ANEJO 12.

CALCULOS ESTRUCTURALES.

ÍNDICE

1. MUROS DE MAMPOSTERÍA EN LAS BOCAS DEL TÚNEL. 4

2. REFUERZO DE ESTRUCTURAS CON ANCLAJES. 6

3. PUENTE DE OBRA 02 Y MURO DE GAVIONES. 6

3.1. SOLUCIÓN PUENTE DE OBRA 02, PUENTE DE ALBA DEL CAMPO. 6

3.2. SOLUCIÓN MURO DE GAVIONES. 7

3.2.1. ESQUEMA DE CARGAS PARA EL CÁLCULO DEL MURO. 7

3.2.2. CÁLCULO DE MURO Y ZAPATA CONTINUA. 8

3.3. NORMATIVA DE APLICACIÓN. 9

3.2 MATERIALES. 10

3.3 COEFICIENTES DE MAYORACIÓN Y DE MINORACIÓN. 10

3.4 CARGAS CONSIDERADAS 11

4. ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES. 11

4.1. OBJETO DEL ESTUDIO DE ESTABILIDAD. 11

4.2. LOCALIZACIÓN DE LAS ACTUACIONES. 12

4.2.1. ZONA 1. TALUD 01, PK 195+665 a PK, 195+765. 12

4.2.2. ZONA 2. TÚNEL 01, PK 197+369 A PK 197+630. 12

4.2.3. ZONA 3. TÚNEL 02 Y TALUD 02, PK 198+880 A PK 199+157. 13

4.3. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJADOS PARA EL ESTUDIO DE ESTABILIDAD. 13

4.3.1. FOTOGRAMETRÍA. 13

4.3.2. INSPECCIÓN GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DE CAMPO. 20

4.3.3. ÁNALISIS ESPACIAL Y DE ESTABILIDAD. 21

4.4. SOLUCIÓN ADOPTADA. 45

4.4.1. SOLUCIÓN ZONA 1. 46

4.4.2. SOLUCIÓN ZONA 2. 47

4.4.3. SOLUCIÓN ZONA 3. 49

5. INFORME DE ESTRUCTURAS PARA REHABILITACIÓN DEL PUENTE DE ALBA Y DE MUROS DE GAVIONES EXISTENTES, EN EL T. M. DE ALMOHAJA (TERUEL). 56

6. INFORME DE ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES PARA LA ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DEL ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO COMO CAMINO NATURAL, ALBA (TERUEL, ARAGÓN). 57

1. MUROS DE MAMPOSTERÍA EN LAS BOCAS DEL TÚNEL.

La intervención plantea la restauración de los muros de mampostería de piedra arenisca existentes de las bocas de entrada y salida del túnel 01.





Se verán afectados únicamente dos caños, que, debido a su apoyo directo sobre el talud natural del terreno y la erosión de éstos, se están quedando sin base, con el riesgo de derrumbe que esto supone.

En consecuencia, se proyecta la ejecución del muro de mampostería de piedra arenisca, de 40 cm de espesor, aproximadamente, hasta el suelo, sobre una pequeña zapata corrida de hormigón HA-25/b/40 XC2 XF2 armado con acero B-500S, Ø12 15X15, que resuelva el apoyo de forma más satisfactoria. El ambiente XF2 se debe puede incluir debido al hielo y deshielo, aunque no esté incluido en la ficha de características.

Se adjunta ficha de características del hormigón según la instrucción de hormigón estructural. Real Decreto 470/2021, de 29 de junio, por el que se aprueba el Código Estructural.

FICHA DE CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN SEGÚN EL CÓDIGO ESTRUCTURAL. R.D. 470/21 — C.E.

ÁMBITO DE APLICACIÓN:

Estructuras y elementos de hormigón estructural incluyendo hormigón en masa, hormigón armado y hormigón pretensado cuando el acero de éste se introduce mediante el empleo de armaduras activas de acero situadas dentro del canto del elemento.

DATOS DE PROYECTO:

OBRA:	CIMENTACIÓN PARA RESTAURACIÓN DE MUROS DE MAMPOSTERÍA TUNEL 01
EMPLAZAMIENTO:	TUNEL 01. CAMINO NATURAL (ALBA DEL CAMPO)
PROMOTOR:	COMARCA COMUNIDAD DE TERUEL
EL ICCP:	ISMAEL VILLALBA ALEGRE

COMPONENTES:

CARACTERISTICAS		ESPECIFICACIONES			
		General	Elementos que varían		
			Cimentación	Exterior	Varios
CEMENTO: Art. 28, CODIGO ESTRUCTURAL.		CEM I	CEM I	CEM I	
Tipo, clase y características según RC-08		42,5 R	42,5 R	42,5 R	
AGUA: según especificaciones de Art. 29, CODIGO ESTRUCT.					
ARIDO: Art. 30, COD EST.	Clase / Naturaleza	RODADO	RODADO	RODADO	
	Tamaño máximo (mm^2)	20	20	20	
Otros componentes: Aditivos / Adiciones. Art. 29, EHE					

HORMIGONES:

CARACTERISTICAS		ESPECIFICACIONES			
		General	Elementos que varían		
			Cimentación	Exterior	Varios
DESIGNACION (COD. EST Art. 33.6)		**HA-25/B/20/XC2**	**HA-25/B/20/XC2**	**HA-30/B/20/XC4**	
ARMADURAS Art.34.2, COD. EST.	Tipo de acero	B-500 S	B-500 S	B-500 S	
	Límite elástico (N/mm^2)	500	500	500	
DOSIFICACION	Contenido mín. de cemento (kg/m^3)	275	275	300	
	Relación máxima agua/cemento	0,60	0,60	0,55	
CONSISTENCIA		BLANDA	BLANDA	BLANDA	
Asiento cono de Abrams (cm)		6-9	6-9	6-9	
COMPACTACION		VIBRADO	VIBRADO	VIBRADO	
RESISTENCIA CARACTERISTICA	A 7 días	18,75 N/mm^2	18,75 N/mm^2	22,50 N/mm^2	
	A 28 días	25,00 N/mm^2	25,00 N/mm^2	30,00 N/mm^2	
Otras resistencias especificas					
PUESTA EN OBRA	Recubrimiento mínimo de armaduras (mm)	35	50	40	

CONTROL:

CARACTERISTICAS		ESPECIFICACIONES			
		General	Elementos que varían		
			Cimentación	Exterior	Varios
DEL HORMIGON	Nivel	ESTADÍSTICO	ESTADÍSTICO	ESTADÍSTICO	
	Lotes de subdivisión de la obra.	Según CE Art.57.5.4.1	Según CE Art.57.5.4.1	Según CE Art.57.5.4.1	
	Frecuencia de los ensayos				
	Nº amasadas por lote	3	3	3	
	Nº de probetas por amasada	6	6	6	
	Tipo de probetas	ϕ=15 cm	ϕ=15 cm	ϕ=15 cm	
	Edad de rotura	7 días(2p), 28 días(2p)	7 días(2p), 28 días(2p)	7 días(2p), 28 días(2p)	
	Otros ensayos de control				
DEL ACERO	Nivel	NORMAL	NORMAL	NORMAL	

En Teruel, Septiembre de 2024
Fdo.Ismael Villalba Alegre
ICCP colegiado nº 7837
Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

2. REFUERZO DE ESTRUCTURAS CON ANCLAJES.

Se procederá al refuerzo de las estructuras que requieran de anclajes, en el túnel con lechada bituminosa y en el P03 201+960, en este caso sin lechada para sostener el desplome y las grietas.

3. PUENTE DE OBRA 02 Y MURO DE GAVIONES.

3.1. SOLUCIÓN PUENTE DE OBRA 02, PUENTE DE ALBA DEL CAMPO.

La intervención plantea, tal y como se detalla en le adjunto “Informe de estructuras para rehabilitación del puente de Alba y de muros de gaviones existentes, en el t. m. de Almohaja (Teruel)” elaborado por Jesús Ángel Bueno García, Ingeniero técnico industrial de estructuras colegiado nº 5.610:

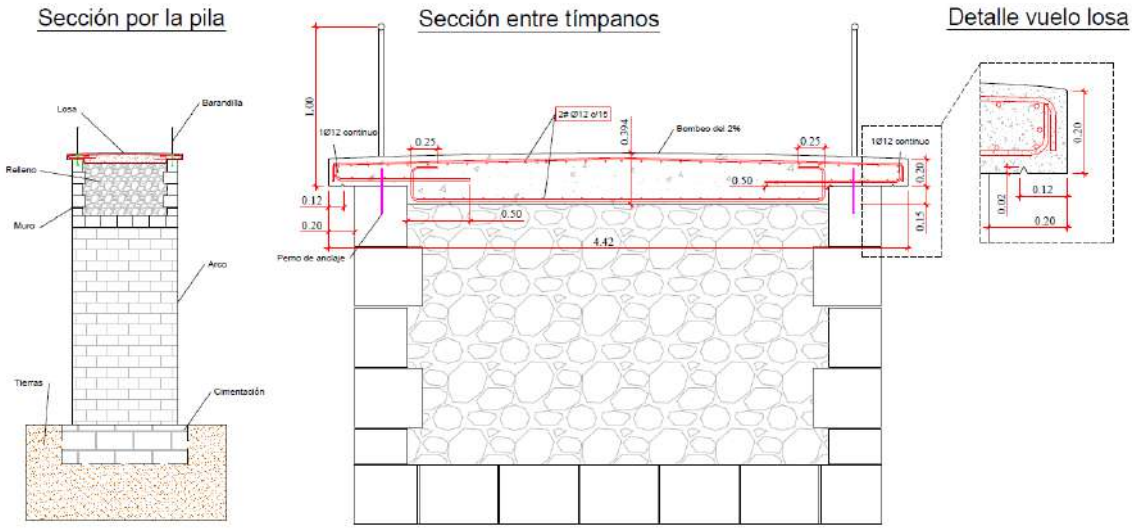
- Eliminación de toda la vegetación alrededor del puente, retirada de balasto, vigas de hormigón pretensadas y placas alveolares. Saneo de 15 cm del relleno, hasta la rasante superior del tímpano.

- Rejuntado de yagas y tendeles con mortero M-80 M-10 e inyección de resina epoxi bicomponente en las fisuras de los mampuestos.

- Ejecución de losa de HA-30/F/20/XC4 armado con doble parrilla de Ø12 c/15 cm, de 35 cm de espesor, que sobresaldrá 20 cm sobre la rasante lineal superior del tímpano. Esta losa tendrá toda la longitud del puente y se alargará como losa de transición 5 m a cada lado. La anchura de la losa será de 4,02 m, que es el ancho del puente, más 20 cm a cada lado de alero con goterón para evitar en lo posible el chorreo de aguas sobre la propia mampostería. Para la evacuación de agua del tablero de forma natural se considera dar un bombeo a la losa del 2% respecto al centro, que podrá ser tanto circular (más adecuado) como lineal.

- Colocación de barandilla ancladas a la losa de hormigón.

Croquis de la solución adoptada:

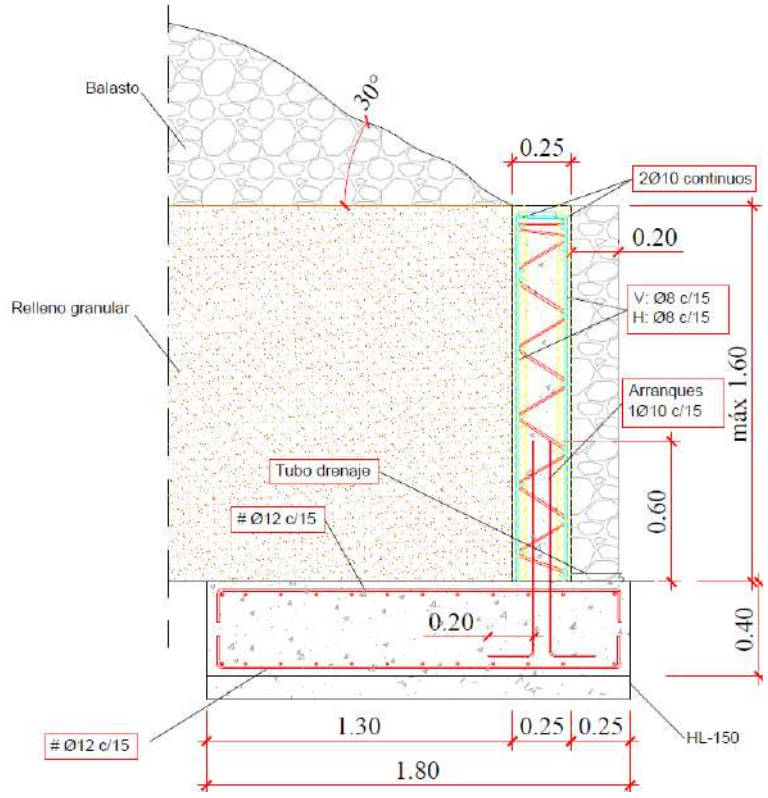


3.2. SOLUCIÓN MURO DE GAVIONES.

La intervención plantea tal y como se detalla en le adjunto “Informe de estructuras para rehabilitación del puente de Alba y de muros de gaviones existentes, en el t. m. de Almohaja (Teruel)” elaborado por Jesús Ángel Bueno García, Ingeniero técnico industrial de estructuras colegiado nº 5.610:

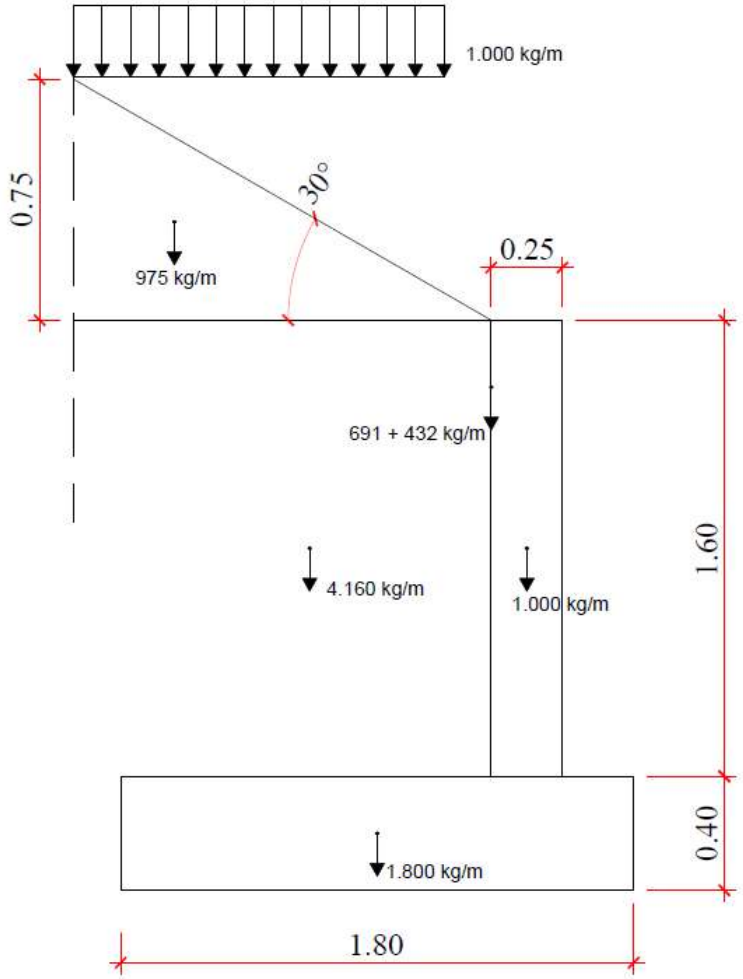
- Eliminación de toda la vegetación alrededor del muro.
- Eliminación de material contenido, tanto de balasto como el subyacente, hasta la rasante inferior de la zapata del nuevo muro.
- Ejecución de muro de hormigón armado prefabricado tipo bilama, de 25 cm de espesor, disponiendo para el relleno de zapata y muro un hormigón de calidad HA-30/F/20/XC4.
- Ejecución de mechinales de 40 mm de diámetro cada 2,40 m.
- Relleno de muro con material que garantice el drenaje.

Croquis de la solución adoptada:



3.2.1. ESQUEMA DE CARGAS PARA EL CÁLCULO DEL MURO.

A continuación, se detallan las cargas consideradas para el cálculo del muro de contención:



3.2.2. CÁLCULO DE MURO Y ZAPATA CONTINUA.

Para el cálculo del muro de contención y su zapata de cimentación, cuyo módulo de cálculo corresponde con el de un muro en ménsula, se han considerado los siguientes parámetros:

- Peso propio hormigón armado: 25,00 kN/m3.
- Peso propio acero: 78,50 kN/m3.
- Densidad del material contenido: 20,00 kN/m3.
- Ángulo de rozamiento interno, ψ: 30º.
- Ángulo de inclinación del muro, α: 90º.
- Ángulo de talud del terreno, β: 30º.
- Ángulo de rozamiento terreno-muro, δ: 2 ψ /3
- Coeficiente de empuje activo horizontal, λv: 0,75.

- Coeficiente de empuje activo vertical, λh: 0,27.

Con los datos que se indican, tenemos que los momentos y cortantes máximos en el muro son los siguientes:

- Momento flector máximo de cálculo: 28,22 m·kN/m.
- Momento flector máximo de servicio: 19,84 m·kN/m.
- Cortante máximo de cálculo: 43,92 kN/m.
- Cortante máximo de servicio: 31,20 kN/m.
- Axil máximo de cálculo: 142,43 kN/m.
- Axil máximo de servicio: 103,58 kN/m.

Con estos esfuerzos y teniendo en cuenta los armados mínimos establecidos, tenemos que las armaduras dispuestas son las siguientes:

- Armadura vertical prefabricado (ambas caras): Ø 8 c/15 cm.
- Armadura horizontal prefabricado (ambas caras): Ø 8 c/15 cm.
- Armadura vertical en arranques (ambas caras): Ø 10 c/15 cm (60 cm).
- Armadura horizontal continua cabeza de muro: 2Ø10.

Considerando los esfuerzos máximos de servicio que implica el muro, además del peso de la cimentación, la zapata continua, que se calcula de la tipología de zapata

descentrada, resulta de un tamaño de 180 cm de anchura y 40 cm de altura, disponiendo las siguientes armaduras:

- Armadura superior zapata: Ø12 c/15 cm.
- Armadura inferior zapata: Ø12 c/15 cm

3.3. NORMATIVA DE APLICACIÓN.

La normativa de referencia para el cálculo de las intervenciones ha sido la que a continuación se indica:

- CTE DB SE “Seguridad estructural”.
- CTE DB SE-AE “Seguridad estructural. Acciones en la edificación”.
- Cod. E. “Código estructural”.
- NCSE-02 "Norma de construcción sismorresistente".

3.2 MATERIALES.

Para los materiales constituyentes de las reparaciones y de las nuevas estructuras, acordes a la normativa actual, serán los siguientes:

- Hormigón en muros, losas y cimientos: HA-30/F/20/XC4.
- Acero en armaduras: B-500S.
- Acero en pernos de anclaje: B-500S.
- Acero en estructura metálica: S-275JR.

3.3 COEFICIENTES DE MAYORACIÓN Y DE MINORACIÓN.

En general los coeficientes de mayoración de acciones y de minoración de resistencias son los que se indican en la normativa de referencia en la actualidad:

Estado Límite de Servicio (ELS):

Para los coeficientes parciales de seguridad, se adoptarán los valores básicos recogidos en la tabla siguiente:

ESTADO LIMITE DE SERVICIO (ELS)			
TIPO DE ACCIÓN		SITUACIONES PERMANENTES Y TRANSITORIAS	
		Favorable	Desfavorable
PERMANENTE		1.00	1.00
PERMANENTE DE VALOR NO CONSTANTE	Pretensado P_1, Armaduras Postesas	0.9	1.1
	Pretensado P_1, Armaduras Pretesas	0.95	1.05
	Pretensado P_2	1.00	1.00
	Otras presolicitaciones	1.00	1.00
	Reológicas	1.00	1.00
	Acción del terreno	1.00	1.00
VARIABLE		0.00	1.00

Estado Límite Ultimo (ELU):

Para los coeficientes parciales de seguridad, se adoptarán los valores básicos recogidos en la tabla siguiente:

ESTADOS LIMITES ULTIMOS					
TIPO DE ACCIÓN		SITUACIONES PERMANENTES Y TRANSITORIAS		SITUACIONES ACCIDENTALES	
		Favorable	Desfavorable	Favorable	Desfavorable
PERMANENTE		1.00	1.50	1.00	1.00
PERMANENTE DE VALOR NO CONSTANTE	Pretensado P_1	1.00	1.00	1.00	1.00
	Pretensado P_2	1.00	1.35	1.00	1.00
	Otras presolicitaciones	0.95	1.05	1.00	1.00
	Reológicas	1.00	1.35	1.00	1.00
	Acción del terreno	1.00	1.50	1.00	1.00
VARIABLE		0.00	1.50	0.00	1.00
ACCIDENTAL				1.00	1.00

3.4 CARGAS CONSIDERADAS

Se ha considerado una carga superficial por sobrecarga de uso de 500 kg/m2, pudiendo haber también una concarga por elementos de solado de un máximo de 200 kg/m2.

