea con varios objetivos de desarrollo sostenible, siendo la integración paisajística clave a la hora de decidir la solución final.