En cualquier caso, dado que el puente se encuentra en unas condiciones bastante aceptables, su capacidad resistente se puede considerar suficiente para el tránsito de camiones semipesados en las fases de retirada de materiales y construcción del nuevo tablero superior de hormigón armado.

4. ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES.

4.1. OBJETO DEL ESTUDIO DE ESTABILIDAD.

El siguiente apartado se apoya en el “Informe de estabilidad de taludes y túneles para la adaptación del proyecto de acondicionamiento del antiguo trazado del FF.CC Santander Mediterráneo como camino natural, Alba (Teruel, Aragón), elaborado por el Doctor Ingeniero de Caminos Canales y puertos Rubén Sancho Gómez-Zurdo, adjunto a este anejo.

La finalidad de este apartado es abordar el análisis y la estabilización de taludes y túneles, con el fin de mitigar los riesgos asociados al desprendimiento de bloques rocosos y garantizar la seguridad, tanto del entorno inmediato, como de las infraestructuras cercanas a las zonas de estudio.

La metodología empleada está basada en técnicas avanzadas de fotogrametría, combinadas con estudios geomecánicos y cálculos de estabilidad, con el objetivo de desarrollar soluciones técnicas eficaces y sostenibles.

Se ha elaborado un modelo tridimensional del macizo rocoso, obtenido, mediante vuelo de dron multirrotor equipado con sistema RTK para un posicionamiento de alta precisión. A partir de este modelo, se realiza una caracterización geológico-geotécnica del terreno, identificando bloques críticos y analizando su estabilidad. Esta información ha servido como base para la propuesta de medidas correctivas y de protección, incluyendo soluciones estructurales.

Para poder abordar el análisis, ha sido necesario, de forma previa, proceder de la siguiente manera:

- Documentar y modelar los taludes y emboquilles de los túneles, utilizando técnicas fotogramétricas avanzadas para generar una nube de puntos de alta densidad y un modelo tridimensional que refleje la geometría y características del bloque y su entorno.

- Caracterizar geológica y geotécnicamente las zonas de actuación, diferenciando las unidades litológicas afectadas por los taludes, emboquilles y excavaciones previstas, tal y como se detalla en el Anejo 06, Estudio geológico y geotécnico. tal y como se detalla en el Anejo 06, Estudio geológico y geotécnico.

- Estudio geomecánico, mediante un análisis técnico de las condiciones de los taludes y macizos rocosos, identificando posibles puntos críticos y evaluando los riesgos de desprendimiento.

- Identificar las principales discontinuidades, contactos litológicos, zonas alteradas, recubrimientos superficiales y posibles condicionantes hidrogeológicos que puedan afectar a la estabilidad, tal y como se detalla en el Anejo 11, Estudio hidrológico e hidráulico.

- Analizar de forma individualizada cada punto objeto de estudio y sus correspondientes subzonas.

Con todo ello, se proponen medidas de estabilización y protección, justificando técnicamente las intervenciones necesarias, incluyendo cálculos de estabilidad y diseño de las soluciones más adecuadas para minimizar los riesgos. Este enfoque tiene como finalidad garantizar la estabilidad de los taludes y emboquilles, minimizar los riesgos asociados a desprendimientos o movimientos del terreno y asegurar la correcta integración de las soluciones propuestas en las condiciones geológicas reales del emplazamiento.

4.2. LOCALIZACIÓN DE LAS ACTUACIONES.

Para el estudio e intervención, se ha dividido el proyecto en tres zonas diferentes:

4.2.1. ZONA 1. TALUD 01, PK 195+665 a PK, 195+765.

La zona 1 corresponde al TALUD01, entre PK 195+665 y PK, 195+765, en el término municipal de Almohaja (Teruel). Se trata de una zona independiente respecto a los túneles, cuyo análisis se ha centrado en la estabilidad del talud, el reconocimiento de los materiales aflorantes, la posible presencia de recubrimientos superficiales y la identificación de mecanismos de inestabilidad asociados a la geometría de la ladera o excavación.

En esta zona se ha prestado especial atención a la existencia de bloques sueltos, niveles alterados, superficies de discontinuidad desfavorables, procesos de erosión superficial, acumulaciones de derrubios en pie de talud y posibles afecciones por escorrentía concentrada.

4.2.2. ZONA 2. TÚNEL 01, PK 197+369 A PK 197+630.

La zona 2 corresponde al TÚNEL01, entre PK 197+369 y PK 197+630 en el término municipal de Alba del Campo (Teruel). Para su estudio se ha dividido en dos subzonas:

- Zona 2.1: emboquille y taludes asociados de uno de los extremos del túnel.

- Zona 2.2: emboquille y taludes asociados del extremo opuesto del túnel.

En ambas subzonas se han estudiado las condiciones del macizo rocoso o terreno excavado, la estabilidad de los taludes de acceso, la potencia de los recubrimientos superficiales, la orientación de la estratificación y discontinuidades, la posible presencia de materiales arcillosos o margosos y la existencia de circulación de agua en contactos, fracturas o zonas alteradas.

Los emboquilles constituyen puntos especialmente sensibles desde el punto de vista geotécnico, debido al reducido confinamiento del terreno, la posible heterogeneidad de los materiales y la concentración de excavaciones en ladera. Por ello, su caracterización será específica e independiente para cada subzona.

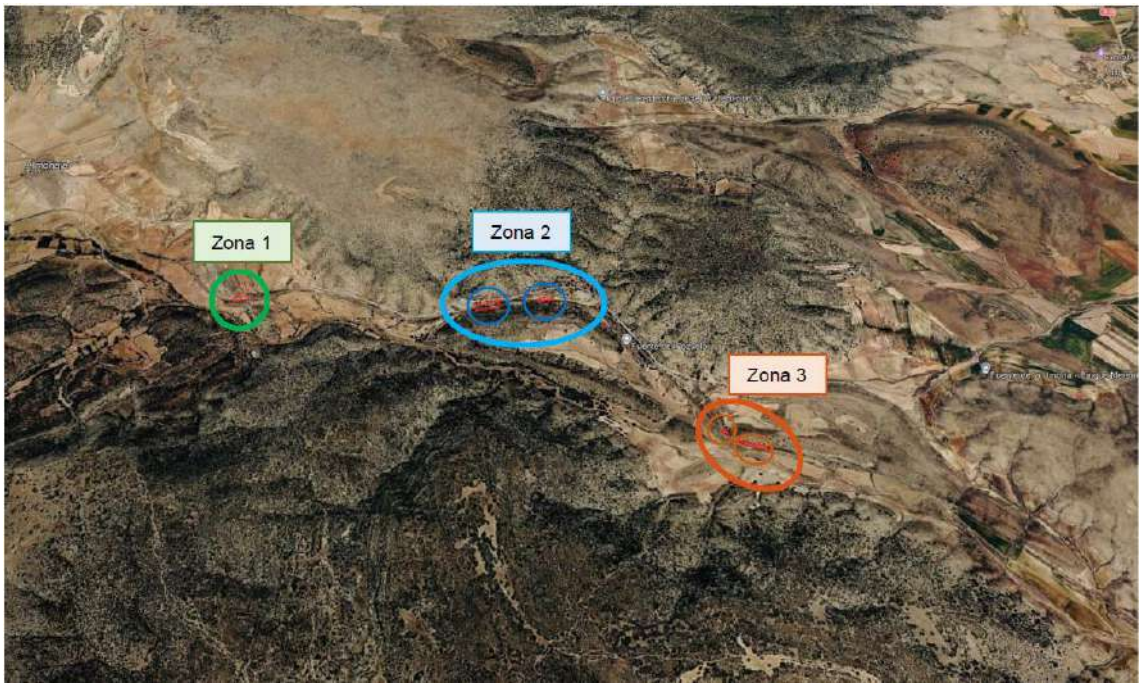
4.2.3. ZONA 3. TÚNEL 02 Y TALUD 02, PK 198+880 A PK 199+157.

La zona 3 corresponde al TÚNEL02, PK 198+880 a PK 198+951 y al TALUD02, PK 198+951 a PK 199+157, anexo al TÚNEL02 y ambos en el término municipal de Alba del Campo (Teruel). Al igual que en la zona 2, se divide en dos subzonas de análisis:

- Zona 3.1: emboquille y taludes asociados de uno de los extremos del túnel de mampostería.

- Zona 3.2: emboquille y taludes asociados del extremo opuesto del túnel. de mampostería.

El análisis de la zona 3 se ha orientado en determinar las condiciones geológico-geotécnicas de los taludes de emboquille y del entorno inmediato del túnel, TALUD02, evaluando la calidad del macizo rocoso, el grado de fracturación y meteorización, la presencia de recubrimientos cuaternarios y los posibles condicionantes derivados de contactos litológicos o estructuras tectónicas.



4.3. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJADOS PARA EL ESTUDIO DE ESTABILIDAD.

Los trabajos realizados tienen por objeto obtener una caracterización geológico-geotécnica preliminar de las zonas de actuación y establecer una primera valoración de las condiciones de estabilidad de los taludes, emboquilles y laderas afectadas por el proyecto.

4.3.1. FOTOGRAMETRÍA.

La fotogrametría es la ciencia o técnica cuyo objeto es el conocimiento de las dimensiones y posición de objetos en el espacio, a través de las medidas realizadas y a partir de la intersección de dos o más fotografías y del modelo digital del terreno correspondiente al lugar representado.

Con esta técnica se pueden determinar las propiedades geométricas de los objetos y las situaciones espaciales a partir de imágenes fotográficas. El control de desplazamientos y deformaciones de las estructuras, ha sido habitualmente mediante chequeo en puntos estratégicos, puntos a partir de los cuales se interpreta esa deformación para una zona determinada. La posibilidad de este control de la estructura, no solo con ciertos puntos, sino con una nube de cientos de puntos por m2 y la visualización mediante la generación de un modelo en 3D, es lo que ofrece esta tecnología basada en el vuelo con drones.

Esta técnica, aplicada sobre vehículos aéreos no tripulados (UAVs o Drones), permite convertirla en una tecnología de monitoreo, control e inspección de infraestructuras, taludes, etc. Básicamente consiste en la realización de un vuelo con dron multirotor equipado con un sistema estabilizador de 3 ejes, sensor RGB de alta resolución, formato RAW de captura de imágenes y grabación en 4K. Con ello se genera mediante un sistema de postprocesado una única imagen de alto detalle, en la que todos los elementos presentan la misma escala, libre de errores y deformaciones, con la misma validez de un plano cartográfico, es decir, se crea una ortofoto de alta precisión.

Previo a la realización del vuelo, se ha realizado una inspección visual de la zona, verificación meteorológica, el efecto de la incidencia solar, así como la tipología del terreno y el material a inspeccionar. Con ello se ha planificado el plan de vuelo ha realizar, definiendo así una altura, solape de toma de imágenes, velocidad de vuelo, orientación del sensor y superficie a inspeccionar atendiendo a la orografía del terreno.

Dada la extensión de terreno se ha utilizado el DJI Phantom 4 pro con capacidad PPK/RTK, lo que permite alcanzar precisiones aceptables sin la necesidad de establecer puntos de control en terreno.

La planificación de las líneas de vuelo se ha realizado de manera automática manteniendo un solapamiento longitudinal y transversal del 85% y 60% respectivamente.

Se ha utilizado como sistema de coordenadas planimétrico el Datum europeo (ETRS-89), con punto fundamental en Potsdam y con origen de longitudes en Greenwich. Como proyección se ha utilizado la Universal Transversal de Mercator (UTM) referida al elipsoide Internacional de Hayford en su huso 31.

En altimetría, las cotas quedan referenciadas al nivel medio del mar definido por el mareógrafo fundamental de Alicante. Para el enlace con este sistema de referencia, se ha unido a los vértices geodésicos existentes en el perímetro de la zona del proyecto, obteniendo del Instituto Geográfico Nacional sus coordenadas actualizadas.

El trabajo se ha realizado mediante técnicas GPS, trabajando en modo diferencial, es decir con un receptor fijo y otro móvil. Las observaciones se han hecho en modo RTK (cinemático en tiempo real) realizando varias lecturas en cada vértice y promediando las mismas. La toma de la nube de puntos se ha realizado con equipos GPS mediante

observaciones diferenciales en tiempo real desde estaciones de referencia, obteniendo los incrementos de coordenadas desde el equipo de referencia al móvil.

Los puntos radiados se han calculado con software específico (TCP-MDT), transportándose sus coordenadas X, Y, Z a un fichero DXF, para su posterior edición con AutoCAD.

A partir de los vértices de la Red Básica se han tomado los puntos necesarios para la realización del perfil longitudinal y de los correspondientes perfiles transversales.

Con toda la información obtenida tanto en campo como tras su procesado se obtienen:

- Ortofotos en planta y alzado.
- Modelo digital del terreno.
- Nube de puntos.
- Modelo 3D.

A partir de la ortofoto, se ha procedido a realizar curvados del terreno, identificar, medir y mapear familias de juntas etc. Con todo esto se obtiene la nube de puntos. Dicha nube de puntos, una vez se ha obtenido y se ha georreferenciado, se han obtenido las direcciones y los buzamientos de las familias de juntas existentes y que permiten a través del diagrama de Wuff obtener la observación de la tipología de inestabilidades.

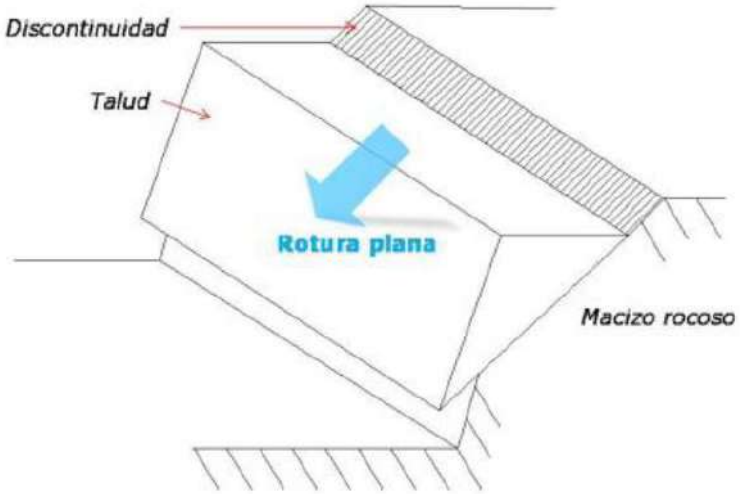
La dirección y el buzamiento de cada una de las familias observadas se ha utilizado para, a través de la representación en proyección estereográfica verificar la posible formación de deslizamientos. Los posibles deslizamientos pueden ser tantos deslizamientos planares, en cuña o vuelcos.

4.3.1.1. ROTURA PLANAR.

La rotura plana es uno de los tipos de inestabilidad de taludes en roca, en donde el mecanismo de fallo se produce debido al movimiento de una masa de terreno a favor del plano definido por una discontinuidad del macizo.

Sin embargo, no todas las discontinuidades existentes en un macizo rocoso pueden ocasionar roturas planas. Para ello es necesario que se cumplan una serie de condiciones cinemáticas relacionadas con la orientación de la discontinuidad respecto a la orientación del talud y la rugosidad del plano de deslizamiento. El estudio de la orientación de las discontinuidades y su influencia en la estabilidad de taludes se lleva a cabo mediante el empleo de la técnica conocida como proyección estereográfica.

La rotura plana es una de las tipologías básicas de inestabilidad de taludes en roca. Tal y como muestra la siguiente imagen, este tipo de inestabilidad tiene lugar cuando una masa rocosa desliza respecto al resto del macizo a través de una discontinuidad que aflora en el exterior del talud, existiendo en todo momento una superficie de contacto entre la masa deslizante y el macizo rocoso.



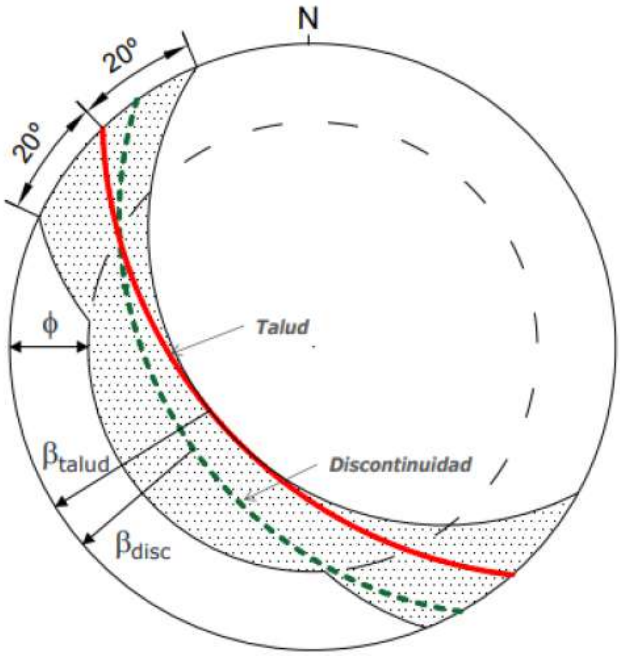
Geométricamente, la ocurrencia de rotura plana en un macizo depende de la orientación de las discontinuidades respecto a la orientación del talud, así como del buzamiento de las discontinuidades respecto al del talud. Además, mecánicamente, el deslizamiento sólo podrá tener lugar si se supera la fuerza de rozamiento en el plano de deslizamiento.

Es importante señalar que el análisis cinemático debe realizarse de forma independiente para cada discontinuidad (o familia o agrupación de discontinuidades) y para cada talud bajo estudio, ya que es más que probable que en un macizo rocoso sólo algunas de las discontinuidades existentes conlleven un riesgo potencial de rotura plana.

Así, para que una rotura plana pueda ocurrir tienen que darse las siguientes tres condiciones estructurales, que se recogen gráficamente en la siguiente imagen:

- La dirección de buzamiento de la discontinuidad (asimilada a un plano) debe ser “sensiblemente” paralela a la dirección de buzamiento del talud. Por lo general, se considera que la diferencia entre la dirección de buzamiento de la discontinuidad y la dirección de buzamiento del talud debe encontrase un rango de más / menos 20°.
- El buzamiento de la discontinuidad (βdisc) debe ser menor que el buzamiento del talud (βtalud), de forma que la discontinuidad debe aflorar en la superficie del talud.
- El buzamiento de la discontinuidad (βdisc) debe ser mayor que el ángulo de rozamiento (Φ) del plano de deslizamiento (normalmente se toma el ángulo de rozamiento o fricción de la discontinuidad).

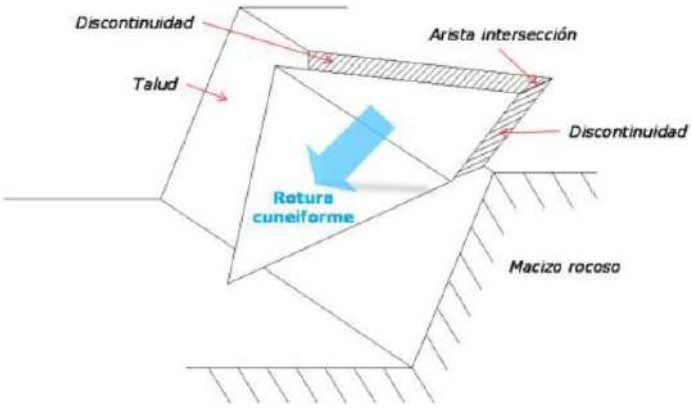
Adicionalmente, para que se produzca rotura plana es necesario que existan lo que se denominan “juntas de relevo”, tales como diaclasas laterales o grietas de tracción, que permitan que parte de la masa rocosa que conforma el macizo pueda deslizar y “separarse” de él.



Análisis cinemático de la estabilidad de un talud en roca por rotura plana. Cualquier discontinuidad que caiga dentro de la zona sombreada presenta riesgo potencial de rotura plana

4.3.1.2. ROTURA EN CUÑA.

La rotura cuneiforme o en cuña es una de las tipologías básicas de inestabilidad de taludes en roca. Tal y como muestra la siguiente imagen, este tipo de inestabilidad tiene lugar cuando una masa rocosa desliza respecto al resto del macizo a través de dos planos de discontinuidad, de forma que la recta intersección resultante buza hacia el exterior del talud, existiendo en todo momento una arista de contacto entre la masa deslizante y el macizo rocoso.



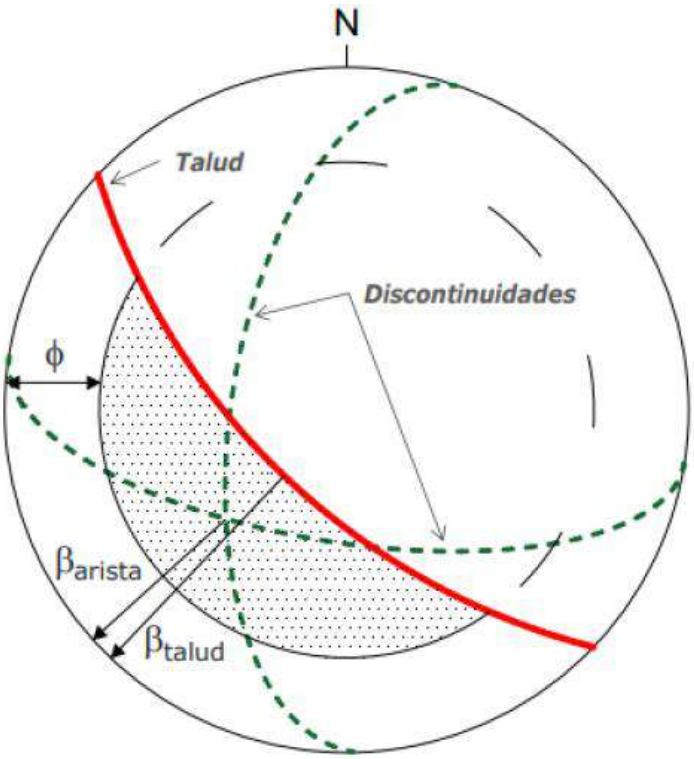
Geométricamente, la ocurrencia de rotura cuneiforme en un macizo depende de la inmersión (buzamiento) de las líneas de intersección de las discontinuidades respecto al buzamiento del talud.

Además, mecánicamente, el deslizamiento sólo podrá tener lugar si se supera la fuerza de rozamiento en los planos de deslizamiento.

Es importante señalar que el análisis cinemático debe realizarse de forma independiente para cada línea de intersección detectada (que puede ser el resultado del cruce de diferentes familias o agrupación de discontinuidades) y para cada talud bajo estudio, ya que es probable que en un macizo rocoso sólo algunas de las intersecciones existentes conlleven un riesgo potencial de rotura cuneiforme.

Así, para que una rotura cuneiforme pueda ocurrir tienen que darse las siguientes dos condiciones estructurales, que se recogen gráficamente en la siguiente imagen:

- La línea intersección debe aflorar en la superficie del talud, por lo que su rumbo (dirección) debe ser "similar" a la dirección de buzamiento del talud (más bien, no debe localizarse de forma opuesta a la dirección de buzamiento del éste) y su inmersión (βarista) debe ser menor que el buzamiento del talud (βtalud).
- La inmersión de la línea intersección (βarista) debe ser mayor que el ángulo de rozamiento (Φ) de los planos de deslizamiento (normalmente se toma el ángulo de rozamiento o fricción de las dos discontinuidades; si estos valores son muy diferentes, se puede hacer la media).



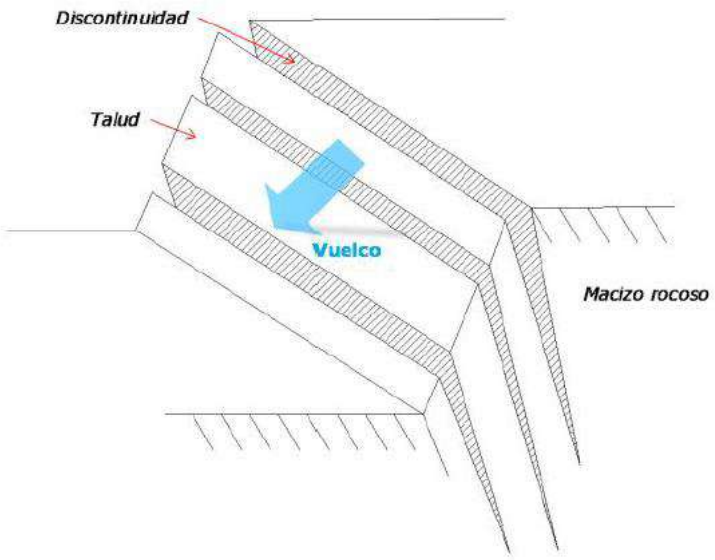
Análisis cinemático de la estabilidad de un talud en roca por rotura cuneiforme. Cualquier discontinuidad que caiga dentro de la zona sombreada presenta riesgo potencial de rotura cuneiforme.

4.3.1.3. ROTURA POR VUELCO.

El vuelco es uno de los tipos de inestabilidad de taludes en roca existentes, donde el mecanismo de fallo se produce en macizos que están subdivididos por la fracturación del macizo en una serie de bloques o columnas aproximadamente verticales, de forma que es posible el giran alrededor de un punto fijo y el deslizamiento entre los propios bloques de roca.

Sin embargo, no todas las discontinuidades existentes en un macizo rocoso pueden ocasionar vuelcos. Para ello es necesario que se cumplan una serie de condiciones cinemáticas relacionadas con la orientación de las discontinuidades respecto a la orientación del talud y la rugosidad del plano de deslizamiento. El estudio de la orientación de las discontinuidades y su influencia en la estabilidad de taludes se lleva a cabo mediante el empleo de la técnica conocida como proyección estereográfica.

Tal y como muestra la siguiente imagen, este tipo de inestabilidad tiene lugar cuando las discontinuidades existentes en el macizo rocoso dan lugar a una serie de bloques o elementos columnares con un buzamiento muy pronunciado y contrario al buzamiento del talud, de forma que la rotura se produce, generalmente, por una rotación de dichas estructuras hacia el exterior del talud.

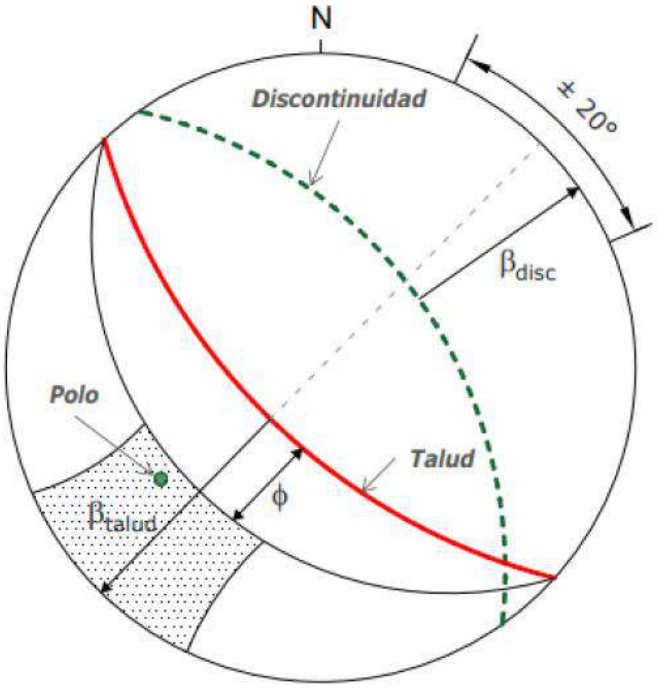


Para que se produzca vuelco los planos de discontinuidad deben ser sensiblemente paralelos al talud y aflorar abruptamente y con gran inclinación en él. Asimismo, el centro de gravedad de los bloques y columnas de roca en que las discontinuidades subdividen el macizo debe caer fuera de la dimensión de su base. Los vuelcos se caracterizan por tener movimientos horizontales significativos en su parte superior, pero muy reducidos en su pie. Para poder compatibilizar este movimiento diferencial entre el pie y la parte superior, debe darse el movimiento de todo el bloque, por lo que es necesario que se supere la fuerza de rozamiento máxima movilizable por fricción entre bloques.

Para que pueda ocurrir un vuelco tienen que darse las siguientes dos condiciones estructurales, que se recogen gráficamente en la siguiente imagen:

- La dirección de buzamiento de las discontinuidades (asimiladas a planos) debe ser “sensiblemente” ortogonal a la dirección de buzamiento del talud. Por lo general, se considera que la diferencia entre la dirección de buzamiento de las discontinuidades y la dirección de buzamiento del talud debe encontrase un rango de entre 160º y 200º (es decir 180º ± 20°).
- La inmersión de la normal a los planos de discontinuidad (en proyección estereográfica, la inmersión del polo de dichos planos) debe ser menor que la inclinación resultante de restar al buzamiento del talud el ángulo de rozamiento

de los planos de deslizamiento (normalmente se toma el ángulo de rozamiento o fricción de las discontinuidades).



Análisis cinemático de la estabilidad de un talud en roca por vuelco. Cualquier discontinuidad que caiga dentro de la zona sombreada presenta riesgo potencial de vuelco

4.3.2. INSPECCIÓN GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DE CAMPO.

La inspección geológico-geotécnica ha consistido en el reconocimiento directo de las zonas afectadas por el proyecto, prestando especial atención a los condicionantes que pueden influir en la estabilidad de los taludes y emboquilles.

En el talud de la zona 1 se ha evaluado la geometría general de la ladera o excavación, la naturaleza de los materiales aflorantes, la presencia de discontinuidades, bloques sueltos, desprendimientos previos, erosión superficial y posibles zonas de acumulación de derrubios en el pie.

En las subzonas 2.1 y 2.2, correspondientes a los emboquilles del primer TÚNEL01, se ha inspeccionado el estado del macizo o terreno en el entorno de los portales, la potencia aproximada de los recubrimientos superficiales, la orientación aparente de la estratificación, la presencia de fracturas, diaclasas o zonas de alteración, y la posible existencia de materiales menos competentes en contacto con unidades rocosas de mayor resistencia.

En las subzonas 3.1 y 3.2, correspondientes a los emboquilles del TÚNEL02, se ha seguido una metodología equivalente, con el objetivo de identificar diferencias litológicas, estructurales o geomorfológicas respecto al TÚNEL01 de la zona 2. La valoración individualizada de estos emboquilles resulta fundamental, ya que la estabilidad puede variar de forma significativa incluso entre extremos opuestos de un mismo túnel.

La información de campo se ha complementado con la revisión de la cartografía geológica disponible para el entorno de Alba del Campo, especialmente la Hoja MAGNA 541, Santa Eulalia del Campo. Esta documentación permite encuadrar el proyecto en el contexto geológico regional de la Cordillera Ibérica turolense y de la fosa del Jiloca.

De acuerdo con la información geológica disponible, en el entorno regional pueden aparecer materiales carbonatados jurásicos, materiales triásicos detríticos y margo-yesíferos, materiales terciarios continentales y depósitos cuaternarios de glacis, abanico, coluvión y aluvial. Estas unidades presentan comportamientos geotécnicos diferenciados, por lo que su identificación en cada zona de actuación resulta esencial para el análisis de estabilidad. Todo lo relacionado con lo mencionado se encuentra en el Estudio geológico-geotécnico para la elaboración del presente informe, el cual se incluye en el Anejo 06, Estudio geológico y geotécnico.

4.3.3. ÁNALISIS ESPACIAL Y DE ESTABILIDAD.

El análisis espacial de las discontinuidades y de la geometría de los taludes tiene como finalidad identificar los mecanismos potenciales de inestabilidad presentes en cada una de las zonas de actuación. Para ello, se han considerado, siempre que las condiciones de afloramiento y accesibilidad lo han permitido, la orientación de los planos de estratificación, diaclasas, juntas, fracturas, fallas y superficies de contacto litológico, comparándolas con la orientación y pendiente de los taludes y frentes de excavación existentes o previstos.

A partir del modelo digital del terreno obtenido mediante vuelo fotogramétrico con dron, se han realizado mediciones geométricas sobre los taludes afectados, incluyendo la determinación de direcciones de buzamiento y buzamientos aparentes de los principales planos de discontinuidad identificados. Esta información permite caracterizar la disposición espacial de las familias de juntas y valorar su relación con la geometría de los frentes, con el objeto de detectar configuraciones desfavorables desde el punto de vista de la estabilidad.

En las zonas donde se han identificado bloques rocosos potencialmente inestables, el análisis se ha centrado en la delimitación de aquellos elementos con mayor riesgo de desprendimiento, atendiendo a su volumen aproximado, grado de descalce, continuidad de las discontinuidades que los delimitan, apertura de juntas, estado de alteración, presencia de rellenos y relación geométrica con la cara del talud. Asimismo, se han evaluado los taludes de forma independiente, considerando tanto los mecanismos de rotura controlados por discontinuidades como los procesos superficiales asociados a meteorización, erosión, lavado de finos o pérdida de soporte en materiales poco competentes.

Cada una de las 3 zonas y 4 subzonas, se analiza de forma individualizada atendiendo a sus condiciones particulares de geometría, litología, estructura, grado de fracturación, presencia de recubrimientos y posibles condicionantes hidrogeológicos, Con el objetivo final es identificar los mecanismos de inestabilidad más probables en cada caso y establecer la base técnica para la definición de las soluciones de estabilización, sostenimiento, drenaje o protección que resulten necesarias.

4.3.3.1. ANÁLISIS ZONA 1.

La inspección visual y el análisis del modelo fotogramétrico obtenido mediante vuelo de dron permiten diferenciar tres sectores con comportamiento geotécnico distinto: extremo izquierdo, zona central de desprendimiento y extremo derecho.



El talud presenta una morfología heterogénea, con alternancia de zonas rocosas competentes, sectores alterados y áreas con acumulación de derrubios al pie. En la parte central se identifica una cicatriz de desprendimiento ya producido, asociada a un frente más degradado y con presencia de materiales sueltos o poco cohesionados. En los laterales se observan resaltes rocosos irregulares, bloques parcialmente individualizados y zonas con fracturación que pueden favorecer desprendimientos puntuales. A efectos del análisis de estabilidad, la Zona 1 se subdivide en los siguientes sectores:

- Zona 1A: extremo izquierdo del talud, caracterizado por la presencia de afloramiento rocoso, bloques individualizados y discontinuidades visibles.
- Zona 1B: zona central, correspondiente al área donde se ha producido un desprendimiento previo, con presencia de escarpe, material degradado y acumulación de derrubios.
- Zona 1C: extremo derecho del talud, formado por un macizo rocoso irregular, con bloques, fracturación y sectores localmente alterados.

Esta división permite diferenciar la problemática existente en cada sector. En los extremos del talud predominan los mecanismos asociados a la caída puntual de bloques o fragmentos rocosos, mientras que en la zona central la inestabilidad observada se relaciona principalmente con un proceso ya producido de desprendimiento y degradación superficial del frente resultante.

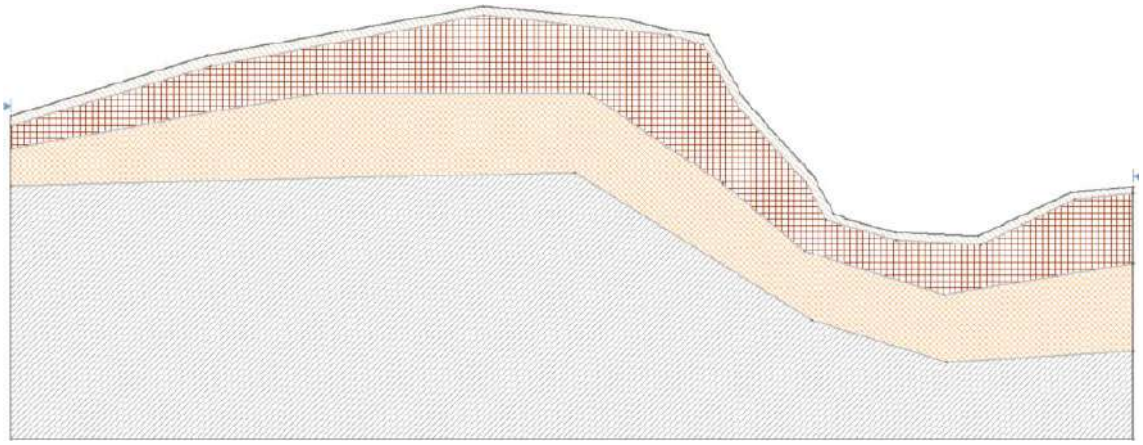
Para la evaluación de la estabilidad global del talud se ha seleccionado un perfil representativo correspondiente al sector que, por su geometría, altura, pendiente y estado de alteración, se considera más desfavorable dentro de la Zona 1. Dicho perfil se ha obtenido a partir del modelo digital del terreno generado mediante el vuelo fotogramétrico, seleccionando la sección que recoge de forma más representativa la zona central del talud y su transición hacia los materiales rocosos laterales.

Por lo que, para analizar la estabilidad del talud se ha realizado un estudio previo mediante un tanteo con el perfil de un modelo con las coordenadas obtenidas

mediante la fotogrametría realizada con un vuelo de dron, se han introducido dichas coordenadas y se ha obtenido el perfil a estudiar.

Se plantea la solución llevando a cabo en primer lugar un Back Analysis. Con él se lleva el coeficiente de seguridad a un valor cercano a la unidad, de tal forma que se obtienen los parámetros geotécnicos del terreno en ese estado. Se considera que el valor del coeficiente de seguridad correspondiente al círculo de deslizamiento pésimo es cercano a 1 ya que anteriormente ha ocurrido un deslizamiento.

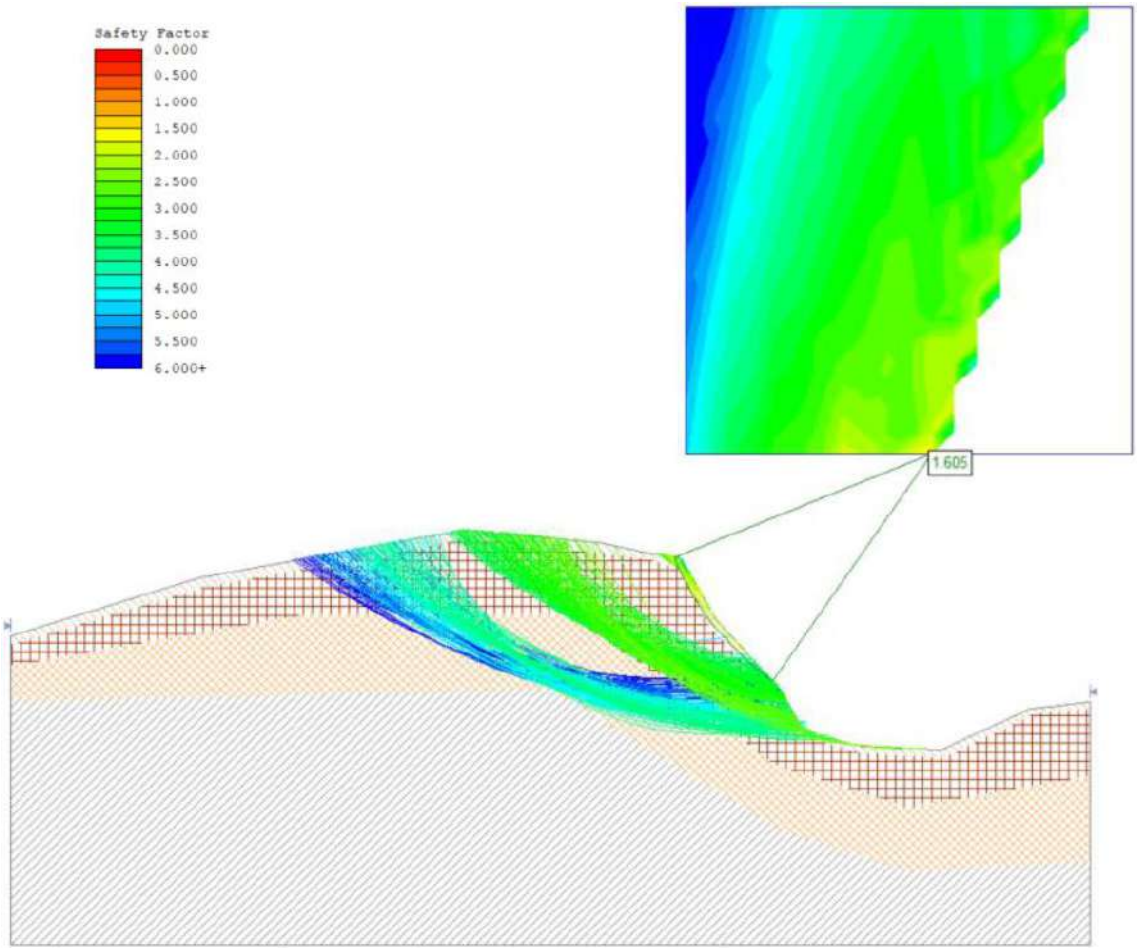
Se realiza un estudio previo con un perfil con las características y propiedades del talud y los estratos del terreno previos al desprendimiento ocurrido, indicados en el Instituto Geológico y Minero de España. Estas propiedades se toman del ya nombrado Anejo 06, Estudio geológico y geotécnico, donde se han realizado unos ensayos para corroborar dichas características.[CMC1]



Perfil a estudiar con los estratos del terreno.

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface	Ru
UG1		26	Mohr-Coulomb	6000	35	None	0
UG2		22	Mohr-Coulomb	200	28	None	0
UG3		20	Mohr-Coulomb	100	30	None	0
UG4		20	Mohr-Coulomb	10	30	None	0

A continuación, se muestra el mismo perfil analizado con todas las posibles superficies de deslizamiento y el factor de seguridad correspondiente a dicha superficie.



Factor de seguridad calculado en todos los posibles casos de deslizamiento del perfil.

Se observa que la superficie crítica obtenida presenta un factor de seguridad de FS=1,605, por lo que, no se identifica una situación de inestabilidad global del talud frente a mecanismos de deslizamiento.

Las superficies de rotura calculadas se desarrollan principalmente en la zona superficial del perfil y no evidencian un mecanismo profundo o generalizado que comprometa la estabilidad global del conjunto. Por tanto, el comportamiento del talud en este sector puede considerarse aceptable desde el punto de vista del equilibrio límite, no observándose una problemática significativa asociada a deslizamientos globales o roturas de gran entidad.

No obstante, los resultados del cálculo global no descartan la existencia de inestabilidades locales asociadas a bloques rocosos parcialmente individualizados por discontinuidades, especialmente en los paños rocosos visibles del extremo analizado. En este sentido, la problemática principal de la Zona 1A no se relaciona con un fallo general del talud, sino con la posible movilización puntual de bloques o fragmentos rocosos condicionados por la fracturación, la meteorización y el descalce local.

En consecuencia, el análisis de estabilidad global permite concluir que no resulta esperable un mecanismo de deslizamiento generalizado en el perfil estudiado, debiendo centrarse la valoración posterior en la identificación de bloques potencialmente inestables y en la definición de las actuaciones necesarias para su

control. Dichas actuaciones se desarrollan y justifican en el apartado correspondiente a soluciones de estabilización.

De forma complementaria al análisis de estabilidad global del perfil P-1, se ha llevado a cabo la identificación de bloques rocosos potencialmente inestables en los paños laterales de la Zona 1. Este análisis se ha realizado a partir del modelo fotogramétrico obtenido mediante vuelo de dron, que permite reconocer la geometría de los afloramientos, delimitar discontinuidades visibles y estimar las dimensiones aproximadas de los bloques individualizados.

El análisis se ha centrado en aquellos bloques que presentan una combinación desfavorable de factores geométricos y geotécnicos, tales como posición sobresaliente respecto al frente del talud, individualización parcial mediante juntas o fracturas, apertura visible de discontinuidades, apoyo basal reducido, signos de alteración o pérdida de confinamiento lateral. Estos factores pueden favorecer la movilización puntual de bloques, especialmente bajo la acción de la meteorización, ciclos de humedad-sequedad, escorrentía superficial o degradación progresiva de las juntas.

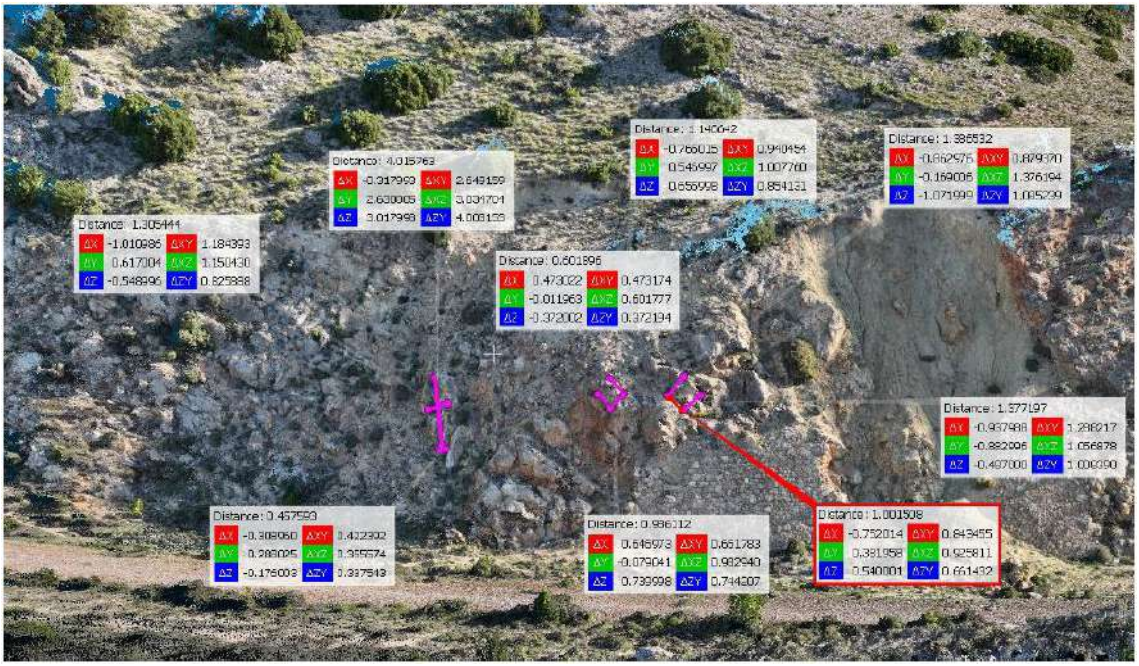
Para su valoración, se han seleccionado bloques representativos de tamaño decimétrico a métrico, cuyas dimensiones han sido obtenidas de forma aproximada sobre el modelo fotogramétrico. En cada caso se ha considerado la altura, anchura y espesor visible del bloque, estimando de forma orientativa su volumen y masa. La selección de estos bloques no responde únicamente a su tamaño, sino también a su grado de individualización, posición relativa en el talud y posible afección en caso de desprendimiento.

Como criterio general, se consideran relevantes aquellos bloques con volúmenes aproximados superiores a 0,5 m^3, especialmente cuando se encuentran parcialmente delimitados por discontinuidades persistentes o presentan pérdida de apoyo. Los bloques de volumen inferior pueden generar desprendimientos menores o caída de fragmentos, mientras que los bloques de volumen métrico o submétrico individualizado requieren una valoración específica por su mayor peligrosidad potencial.

En el presente análisis se han seleccionado los bloques más representativos identificados en el modelo, describiéndose para cada uno de ellos sus dimensiones aproximadas, grado de individualización, características de las discontinuidades que los delimitan y mecanismo potencial de inestabilidad.



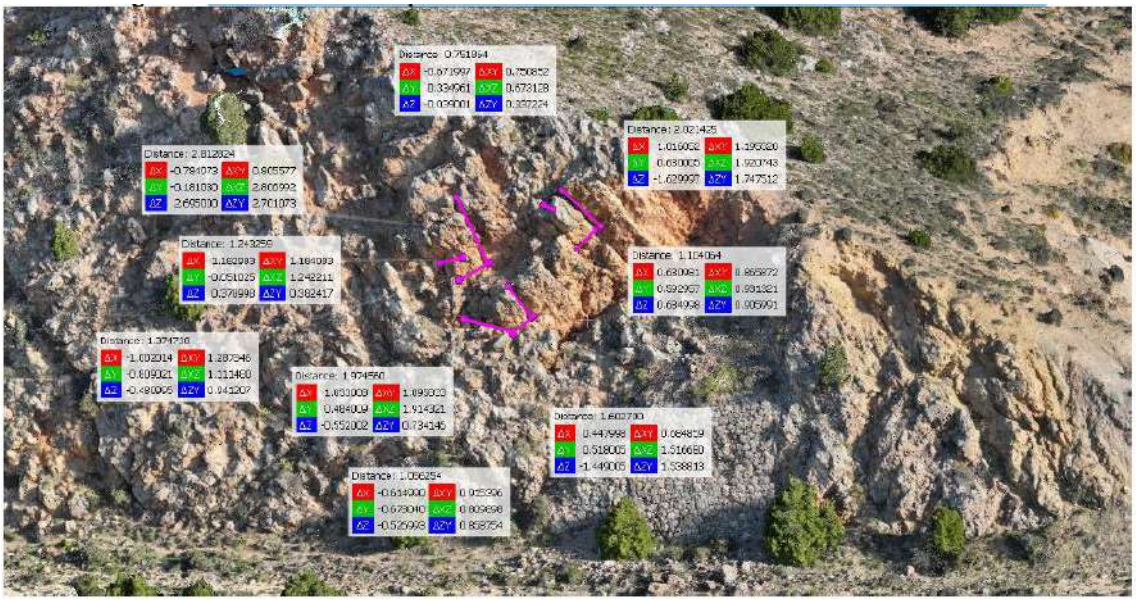
Selección de bloques en la zona extrema izquierda de la zona 1 de estudio.



Dimensionamiento de bloques en la zona extrema izquierda de la zona 1 de estudio.



Selección de bloques en la zona extrema derecha de la zona 1 de estudio.



Dimensionamiento de bloques en la zona derecha de la zona 1 de estudio.

Los volúmenes indicados son aproximados y se han estimado a partir de las dimensiones medidas sobre el modelo fotogramétrico. Dado que los bloques se encuentran parcialmente embebidos en el macizo, el espesor considerado corresponde a una estimación visual del volumen potencialmente movilizable.

En la siguiente tabla se resumen las características principales de los bloques representativos identificados en los sectores izquierdo y derecho de la Zona 1.

Bloque	Ubicación	Dimensiones aproximadas	Volumen estimado m³	Características observadas	Mecanismo potencial
B-1	Zona 1, extremo izquierdo	0,45 × 1,30 ×4 m	2,34	Bloque alargado parcialmente individualizado por discontinuidades laterales. Presenta posición sobresaliente respecto al frente, posible pérdida de confinamiento lateral y apoyo inferior irregular	Desprendimiento puntual por pérdida progresiva de apoyo o apertura de juntas laterales
B-2	Zona 1, extremo izquierdo	1,15 × 0,60 ×1 m	0,69	Bloque de mayor entidad, parcialmente delimitado por discontinuidades visibles. Presenta geometría irregular, exposición directa hacia el frente y posible salida cinemática hacia la cara libre del talud	Caída o vuelco local de bloque condicionado por discontinuidades y pérdida de apoyo
B-3	Zona 1, extremo izquierdo	1,38 × 1 × 1,38 m	1,90	Fragmento rocoso individualizado de menor tamaño, con contorno definido, posible junta abierta perimetral y exposición directa a la cara libre	Caída puntual de fragmento rocoso por degradación de juntas o pérdida de apoyo
B-4	Zona 1, extremo derecho	1,20 × 2,80 × 1,4 m	4,70	Bloque parcialmente individualizado, situado en un paño rocoso fracturado. Presenta geometría relativamente prismática, exposición directa hacia la cara libre y posible delimitación por juntas laterales. Se observa pérdida parcial de confinamiento en su entorno	Vuelco local o caída de bloque por apertura progresiva de discontinuidades y pérdida de apoyo basal/lateral.
B-5	Zona 1, extremo derecho	1,9 × 1 × 1,60 m	3,04	Bloque de menor altura pero claramente expuesto en el frente. Se encuentra parcialmente delimitado por discontinuidades y apoyado sobre un sustrato irregular, con posible descalce inferior. Su posición favorece la salida hacia la cara libre del talud	Caída puntual o vuelco de bloque condicionado por apoyo basal irregular y fracturación del macizo.
B-6	Zona 1, extremo derecho	2 × 1,10 ×1,6 m	3,52	Bloque situado en zona elevada del paño, próximo a un sector alterado o erosionado. Presenta contorno parcialmente individualizado, exposición frontal y posible junta posterior o lateral que podría favorecer su desconfinamiento.	Vuelco hacia el frente o desprendimiento por pérdida de confinamiento y degradación del material de apoyo.

4.3.3.2. ANÁLISIS ZONA 2.

A efectos del análisis de estabilidad, esta zona se ha dividido en dos subzonas diferenciadas, denominadas Zona 2.1 y Zona 2.2, correspondientes a los sectores de entrada y salida del túnel.

La división en subzonas responde a los diferentes emboquilles del túnel, y a las diferencias existentes en la geometría de los taludes, la disposición de los materiales, el grado de alteración observado y las condiciones particulares de cada emboquille. Dado que los emboquilles constituyen puntos especialmente sensibles desde el punto de vista geotécnico, debido al reducido confinamiento del terreno y a la posible concentración de discontinuidades o recubrimientos superficiales, se ha considerado necesario analizar cada sector de forma individualizada.

El análisis de estabilidad de la Zona 2 se ha realizado a partir del modelo digital del terreno obtenido mediante vuelo fotogramétrico, complementado con las observaciones de campo. A partir de dicho modelo se han extraído perfiles representativos de las zonas consideradas más desfavorables, con el objeto de evaluar la estabilidad global o superficial de los taludes y emboquilles mediante métodos de equilibrio límite.

ZONA 2.1.

En esta zona se ha evaluado la estabilidad global del talud, para ello se ha seleccionado un perfil representativo correspondiente al sector que, por su geometría, altura, pendiente y estado de alteración, se considera más desfavorable dentro de la

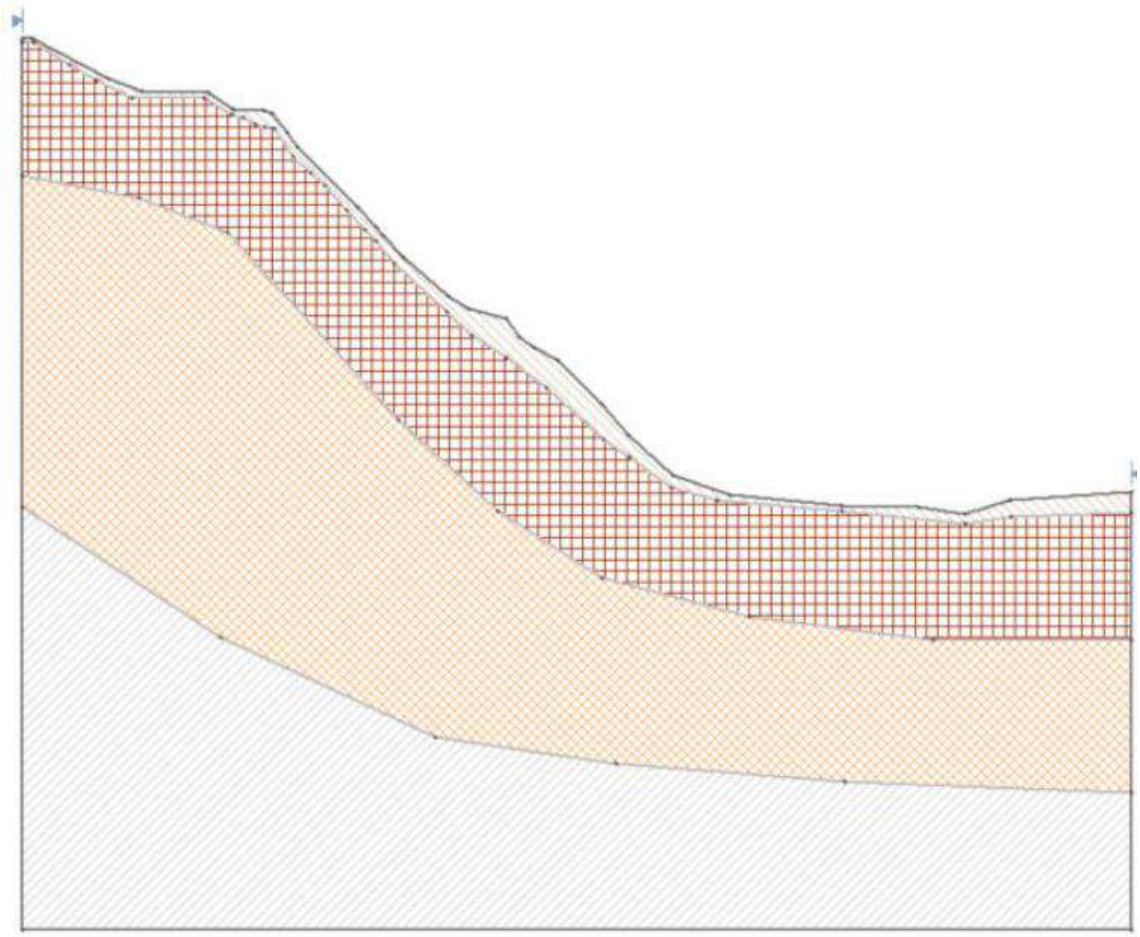
Zona 2.1. Dicho perfil se ha obtenido a partir del modelo digital del terreno generado mediante el vuelo fotogramétrico, seleccionando la sección que recoge de forma más representativa la zona central del talud y su transición hacia los materiales rocosos laterales.



Para analizar la estabilidad del talud se ha realizado un estudio previo mediante un tanteo con el perfil de un modelo con las coordenadas obtenidas mediante la fotogrametría realizada con un vuelo de dron, se han introducido dichas coordenadas y se ha obtenido el perfil a estudiar.

Se ha planteado la solución llevando a cabo en primer lugar un Back Analysis. Con él se lleva el coeficiente de seguridad a un valor cercano a la unidad, de tal forma que se obtienen los parámetros geotécnicos del terreno en ese estado. Se considera que el valor del coeficiente de seguridad correspondiente al círculo de deslizamiento pésimo es cercano a 1 ya que anteriormente ha ocurrido un deslizamiento.

Se ha realizado un estudio previo con un perfil con las características y propiedades del talud y los estratos del terreno previos al desprendimiento ocurrido, indicados en el Instituto Geológico y Minero de España. Estas propiedades se toman del ya nombrado Anejo 06, Estudio geológico y geotécnico, donde se han realizado unos ensayos para corroborar dichas características.

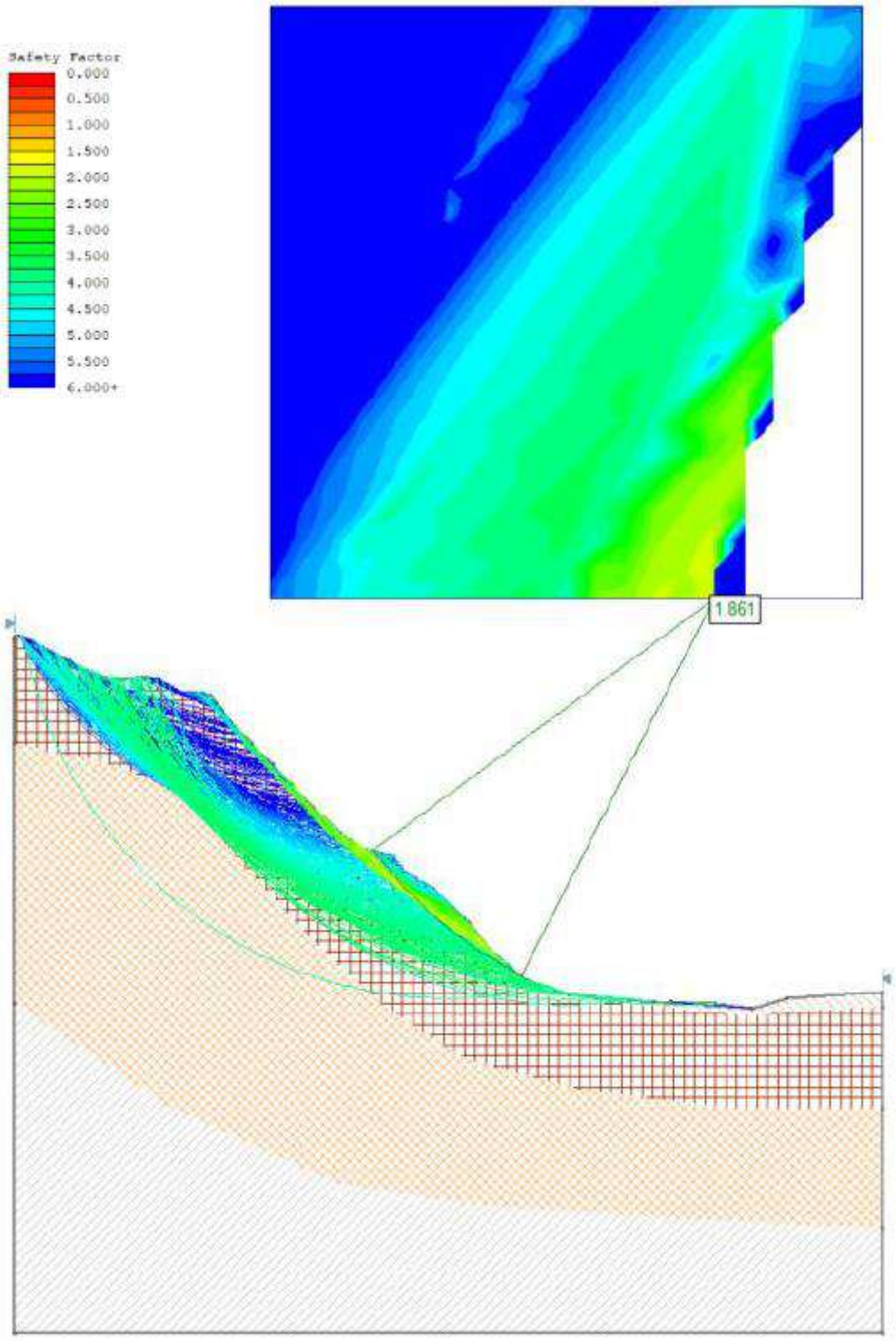


Perfil a estudiar con los estratos del terreno.

La siguiente tabla muestra las propiedades de los distintos materiales que completan la geología de la zona:

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface	Ru
UG1		26	Mohr-Coulomb	6000	35	None	0
UG2		22	Mohr-Coulomb	200	28	None	0
UG3		20	Mohr-Coulomb	100	30	None	0
UG4		20	Mohr-Coulomb	10	30	None	0

A continuación, se muestra el mismo perfil analizado con todas las posibles superficies de deslizamiento y el Factor de Seguridad correspondiente a dicha superficie.



Factor de seguridad calculado en todos los posibles casos de deslizamiento del perfil.

Se observa que la superficie crítica obtenida presenta un factor de seguridad de FS=1,86, por lo que, no se identifica una situación de inestabilidad global del talud frente a mecanismos de deslizamiento.

Las superficies de rotura calculadas se desarrollan principalmente en la zona superficial del perfil y no evidencian un mecanismo profundo o generalizado que comprometa la estabilidad global del conjunto. Por tanto, el comportamiento del talud en este sector puede considerarse aceptable desde el punto de vista del equilibrio límite, no observándose una problemática significativa asociada a deslizamientos globales o roturas de gran entidad.

ZONA 2.2.

En esta zona se evalúa la estabilidad global del talud, para ello se ha seleccionado un perfil representativo correspondiente al sector que, por su geometría, altura, pendiente y estado de alteración, se considera más desfavorable dentro de la Zona 2.2. Dicho perfil se ha obtenido a partir del modelo digital del terreno generado mediante el vuelo fotogramétrico, seleccionando la sección que recoge de forma más representativa la zona central del talud y su transición hacia los materiales rocosos laterales.

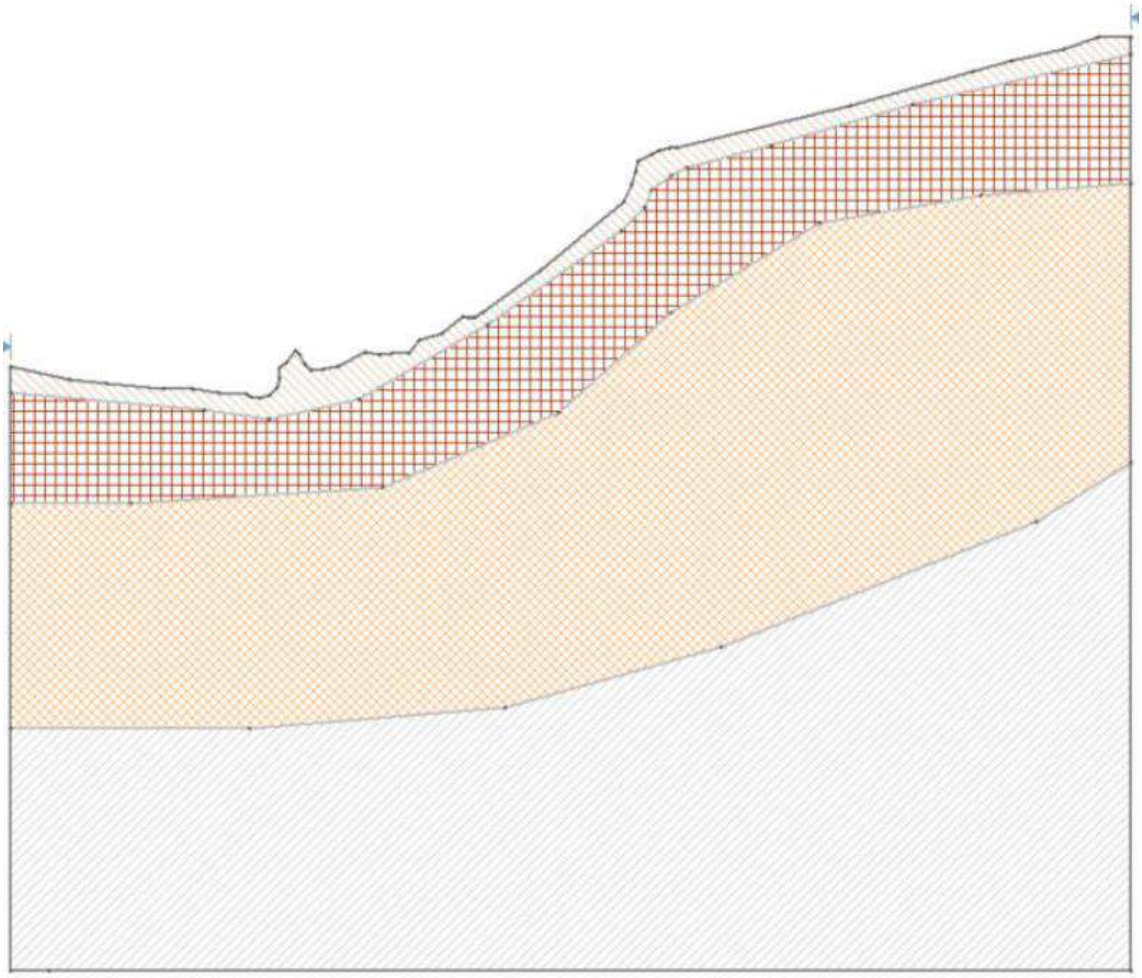


Para analizar la estabilidad del talud se va ha realizado un estudio previo mediante un tanteo con el perfil de un modelo con las coordenadas obtenidas mediante la fotogrametría realizada con un vuelo de dron, se han introducido dichas coordenadas y se ha obtenido el perfil a estudiar.

Se ha planteado la solución llevando a cabo en primer lugar un Back Analysis. Con él se lleva el coeficiente de seguridad a un valor cercano a la unidad, de tal forma que se obtienen los parámetros geotécnicos del terreno en ese estado. Se considera que el valor del coeficiente de seguridad correspondiente al círculo de deslizamiento pésimo es cercano a 1 ya que anteriormente ha ocurrido un deslizamiento.

Se ha realizado un estudio previo con un perfil con las características y propiedades del talud y los estratos del terreno previos al desprendimiento ocurrido, indicados en el Instituto Geológico y Minero de España. Recalcar, que la mejor opción sería la realización de un sondeo para poder definir más concretamente los parámetros geotécnicos. Estas propiedades se toman del ya nombrado Anejo 06, Estudio

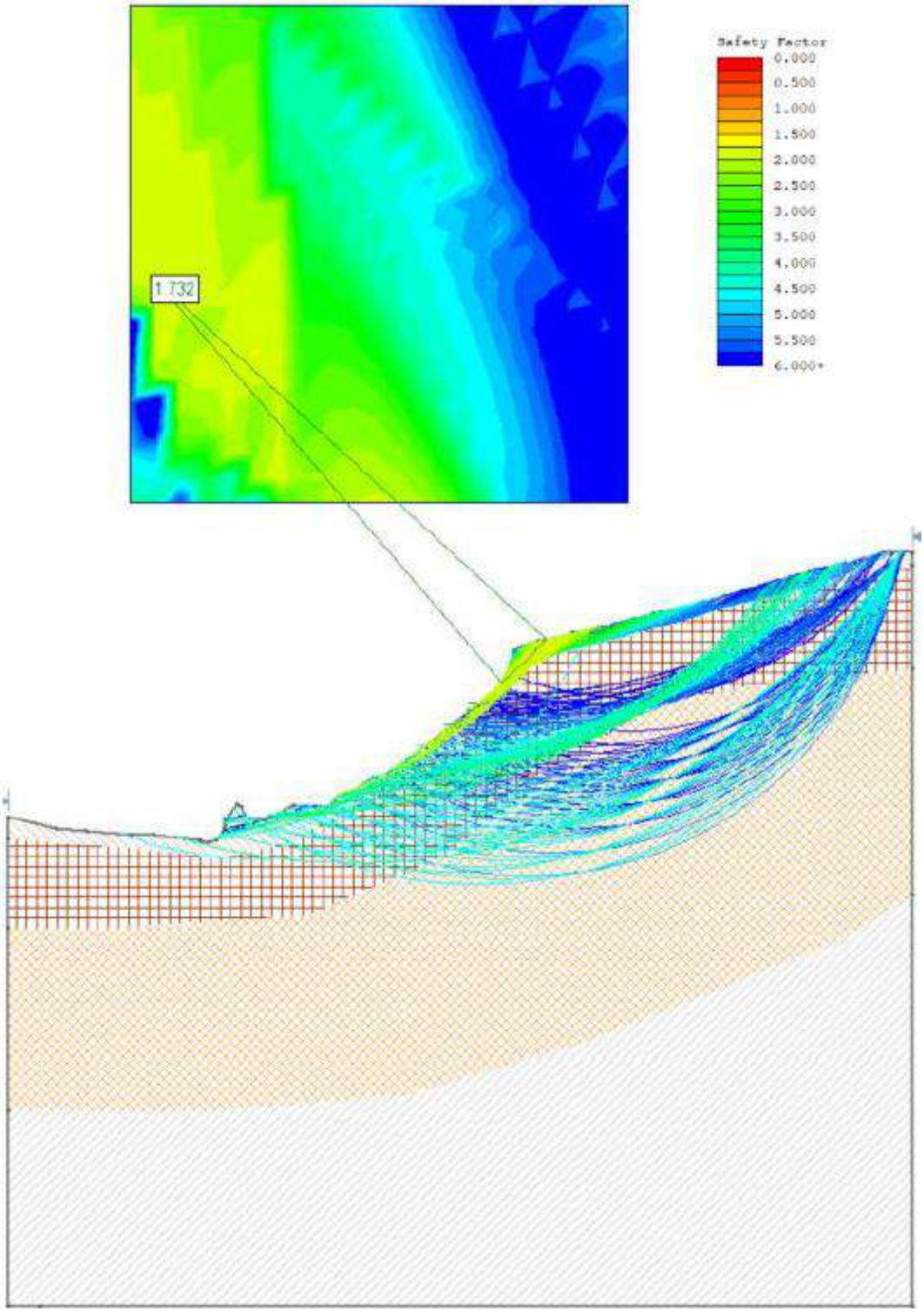
geológico y geotécnico, donde se han realizado unos ensayos para corroborar dichas características.



La siguiente tabla muestra las propiedades de los distintos materiales que completan la geología de la zona:

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface	Ru
UG1		26	Mohr-Coulomb	6000	35	None	0
UG2		22	Mohr-Coulomb	200	28	None	0
UG3		20	Mohr-Coulomb	100	30	None	0
UG4		20	Mohr-Coulomb	10	30	None	0

A continuación, se muestra el mismo perfil analizado con todas las posibles superficies de deslizamiento y el Factor de Seguridad correspondiente a dicha superficie.



Factor de seguridad calculado en todos los posibles casos de deslizamiento del perfil.

Se observa que la superficie crítica obtenida presenta un factor de seguridad de FS=1,962, por lo que, no se identifica una situación de inestabilidad global del talud frente a mecanismos de deslizamiento.

Las superficies de rotura calculadas se desarrollan principalmente en la zona superficial del perfil y no evidencian un mecanismo profundo o generalizado que

comprometa la estabilidad global del conjunto. Por tanto, el comportamiento del talud en este sector puede considerarse aceptable desde el punto de vista del equilibrio límite, no observándose una problemática significativa asociada deslizamientos globales o roturas de gran entidad.

4.3.3.3. ANÁLISIS ZONA 3.

Al igual que en la Zona 2, el análisis se ha dividido en dos subzonas principales, denominadas Zona 3.1 y Zona 3.2, asociadas a los dos extremos del túnel y a los taludes próximos a sus respectivos emboquilles.

La división en subzonas responde a la existencia de condiciones geométricas y geológico-geotécnicas diferenciadas en cada extremo del túnel. En estos sectores, la estabilidad puede verse condicionada por la presencia de afloramientos rocosos fracturados, bloques parcialmente individualizados, discontinuidades abiertas, estratificación desfavorable, pérdida de confinamiento en los emboquilles y desarrollo de cuñas rocosas de gran entidad.

El estudio se ha desarrollado a partir de la inspección de campo y del modelo fotogramétrico obtenido mediante vuelo de dron, que permite disponer de una representación tridimensional de los taludes, emboquilles y afloramientos rocosos. A partir de dicho modelo se han identificado los sectores con mayor susceptibilidad a presentar inestabilidades, se han definido perfiles representativos para análisis mediante equilibrio límite y se han reconocido bloques o cuñas rocosas que requieren una valoración específica.

ZONA 3.1

En esta zona se ha evaluado la estabilidad global del talud y para ello se ha seleccionado un perfil representativo

En la Zona 3.1 el análisis se ha centrado, por un lado, en la comprobación de la estabilidad del emboquille mediante un perfil de cálculo en Slide y, por otro, en la identificación de bloques rocosos potencialmente inestables en los taludes aledaños.



En esta subzona no se ha considerado necesario realizar un análisis de estabilidad global mediante perfil de equilibrio límite, centrando el estudio en la identificación y valoración de bloques rocosos potencialmente inestables.

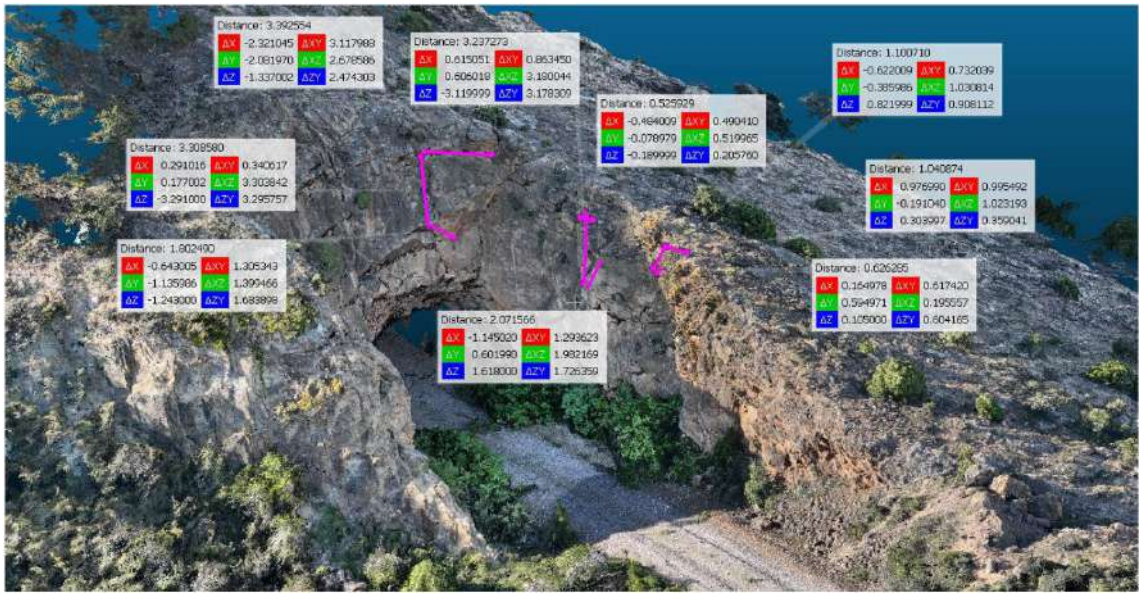
El análisis se ha llevado a cabo a partir del modelo fotogramétrico obtenido mediante vuelo de dron, complementado con las observaciones realizadas en campo. Esta información permite reconocer la geometría de los afloramientos, la disposición de las discontinuidades visibles, la individualización de bloques, el grado de fracturación del macizo, la presencia de juntas abiertas y la posible pérdida de apoyo o confinamiento lateral.

Se han considerado como bloques representativos aquellos elementos rocosos que presentan tamaño decimétrico a métrico, posición sobresaliente respecto a la cara libre del talud, delimitación parcial por juntas o fracturas, apoyo basal irregular, signos de descalce o ubicación en zonas donde una eventual caída pudiera tener afección sobre el entorno inmediato del emboquille o los taludes asociados.

Los mecanismos potenciales de inestabilidad en esta subzona se relacionan principalmente con desprendimientos puntuales, vuelco local de bloques, caída de fragmentos y posibles roturas condicionadas por la intersección de discontinuidades. La valoración de estos mecanismos se realiza de forma cualitativa y geométrica, atendiendo a la disposición de los bloques en el modelo y a las características observadas en los paños rocosos.



Selección de bloques en la zona extrema derecha de la zona 1 de estudio.



Dimensionamiento de bloques en la zona derecha de la zona 1 de estudio.

Los volúmenes indicados son aproximados y se han estimado a partir de las dimensiones medidas sobre el modelo fotogramétrico. Dado que los bloques se encuentran parcialmente embebidos en el macizo, el espesor considerado corresponde a una estimación visual del volumen potencialmente movilizable.

En la siguiente tabla se resumen las características principales de los bloques representativos identificados en la Zona 3.1.

Bloque	Ubicación	Dimensiones aproximadas	Volumen estimado m³	Características observadas	Mecanismo potencial
B-7	Zona 3.1	1,8 × 3,30 ×3,4 m	20,20	Bloque de mayor entidad, situado sobre la zona de emboquille. Presenta contorno parcialmente individualizado, exposición directa hacia la cara libre y posible delimitación por discontinuidades laterales y/o plano posterior. Su posición elevada incrementa la peligrosidad en caso de movilización	Desprendimiento o vuelco local hacia el frente del emboquille
B-8	Zona 3.1	3,3 ×0,60 ×2 m	3,96	Bloque alargado y estrecho, parcialmente individualizado en un paño rocoso vertical o subvertical. Presenta geometría prismática, exposición directa al frente y posible delimitación por juntas laterales	Vuelco local o caída puntual por pérdida de apoyo lateral o apertura progresiva de discontinuidades
B-9	Zona 3.1	1,1 × 1 × 0,63 m	0,69	Fragmento rocoso individualizado de menor tamaño, con contorno definido, situado en zona de ladera con exposición directa hacia el talud.Posible junta abierta perimetral y exposición directa a la cara libre	Caída puntual de fragmento rocoso por meteorización, pérdida de apoyo o degradación de juntas

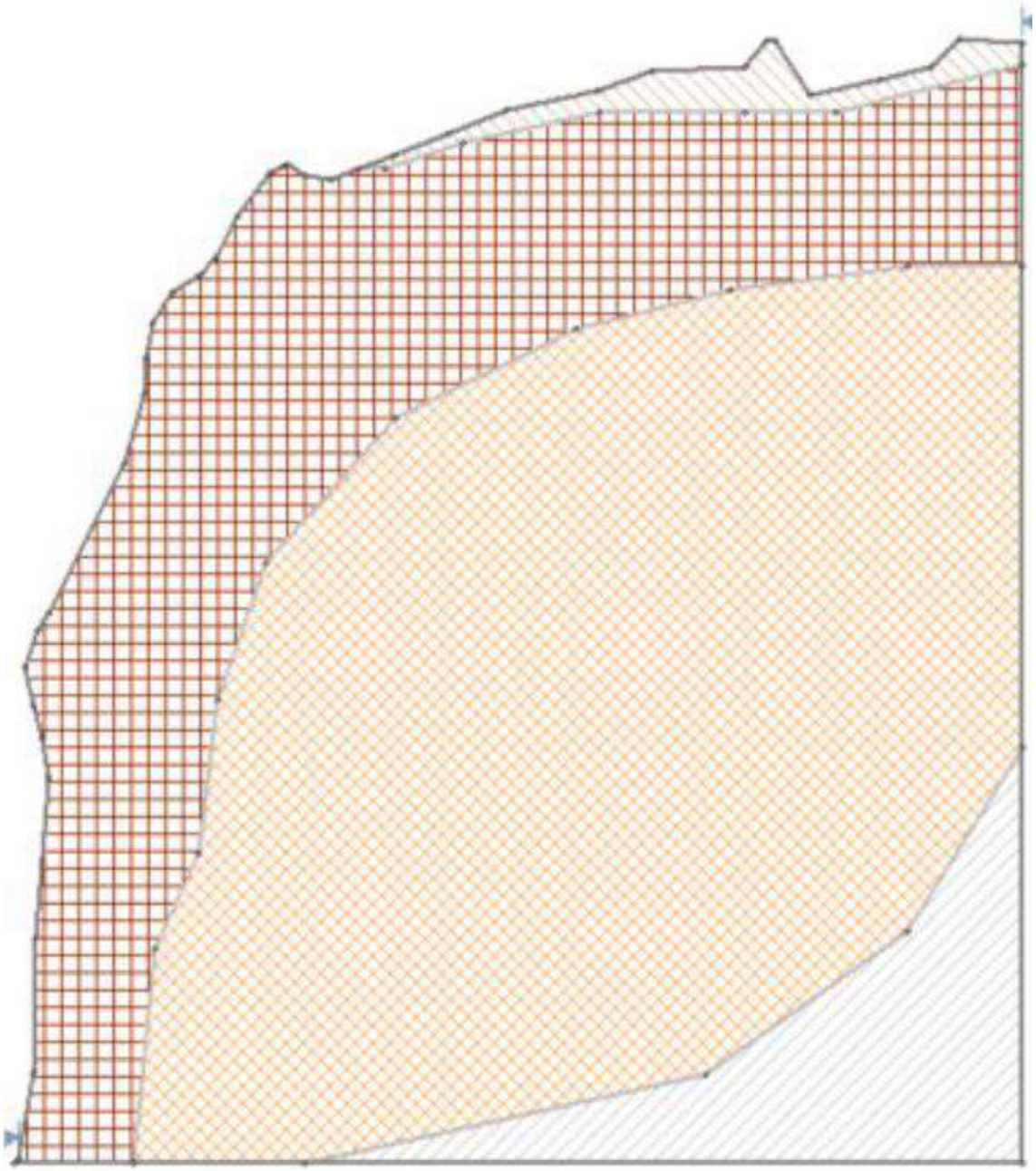
ZONA 3.2

En la Zona 3.2, además del análisis de bloques, se realiza una inspección estratigráfica específica de varias cuñas rocosas de gran entidad localizadas en las proximidades del emboquille, con el objetivo de valorar su disposición estructural y su posible relación con mecanismos de inestabilidad.



En esta zona se evalúa la estabilidad global del talud sobre el emboquille, para ello se ha seleccionado un perfil representativo correspondiente. Se plantea la solución llevando a cabo en primer lugar un Back Analysis. Con él se lleva el coeficiente de seguridad a un valor cercano a la unidad, de tal forma que se obtienen los parámetros geotécnicos del terreno en ese estado. Se considera que el valor del coeficiente de seguridad correspondiente al círculo de deslizamiento pésimo es cercano a 1 ya que anteriormente ha ocurrido un deslizamiento.

Se realiza un estudio previo con un perfil con las características y propiedades del talud y los estratos del terreno previos al desprendimiento ocurrido, indicados en el Instituto Geológico y Minero de España. Estas propiedades se toman del ya nombrado Anejo 06, Estudio geológico y geotécnico, para corroborar dichas características.

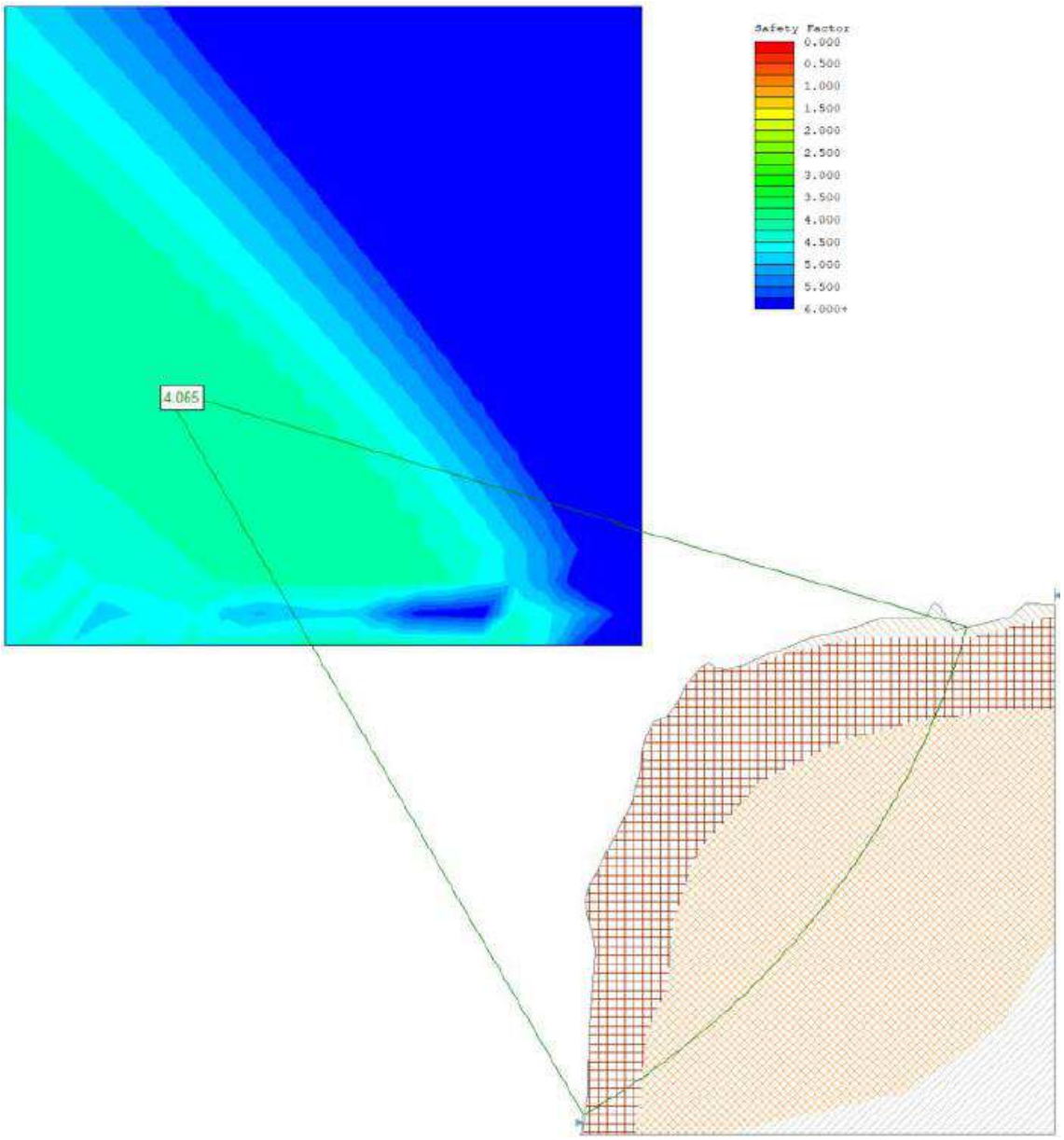


Perfil a estudiar con los estratos del terreno.

La siguiente tabla muestra las propiedades de los distintos materiales que completan la geología de la zona:

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface	Ru
UG1		26	Mohr-Coulomb	6000	35	None	0
UG2		22	Mohr-Coulomb	200	28	None	0
UG3		20	Mohr-Coulomb	100	30	None	0
UG4		20	Mohr-Coulomb	10	30	None	0

A continuación, se muestra el mismo perfil analizado con todas las posibles superficies de deslizamiento y el factor de seguridad correspondiente a dicha superficie.



Factor de seguridad calculado en todos los posibles casos de deslizamiento del perfil.

Se observa que la superficie crítica obtenida presenta un factor de seguridad de FS=4, por lo que, no se identifica una situación de inestabilidad global del talud frente a mecanismos de deslizamiento.

El comportamiento del talud en este sector puede considerarse aceptable desde el punto de vista del equilibrio límite, no observándose una problemática significativa asociada a deslizamientos globales o roturas de gran entidad.

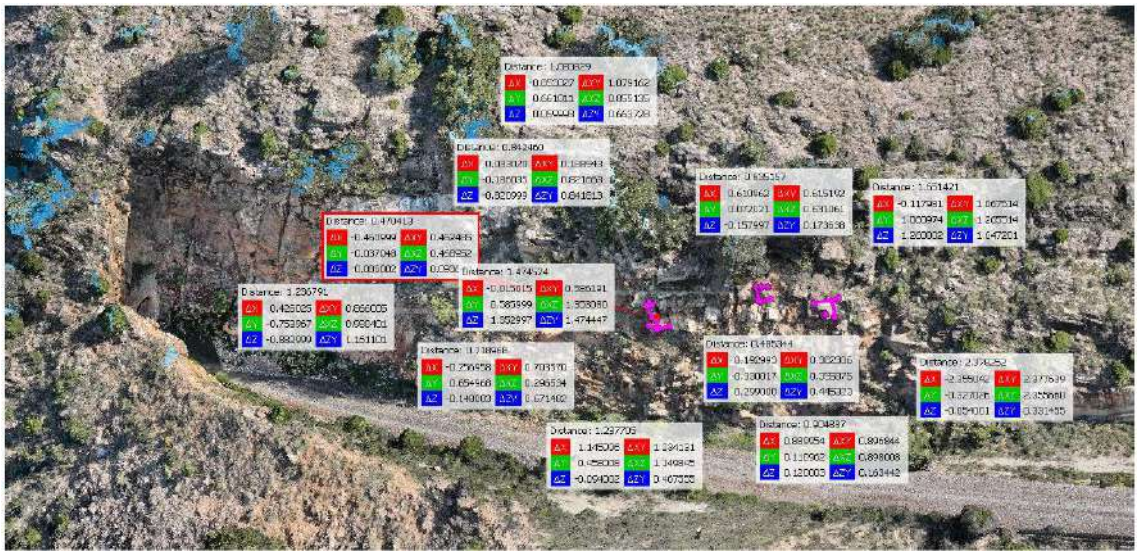
Se han considerado como bloques representativos aquellos elementos rocosos que presentan tamaño decimétrico a métrico, posición sobresaliente respecto a la cara libre del talud, delimitación parcial por juntas o fracturas, apoyo basal irregular, signos

de descalce o ubicación en zonas donde una eventual caída pudiera tener afección sobre el entorno inmediato del emboquille o los taludes asociados.

Los mecanismos potenciales de inestabilidad en esta subzona se relacionan principalmente con desprendimientos puntuales, vuelco local de bloques, caída de fragmentos y posibles roturas condicionadas por la intersección de discontinuidades. La valoración de estos mecanismos se realiza de forma cualitativa y geométrica, atendiendo a la disposición de los bloques en el modelo y a las características observadas en los paños rocosos.



Selección de bloques en la zona 3.2 de estudio.



Dimensionamiento de bloques en la zona 3.2 de estudio.

Los volúmenes indicados son aproximados y se han estimado a partir de las dimensiones medidas sobre el modelo fotogramétrico. Dado que los bloques se encuentran parcialmente embebidos en el macizo, el espesor considerado corresponde a una estimación visual del volumen potencialmente movilizable.

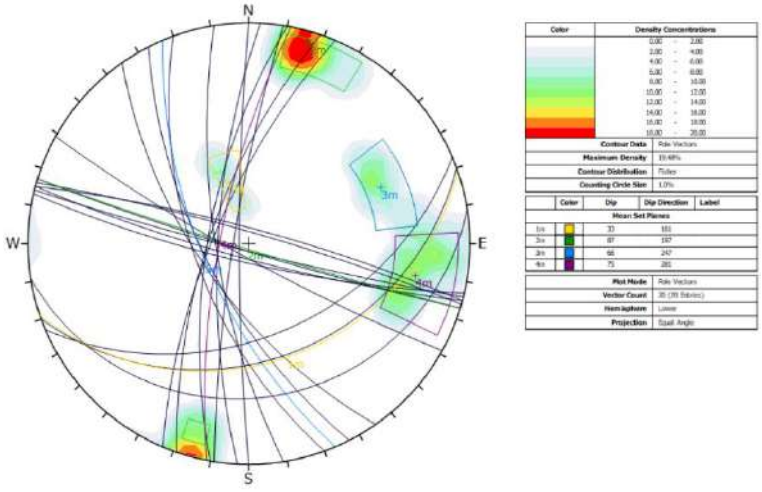
En la siguiente tabla se resumen las características principales de los bloques representativos identificados de la Zona 3.2:

Bloque	Ubicación	Dimensiones aproximadas	Volumen estimado m³	Características observadas	Mecanismo potencial
B-10	Zona 3.2	0,6 × 1,19 × 1,27 m	0,91	Bloque parcialmente individualizado, situado en posición sobresaliente respecto al frente. Presenta contorno definido y posible delimitación por juntas laterales. Se encuentra en un paño rocoso fracturado, con apoyo inferior irregular	Caída puntual o vuelco local por apertura de juntas y pérdida progresiva de apoyo
B-11	Zona 3.2	0,7×0,47 ×1,23 m	0,40	Fragmento rocoso de menor entidad, individualizado entre bloques mayores. Presenta geometría prismática y exposición directa hacia la cara libre del talud	Caída puntual de fragmento por degradación de juntas o pérdida de confinamiento lateral.
B-12	Zona 3.2	1,1 × 0,85 × 1,24 m	1,16	Bloque de geometría irregular, parcialmente delimitado por discontinuidades. Se dispone sobre un banco rocoso fracturado y presenta apoyo basal irregular. Su posición en el frente favorece una posible salida hacia la cara libre	Desprendimiento puntual o vuelco de bloque por descalce inferior y apertura de discontinuidades
B-13	Zona 3.2	1,89 ×1,16 ×0,73 m	1,60	Bloque situado en zona elevada del paño rocoso, con contorno parcialmente definido y exposición directa al frente. Puede estar delimitado por juntas laterales y plano posterior.	Vuelco local o caída de bloque por desconfinamiento progresivo
B-14	Zona 3.2	1,4 ×0,60 ×0,9 m	0,76	Bloque alargado, con geometría prismática y disposición subvertical. Presenta individualización parcial y posible delimitación por discontinuidades laterales	Vuelco local hacia el frente o caída puntual por pérdida de apoyo lateral
B-15	Zona 3.2	2,4 ×1,65 ×0,48 m	3,96	Bloque o paño rocoso de mayor entidad, con geometría tabular y exposición directa hacia la cara libre. Presenta posible delimitación por discontinuidades laterales y apoyo inferior irregular. Por su tamaño y posición, constituye uno de los elementos más relevantes del sector	Desprendimiento de bloque/paño rocoso o vuelco parcial por pérdida de confinamiento y descalce progresivo

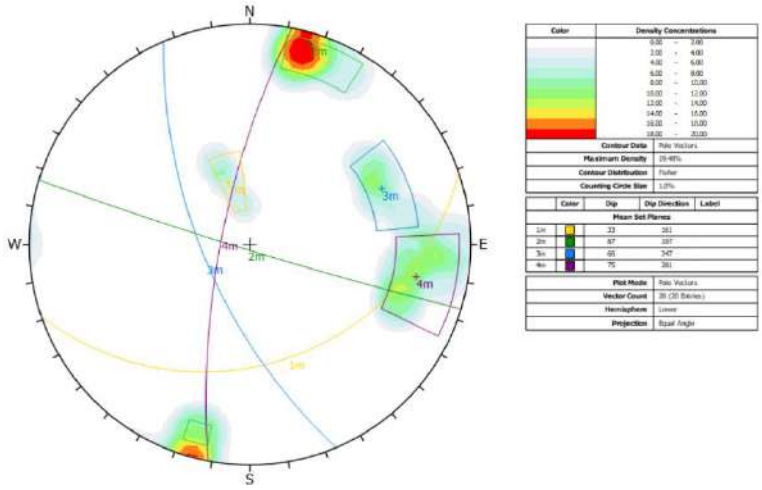
Además, se han analizado las cuñas de gran tamaño ubicadas junto al emboquille del túnel. Para ello se ha utilizado la estratigrafía, y se han analizado los buzamientos, y direcciones de buzamiento de las juntas de las cuñas y del talud sobre el que están.



Con los datos tomados se observan tres familias de discontinuidades generales en el talud. En la imagen 4 se aprecian los planos de las discontinuidades analizadas.



Proyección estereográfica de la zona de estudio 3.2 con todos los puntos de proyección.



Proyección estereográfica de la zona de estudio 1.1.

Donde los valores de los planos de las familias representadas son:

Familia	Dirección de buzamiento	Buzamiento
1m	161	33
3m	247	66
4m	281	75
Talud	197	87

Buzamientos y direcciones de buzamiento de la zona de estudio 3.2.

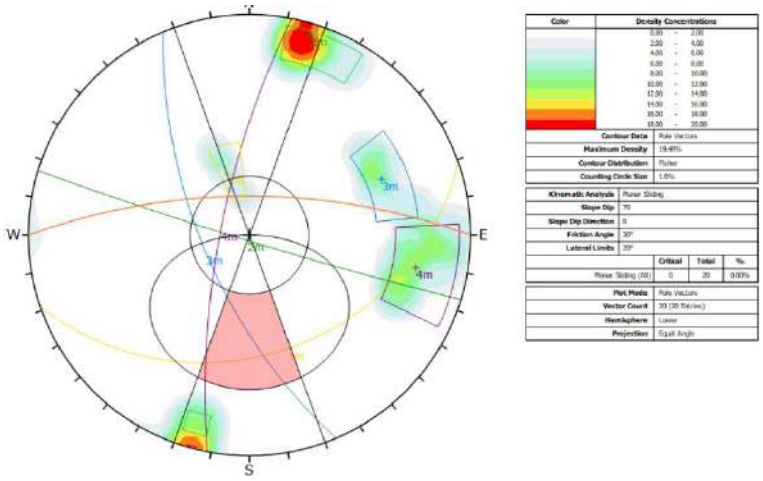
Teniendo en cuenta las relaciones espaciales de las discontinuidades encontradas con el talud se puede distinguir tres tipos de posible inestabilidad.

Rotura planar

En primer lugar, se ha detectado la posibilidad de formación de deslizamientos planares de la zona estudiada. Para que este tipo de deslizamientos tenga lugar se deben cumplir los siguientes condicionantes:

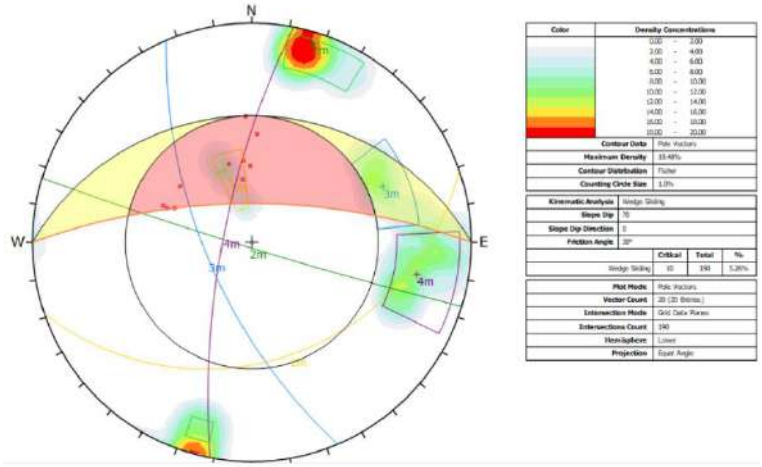
- La dirección de la discontinuidad debe estar a menos de 20º de la dirección de la superficie del talud.
- El buzamiento de la discontinuidad debe ser menor al del talud.
- El buzamiento de la discontinuidad debe ser mayor al de su ángulo de fricción de las fracturas

En la siguiente figura se representa en proyección estereográfica la dirección y buzamiento del talud y las 3 familias.



Rotura en cuña

Otro tipo de inestabilidad detectada en el análisis espacial es la cuña formada por intersección de dos familias de diaclasas. Para que este tipo de deslizamientos se produzcan se debe cumplir que la dirección de la línea de intersección entre las dos juntas sea cercana a la del buzamiento del talud. Además, su buzamiento debe ser menor al del talud y mayor que el ángulo de fricción de las fracturas.



Proyección estereográfica de la zona de estudio 1.1, posible rotura por cuña

En este caso, se evalúa la posibilidad de que se produzca una rotura por cuña en el macizo rocoso. Aunque la probabilidad asociada a este tipo de fallo estructural se considera baja, no puede descartarse por completo debido a las características geomecánicas del entorno.

Rotura por vuelco

El último tipo de deslizamientos son los denominados deslizamientos/roturas por vuelco. Este tipo de desestabilizaciones tienen lugar cuando los rumbos de la familia de juntas implicada y de la superficie del talud son parecidos, no difiriendo más de 20 grados. Además, el sentido del buzamiento de las diaclasas debe ser el contrario al del talud y se tiene que cumplir la siguiente condición:

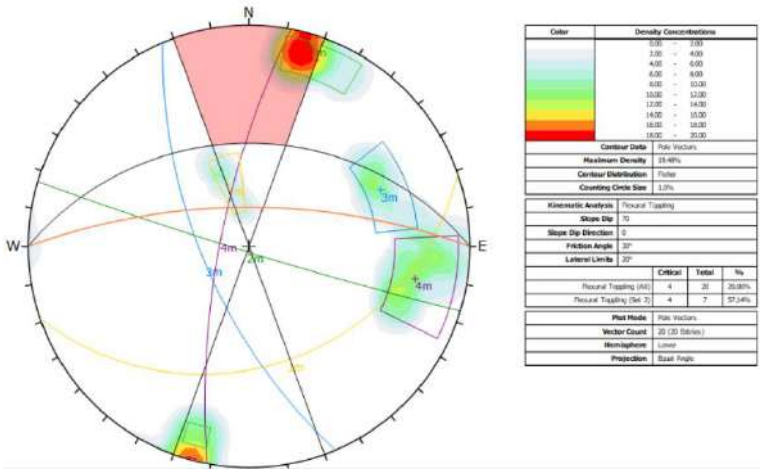
$$(90º- \psi P) \leq (\psi F-\Phi P)$$

Donde,

ψP : Buzamiento de la familia de juntas.

ψF : Buzamiento de la superficie del talud.

ΦP : Ángulo de fricción de las fracturas.



Proyección estereográfica de la zona de estudio 3.2, posible rotura por vuelco.

La primera condición de que los rumbos de las familias implicadas y de la superficie del talud difieren menos de 20 grados no se cumple, pero sí que la última condición de $(90º- \psi P) \leq (\psi F-\Phi P)$ se cumple. En este caso la probabilidad de que dicha rotura por vuelco ocurra es mínima.

4.4. SOLUCIÓN ADOPTADA.

Las soluciones propuestas, tal y como se detalla en el adjunto “Informe de estabilidad de taludes y túneles para la adaptación del proyecto de acondicionamiento del antiguo trazado del FF.CC Santander Mediterráneo como camino natural, Alba (Teruel, Aragón), elaborado por el Doctor Ingeniero de Caminos Canales y puertos Rubén Sancho Gómez-Zurdo, se han definido a partir de los resultados obtenidos en el

análisis de estabilidad, de la inspección de campo y del modelo fotogramétrico generado mediante vuelo de dron. En cada caso se han tenido en cuenta la geometría de los taludes, la naturaleza de los materiales, el grado de fracturación y alteración del macizo, la presencia de bloques o cuñas potencialmente inestables, la existencia de recubrimientos superficiales, los posibles procesos de erosión o lavado de finos y la relación de los taludes con los emboquilles de los túneles.

El criterio general adoptado consiste en diferenciar entre mecanismos de inestabilidad global y mecanismos locales. En aquellos sectores en los que los análisis mediante equilibrio límite no evidencian problemas significativos de deslizamiento global, las actuaciones se han orientado principalmente al control de inestabilidades locales, tales como caída de bloques, vuelco de fragmentos rocosos, desprendimiento de pequeños paños o degradación superficial del frente. Por el contrario, en las zonas donde la estabilidad del conjunto pueda verse condicionada por la geometría del talud, por materiales alterados o por la presencia de superficies de rotura potenciales, se valoran medidas de estabilización más generales.

Las actuaciones consideradas incluyen, según el caso, saneo de bloques inestables, retirada de materiales sueltos, instalación de malla de triple torsión, colocación de redes de cable de acero, colocación de malla volumétrica, bulonado puntual, cunetas de coronación, protección frente a erosión y medidas específicas de estabilización en emboquilles.

A continuación, se detalla, para cada una de las zonas anteriormente definidas, la solución final propuesta.

4.4.1. SOLUCIÓN ZONA 1.

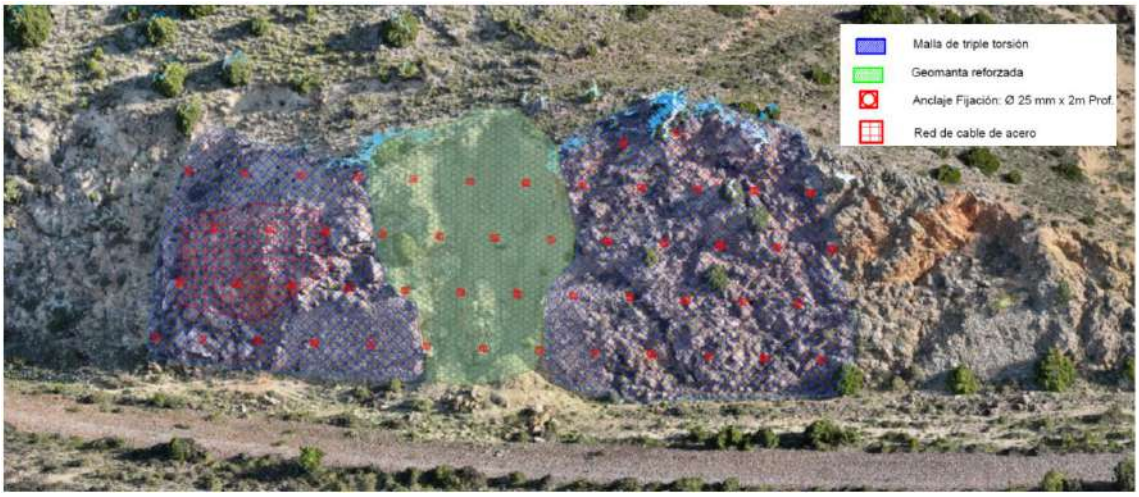
Se propone, en función de la problemática observada, una solución diferenciada. En los extremos izquierdo y derecho predominan los afloramientos rocosos fracturados, con presencia de bloques y fragmentos susceptibles de desprendimiento puntual. En la zona central, por el contrario, se identifica un frente más degradado, asociado al desprendimiento previo existente.

En los extremos del talud se colocará malla de triple torsión, destinada a contener y guiar desprendimientos superficiales de pequeña y mediana entidad. La malla se fijará al macizo mediante bulones de 2,0 m de longitud, dispuestos en una cuadrícula de 5,0×5,0 m. Se dispondrán, además los elementos auxiliares necesarios para garantizar el correcto funcionamiento del sistema, incluyendo cable de coronación, cable perimetral, cable de cosido entre paños, anclajes de borde, solapes y elementos de unión y tensado.

En los bloques y paños rocosos de mayor entidad identificados en el análisis de estabilidad se colocará red de cable de acero, con el objetivo de confinar los elementos localmente inestables y limitar su posible movilización. Esta actuación se aplicará de forma localizada sobre los bloques previamente inventariados, complementándose, en caso necesario, con bulones o anclajes puntuales.

En la zona central del talud se dispondrá geomalla reforzada, orientada al control de la erosión, la retención de material suelto y la protección superficial del frente afectado por el desprendimiento previo. Esta geomalla se fijará al terreno mediante los anclajes y elementos de unión necesarios, adaptándose a la geometría irregular del escarpe.

Previamente a la instalación de cualquiera de los sistemas previstos, se realizará un saneo general del talud, retirando los fragmentos sueltos o claramente inestables.

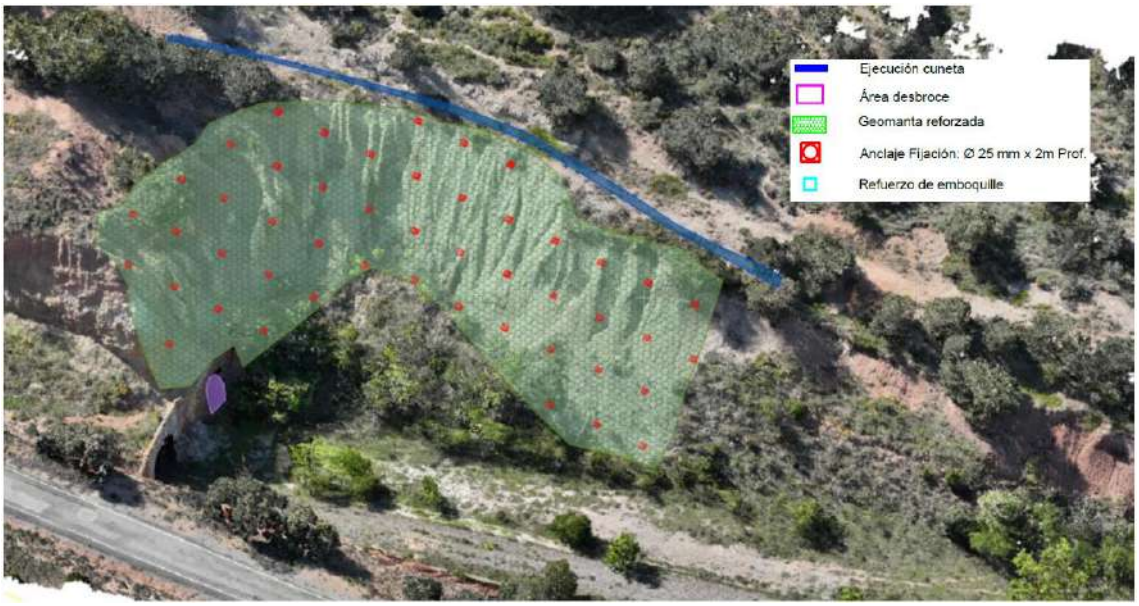


4.4.2. SOLUCIÓN ZONA 2.

En la Zona 2 se propone una solución diferenciada para las subzonas 2.1 y 2.2, en función de las condiciones observadas en cada emboquille y en los taludes asociados.

Zona 2.1.

En la Zona 2.1 se propone geomanta reforzada en los taludes próximos al emboquille, con el objetivo de contener desprendimientos superficiales y evitar la caída libre de fragmentos rocosos o material suelto. La malla se va a fijar mediante bulones de 2,0 m de longitud, dispuestos en una cuadrícula de 5,0×5,0 m.

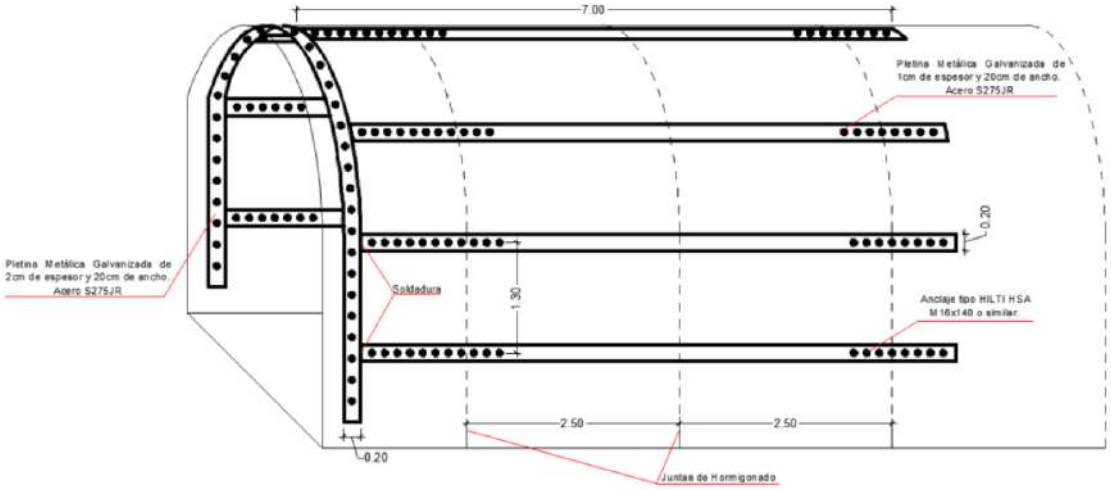


El sistema incorpora los elementos auxiliares necesarios para garantizar su correcto funcionamiento, incluyendo cable de coronación, cable perimetral, cable de cosido entre paños, anclajes de borde, solapes y elementos de unión y tensado. Antes de su

instalación se debe realizar un saneo del frente, retirando bloques sueltos o fragmentos claramente inestables.

Adicionalmente, se prevé el refuerzo del emboquille del túnel mediante pletinas, con el fin de mejorar el confinamiento del frente y asegurar la estabilidad local del entorno inmediato de la boca.

Este refuerzo se dispondrá en las zonas donde el macizo presente mayor fracturación, desconfinamiento o riesgo de desprendimiento localizado. Se proyecta la ejecución de drenes en el túnel para favorecer la evacuación del agua infiltrada, reduciendo las presiones intersticiales y minimizando los empujes hidráulicos sobre el revestimiento.



Zona 2.2.

En la Zona 2.2 se propone, igualmente, geomanta reforzada en los taludes asociados al emboquille, con la misma configuración prevista para la Zona 2.1: bulones de 2,0 m en cuadrícula 5,0×5,0 m, cable de coronación, cable perimetral, cable de cosido, anclajes de borde, solapes y elementos de unión y tensado.

Como actuación complementaria, se proyecta la ejecución de una cuneta en la parte superior o coronación del talud, con el objetivo de recoger y conducir las aguas de escorrentía superficial, evitando que circulen directamente sobre el frente. Esta medida permite reducir procesos de erosión, lavado de finos, degradación superficial y posible pérdida de resistencia en los materiales del talud.



También se debe ejecutar el refuerzo del emboquille del túnel mediante pletinas, destinado a mejorar la estabilidad local del frente y de los paños rocosos próximos a la boca del túnel. Esta actuación se plantea como medida de confinamiento y refuerzo en el entorno inmediato del portal.

Previamente a la ejecución de las soluciones previstas en ambas subzonas, se realiza un saneo general de los frentes y una revisión de los bloques o fragmentos potencialmente inestables, ajustando en obra la disposición final de los elementos de protección y refuerzo.

4.4.3. SOLUCIÓN ZONA 3.

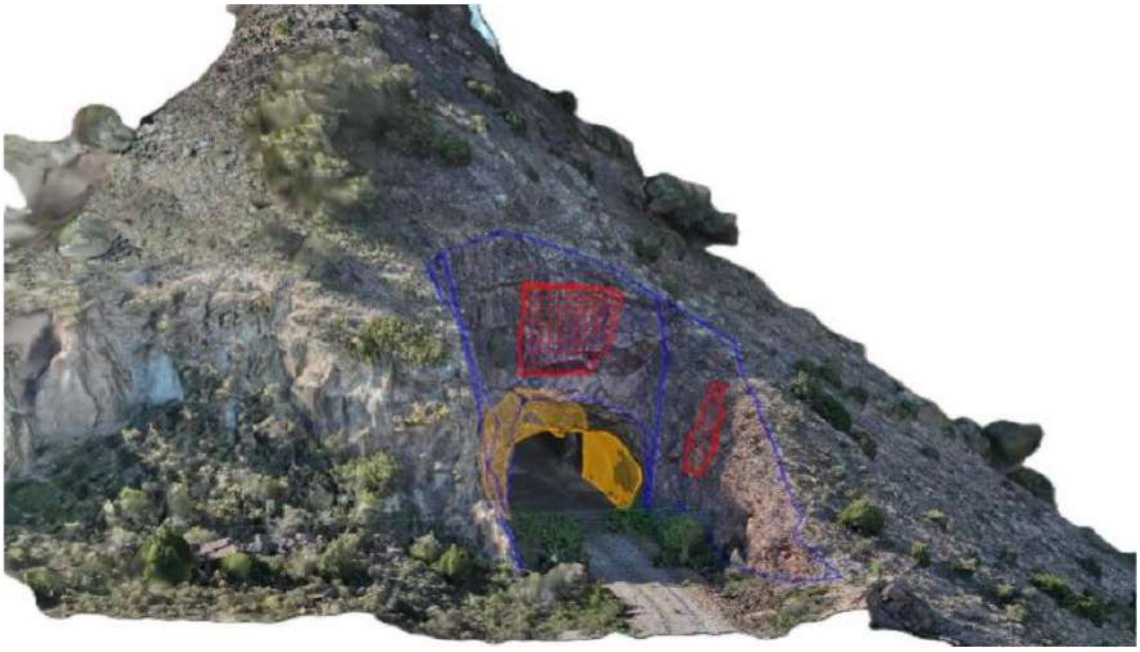
Zona 3.1.

Se colocará malla de triple torsión en los taludes aledaños al emboquille, destinada a contener desprendimientos superficiales y caída de fragmentos rocosos. La malla se fijará al macizo mediante bulones de 2,0 m de longitud, dispuestos en una cuadrícula de 5,0×5,0 m, incorporando cable de coronación, cable perimetral, cable de cosido entre paños, anclajes de borde, solapes y elementos de unión y tensado.

En los bloques rocosos analizados en el estudio de estabilidad se dispondrá red de cable de acero, con el objetivo de confinar los elementos de mayor entidad y limitar su posible movilización. Esta actuación se aplicará de forma localizada sobre los bloques previamente identificados, especialmente en aquellos que presentan posición sobresaliente, apoyo irregular, apertura de discontinuidades o exposición directa hacia la cara libre.

Asimismo, se ejecutarán bulones de cosido en aquellos puntos donde sea necesario mejorar la unión entre bloques o paquetes rocosos y el macizo estable. Estos bulones permitirán reforzar localmente los elementos con mayor grado de individualización o con posible pérdida de confinamiento.

Adicionalmente, dado que el túnel existente se desarrolla en macizo rocoso y presenta zonas con posible fracturación y degradación localizada del contorno, se propone la ejecución de un sostenimiento interior del túnel. Esta actuación tiene como finalidad mejorar el confinamiento del macizo, limitar la caída de lajas o bloques desde la clave y hastiales, y garantizar una mayor seguridad durante la vida útil de la infraestructura. Por lo que se va a colocar red de cable de acero en la cara interior del muro a lo largo de los primeros 18 metros del túnel, adaptada a la geometría de la sección del túnel. Esto va a ir reforzado con la instalación de bulones de acero de Ø 25 mm, colocados en perforación previa e inyectados con resina química.



Zona 3.2.

Se colocará igualmente malla de triple torsión en los taludes y paños rocosos próximos al emboquille, con la misma configuración general prevista: bulones de 2,0 m en cuadrícula 5,0×5,0 m, cable de coronación, cable perimetral, cable de cosido, anclajes de borde, solapes y elementos de unión y tensado.

En los bloques y paños rocosos identificados durante el análisis se dispondrá red de cable de acero, especialmente en aquellos sectores donde se han reconocido elementos de mayor volumen, exposición directa al frente o posible descalce. La red tendrá como finalidad contener y confinar los bloques potencialmente inestables, reduciendo el riesgo de desprendimiento hacia el entorno del emboquille.

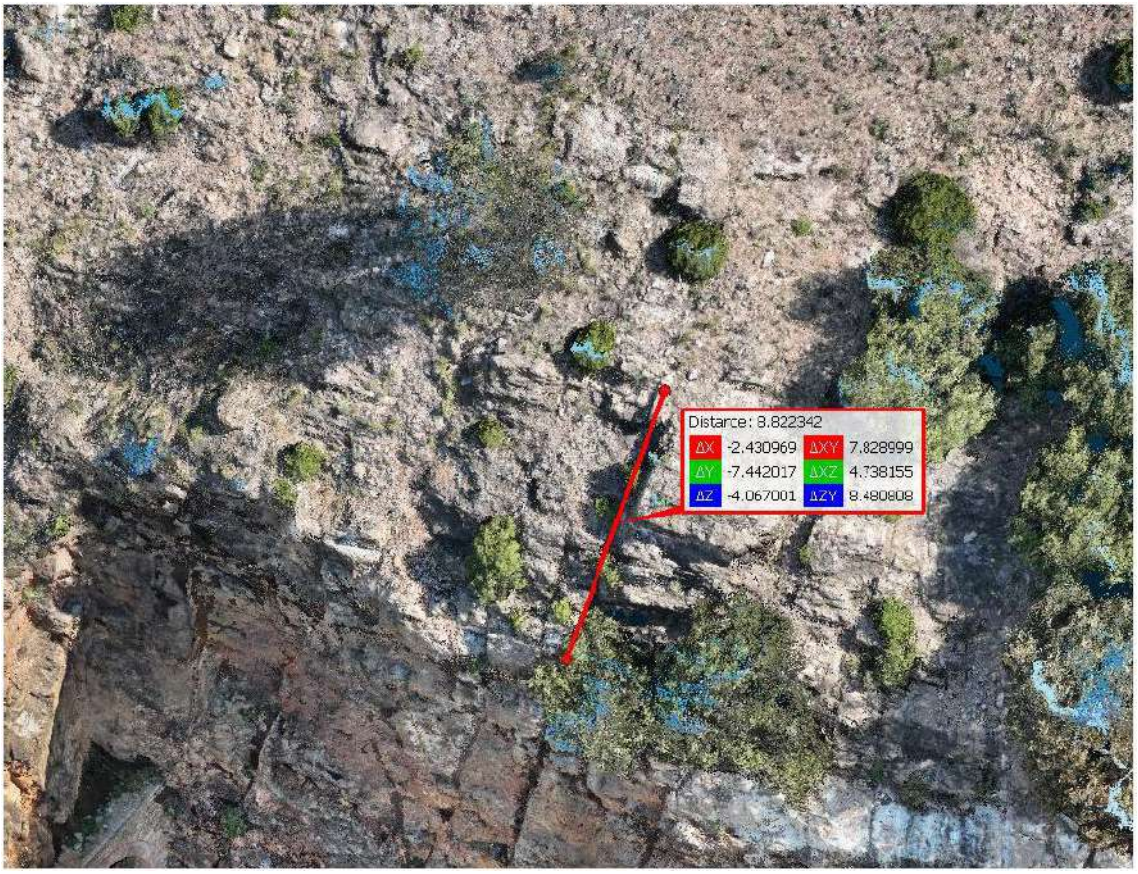
Además, en las grandes cuñas rocosas analizadas junto al emboquille se ejecutarán bulones de cosido, destinados a mejorar la estabilidad de los paquetes estratificados y limitar la apertura o movilización de las discontinuidades que los delimitan. Esta actuación se considera especialmente adecuada en aquellas cuñas donde la disposición de la estratificación y las juntas pueda favorecer mecanismos de vuelco, rotura planar o desprendimiento localizado. Estos bulones van a ir cosidos entre cuñas, y van a ser de 9 metros de profundidad.

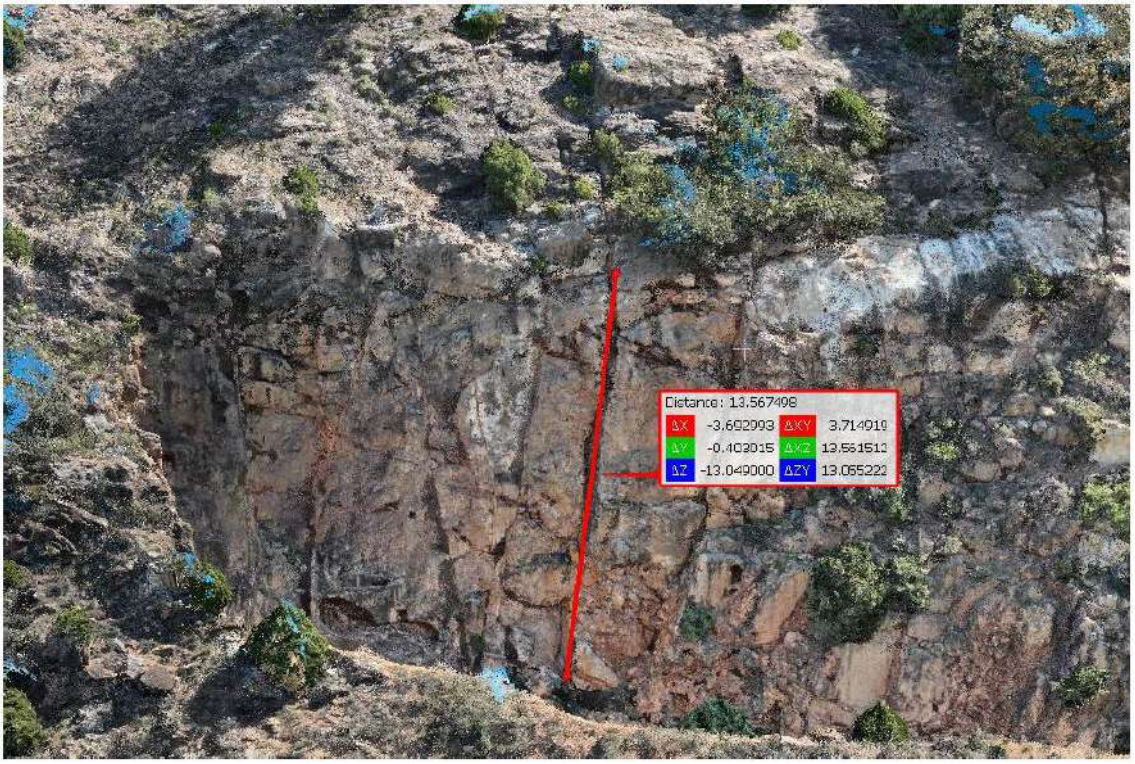
En este caso, como la boca del túnel está forrada con mampostería, se procederá al saneo de las juntas y relleno, así como a la inyección de resina en aquellas fisuras que puedan presentar los mampuestos.

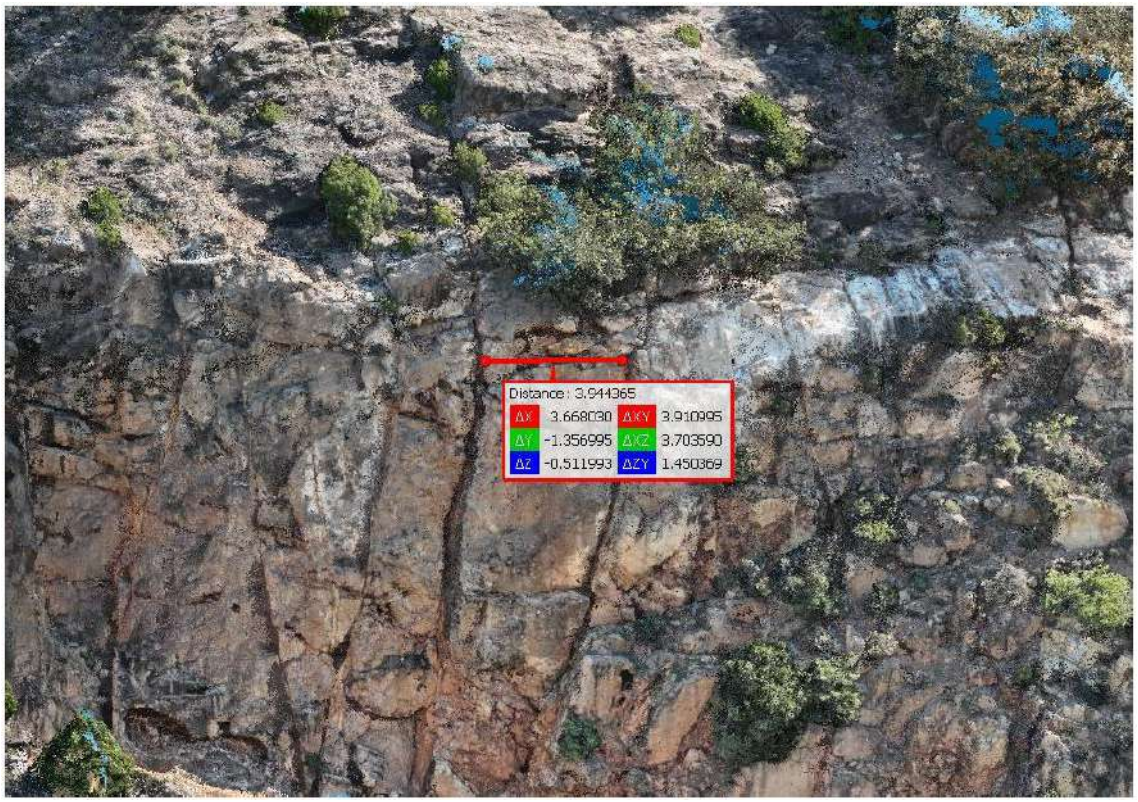


Antes de la instalación de los sistemas previstos se realizará un saneo general de los frentes, retirando bloques sueltos, fragmentos inestables y material degradado. La disposición definitiva de la malla, la red de cable y los bulones de cosido deberá ajustarse en obra a la geometría real del talud, al estado del macizo tras el saneo y a la posición final de los bloques y cuñas a estabilizar.

A continuación, se muestran imágenes de la medición de la cuña de mayor tamaño, en la que se basa el estudio de la colocación de anclajes y el cálculo de los mismos.


Distance: 8.822342
ΔX -2.430969 ΔXY 7.828999
ΔY -7.442017 ΔXZ 4.738155
ΔZ -4.067001 ΔZY 8.480808


Distance: 13.567498
ΔX -3.692993 ΔXY 3.714919
ΔY -0.403015 ΔXZ 13.561511
ΔZ -13.049000 ΔZY 13.055223



4.4.3.1. BULONES DE ANCLAJE.

Para asegurar el comportamiento individual de cada componente de los bulones, se han utilizado las recomendaciones del Ministerio de Fomento (abril 2001) para el diseño de los mismos.

Si bien es cierto que esta Norma está dirigida principalmente a bulones activos (anclajes), al comienzo de la misma hace referencia a anclajes pasivos como aquellos que se les deja con una carga inicial baja (10 % de la de proyecto), adquiriendo esta última por los movimientos de la estructura.

Los bulones pasivos reciben una cierta tensión al ser apretados en su instalación, trabajando posteriormente la adherencia entre la inyección de la longitud útil del mismo y la roca los movimientos de la hipoteca cuña inestable.

Se han realizado los cálculos para los anclajes a colocar en las diferentes zonas estudiadas, haciendo para ello las tres comprobaciones definidas por la “Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno” para esta zona.

Comprobación de la tensión admisible del bulón

Para la comprobación de la tensión admisible del acero del tirante se minorará la tensión admisible en el tirante de forma que se cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

Para anclajes permanentes:

$$PNd / AT \leq fpk / 1,30$$

$$PNd / AT \leq fyk / 1,15$$

Siendo:

- PNd = carga nominal mayorada de cada anclaje.
- AT = sección del tirante.
- fpk = límite de rotura del acero del tirante.
- fyk = límite elástico del acero del tirante.

Para bulones de Ø=32 mm:

- AT =490,873 mm2
- fpk = 550 N/mm2
- fyk = 500 N/mm2

Por lo que:

$$PNd / AT \leq 423,077$$

$$PNd / AT \leq 434,78$$

De esta forma, se obtienen los siguientes valores de carga nominal mayorada de cada anclaje en cuanto a la tensión admisible del acero estas características:

Pnd I=340,26 kN

Pnd II=349,67 kN

Teniendo en cuenta el tipo de terreno y el tamaño del bloque, se ha obtenido la carga nominal mayorada que va a tener que soportar cada anclaje, y se verifica que la comprobación analizada es correcta:

PNd/AT	fpk/1,30
328,257138	423,076923
328,257138	434,782609

Comprobación del arrancamiento del bulbo

Para la comprobación de la seguridad frente al arrancamiento del bulbo se minorará la adherencia límite del terreno que rodea al bulbo del anclaje para obtener la adherencia admisible, aadm. Se comprobará:

$$\frac{P_{nd}}{\pi * D_n * Lb} \leq a_{adm}$$

Siendo:

- Pnd = carga nominal mayorada
- alim = 1 Mpa. Se considera este valor de adherencia límite para poder estar del lado de la seguridad.
- aadm = alim / Fad = 0,7 / 1,65 = 0,606060606 MPa. (adherencia admisible frente al deslizamiento o arrancamiento del terreno que rodea al bulbo).

- Fad = 1,65 factor de minoración de la adherencia para anclajes permanentes.
- Dn = Diámetro del bulbo = 74 mm.
- Lb = 3 m de longitud de bulbo.

Se comprueba que se cumple la comprobación:

PNd /(π . Dn . L b)	aadm
0,378530754	0,60606061

Comprobación al deslizamiento del tirante con la lechada

Para la comprobación de la seguridad frente al deslizamiento del tirante en la lechada, dentro del bulbo se minorará la adherencia límite entre el tirante y la lechada que lo rodea en el bulbo, por el coeficiente 1,2. Se deberá verificar:

$$1)\ \frac{P_{nd}}{L_b * P_t} \leq \frac{\tau_{lim}}{1{,}20}$$

Siendo:

- Pnd = carga nominal de cada anclaje
- Diámetro del tirante: 32 mm.
- Perímetro nominal del tirante.
- Pt = 2 ∗ √π ∗ at = 100,5309 mm.
- τlim = 6.9 ∗ (fck/22,5)^2/3 = 4,02 N/mm2. Siendo fck la resistencia característica de la lechada, siendo en este caso de 10 Mpa.
- Lb = Longitud del bulbo = 3,0 m.

Por lo que, se comprueba que la comprobación es correcta:

PNd / (Lb . pT)	τlim / 1,2
0,875352369	3,34872511

Por lo que, en esta zona, a lo largo de las cuñas, se van a colocar anclajes en una cuadrícula de 1x1m de diámetro de barra de 32 mm y de diámetro de perforación 74 mm y 9 m de profundidad.

Madrid, septiembre de 2026.

Autor del proyecto, Luis Cañada López



Ingeniero Agrónomo

5. INFORME DE ESTRUCTURAS PARA REHABILITACIÓN DEL PUENTE DE ALBA Y DE MUROS DE GAVIONES EXISTENTES, EN EL T. M. DE ALMOHAJA (TERUEL).

INFORME DE ESTRUCTURAS

PARA REHABILITACIÓN DEL PUENTE DE ALBA Y DE MUROS DE GAVIONES EXISTENTES, EN EL T. M. DE ALMOHAJA (TERUEL).

EMPRESA DE TRANSFORMACIÓN AGRARIA, S.A.

Jesús A. Bueno García
Ing. Téc. Industrial de Estructuras
Colegiado nº 5.610

ÍNDICE

INFORME TÉCNICO

1.- OBJETO Y SÍNTESIS DEL CÁLCULO ESTRUCTURAL ..... Pág. 5
2- NORMATIVA DE REFERENCIA ..... Pág. 6
3.- MATERIALES ..... Pág. 6
4.- COEFICIENTES DE MAYORACIÓN Y MINORACIÓN ..... Pág. 6
5.- CARGAS CONSIDERADAS ..... Pág. 7
6.- SÍNTESIS DE RESULTADOS ..... Pág. 7

CONCLUSIÓN

ANEXO: CÁLCULO DE MURO DE HORMIGÓN ARMADO

MEDICIONES Y PRESUPUESTO

FOTOGRAFÍAS ESTADO ACTUAL PUENTE DE ALBA

FOTOGRAFÍAS ESTADO ACTUAL MURO DE GAVIONES

PLANOS

INFORME TÉCNICO

1. OBJETO Y SÍNTESIS DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL

En la actualidad se está evaluando la rehabilitación de los elementos estructurales correspondientes al puente de Alba, que es una estructura de mampostería de principios del siglo XX, y al muro de gaviones existente en un pequeño tramo de línea férrea cercana al puente, obra ésta bastante reciente. En ambos casos los elementos pertenecen a la línea férrea que iba desde minas de Ojos Negros y por la que se transportaba el mineral allí extraído hasta los altos hornos de Sagunto. En el año 1.986 se produjo el cierre de estos altos hornos, lo que llevó al cierre paralelo de las explotaciones de mineral de hierro en las minas de Ojos Negros (Teruel) y Setiles (Guadalajara). A partir de esta fecha la línea férrea cayó en desuso y se produjo un desmantelamiento de traviesas y carriles en una gran parte de su trazado.

Esta línea férrea se quiere aprovechar para camino verde, ya que su trazado se encuentra en general en unas condiciones que se pueden arreglar para el uso peatonal, bien de caminante o bien de ciclismo.

En lo que nos afecta a este informe, se ha revisado el estado actual y su correspondiente adecuación del puente de Alba, al igual que se ha evaluado el estado de un tramo de muro de contención mediante gaviones, así como su sustitución.

1.1 PUENTE DE ALBA.

Por lo que respecta al puente de Alba, obra de fábrica de mampostería de dos arcos iguales, tanto en pilas como en arcos y contrafuertes, se encuentra en un estado de parcial deterioro debido, sobre todo, a los efectos de afección por crecimiento de árboles y arbustos que minan las juntas de los mampuestos y generan empujes adicionales. Evidentemente también los efectos climatológicos implican un deterioro suplementario sobre el que genera la vegetación. Así, se puede observar que hay zonas en las que las juntas se encuentran en estado de pérdida del mortero, con arbustos que salen entre ellas. Igualmente los contrafuertes ofrecen puntos de rotura de juntas por causa de la invasión de la vegetación. Desde el punto de vista estructural propiamente dicho, el puente es del tipo de pilas rectangulares de sección constante en altura, con arcos de directriz circular, con apariencia de tipo carpanel, rebajados en los arranques. Los tímpanos son igualmente de fábrica de mampostería, aunque el interior de éstos no sabemos si se resolvió mediante relleno o mediante fábrica de trabado irregular (consideramos esta posibilidad como más acorde al uso). En la pila central no se disponen ni contrafuertes ni tajamares, coherente con que el barranco que se salva es de muy escaso caudal, casi siempre nulo. El tablero del puente se encuentra actualmente resuelto mediante una modificación, de la que no sabemos fecha, consistente en la disposición de viguetas del tipo T-20 de hormigón pretensado, de 6 m de longitud total, lo que hace que sobresalgan lateralmente 1,00 m por cada lado, separadas en torno a 1,15 m entre ellas, sobre las que se colocaron unas placas alveolares de 12 cm de espesor para formar un paso peatonal a cada lado de la alineación del puente. Sobre estas viguetas se mantiene todo el espesor del balasto. La cimentación del puente, por lo que se puede observar, consiste en el recrecimiento homotético de la mampostería, siendo aparentemente suficiente en su respuesta dado que no se observan asientos diferenciales ni giros parciales de los elementos del puente achacables a un mal comportamiento tensional del terreno. Las medidas del puente se pueden ver en la documentación gráfica, aunque como datos más importantes podemos decir que el ojo

del puente tiene una altura sobre cimentación de 7,49 m a la clave y un ancho de 10,03 m, con un tímpano de 2,10 m de altura mínima; la parte recta de las pilas, a partir de donde arrancan los arcos, es de 4,90 m de altura medido desde la rasante superior de cimentación. La pila central tiene un ancho de 2,53 m y el ancho del puente hasta las aletas es de 4,02 m. La longitud total del puente es de 23,61 m, a lo que hay que añadir las aletas de altura variable, que tienen aproximadamente 45 y 43 m, no siendo simétricas, sino más bien adaptadas a la topografía de cada lado.

En general el aspecto del puente es bastante aceptable, más teniendo en cuenta que no ha tenido trabajos de mantenimiento al menos en los últimos 40 años. Los trabajos para su adecuación a lo que se pretende como aprovechamiento de vía peatonal se pueden considerar, a priori (como hemos dicho desconocemos el estado del relleno entre tímpanos), como de intervención de reparación superficial. Es decir, como primera medida es necesario eliminar toda la vegetación que está afectando, sobre todo, a las aletas y contrafuertes, ya que éstas aún se encuentran en bastante buen estado, pero que si contamos con que los efectos destructivos de la vegetación aumentan con el tiempo, el deterioro y desmoronamiento de partes de la obra de fábrica serán inevitables. Así mismo, se deberá proceder al rejuntado de las llagas y tendeles de la fábrica de mampostería, que se puede hacer con mortero convencional del tipo M-80, de consistencia grasa, penetrando en todo el espesor del mampuesto exterior. Existen mampuestos fisurados que será conveniente reparar mediante inyección local de resina epoxi bicomponente del tipo Sikadur-42 o similar, de alta fluidez para su penetración sobre los elementos dañados. En cuanto al tablero, se deberá eliminar toda la capa de balasto para retirar las viguetas pretensadas y las placas alveolares de los laterales, de forma que se llegue hasta la rasante superior del tímpano; se deberá retirar un espesor del relleno interior entre tímpanos de 15 cm. Así, se dispondrá una losa de hormigón armado de 35 cm de espesor que sobresaldrá 20 cm sobre la rasante lineal superior del tímpano. Esta losa tendrá toda la longitud del puente y se alargará como losa de transición 5 m a cada lado. La anchura de la losa será de 4,02 m, que es el ancho del puente, más 20 cm a cada lado de alero con goterón para evitar en lo posible el chorreo de aguas sobre la propia mampostería. Para la evacuación de agua del tablero de forma natural se considera dar un bombeo a la losa del 2% respecto al centro, que podrá ser tanto circular (más adecuado) como lineal. El armado de esta losa será de doble parrilla de ø12 c/15 cm, armada para cumplir cuantía mínima mecánica, con hormigón de calidad HA-30/F/20/XC4. Si a la vista del desmontaje del tablero actual se considerará la necesidad de modificar o adecuar el cálculo a otros parámetros, se realizará en esa situación correspondiente a la ejecución y dirección de obra. Como protecciones laterales se colocarán barandillas ancladas a la propia losa de hormigón armado.

1.2 MURO DE GAVIONES.

Cercano al puente de Alba se encuentra una zona de vía férrea que dispone como elementos de contención de muros de gaviones. Debido a los empujes existentes los gaviones no han sido suficientemente estables y se ha producido el desmoronamiento en una parte y el giro en otra. Hay que tener en cuenta que la pendiente del terreno sobre la que se asientan es del orden de unos 50º. Estos gaviones son de medidas exteriores de malla de 0,50x0,50x1,10 m, rellenos con grava y piedra de la zona. Las dimensiones totales de los muros son de 86 m de longitud, con 13 m iniciales de muro de dos alturas de gaviones (aproximadamente 1,00 m), 45 m centrales de muro de 3 alturas (aproximadamente 1,50 m) y otros 28 m finales de dos alturas de gaviones (aproximadamente 1,00 m). Como es habitual en esta tipología de elementos, la cimentación es el propio terreno compactado o consolidado.

Como hemos indicado, los empujes del terreno superior han implicado la inestabilidad parcial del muro, de forma que se han producido giros hacia la pendiente y desmoronamiento de algún trozo, aunque en este caso también ha tenido efectos adversos la vegetación interpuesta.

Dadas las circunstancias, consideramos como solución más adecuada la disposición de un nuevo muro de hormigón armado que sustituya a los gaviones existentes. Este muro puede ser prefabricado del tipo bilama (inicialmente así se ha considerado), de 25 cm de espesor, con la geometría que se indica en la documentación gráfica. Para su ejecución se deberá retirar todo el material contenido, tanto de balasto como el subyacente, hasta la rasante inferior de la zapata del nuevo muro, disponiendo para el relleno de zapata y muro un hormigón de calidad HA-30/F/20/XC4. Para eliminar posibles efectos de empujes de agua de infiltración se dejarán unos mechinales de 40 mm de diámetro cada 2,40 m. Una vez que el muro se encuentre en condiciones de servicio se producirá el relleno con material granular que garantice el drenaje.

2. NORMATIVA DE REFERENCIA

La normativa de referencia inicial en este caso es la correspondiente a la existente en la actualidad, aunque en según qué partes podría ser conveniente adaptar la ejecución a los condicionantes propias de obras de rehabilitación. Así consideramos las siguientes normas e instrucciones:

- CTE DB SE “Seguridad estructural”.
- CTE DB SE-AE “Seguridad estructural. Acciones en la edificación”.
- Cod. E. “Código estructural”.
- NCSE-02 "Norma de construcción sismorresistente".

3. MATERIALES

Para los materiales nuevos constituyentes de las reparaciones y de las estructuras nuevas, acordes a la normativa actual, serán los siguientes:

Hormigón en muros, losas y cimientos:	HA-30/F/20/XC4
Acero en armaduras:	B-500S
Acero en pernos de anclaje:	B-500S
Acero en estructura metálica:	S-275JR

4. COEFICIENTES DE MAYORACIÓN Y MINORACIÓN

En general los coeficientes de mayoración de acciones y de minoración de resistencias son los que se indican en la normativa de referencia en la actualidad:

5.1.- Estado Límite de Servicio (ELS)

Para los coeficientes parciales de seguridad, se adoptaran los valores básicos recogidos en la tabla siguiente:

ESTADO LIMITE DE SERVICIO (ELS)			
TIPO DE ACCIÓN		SITUACIONES PERMANENTES Y TRANSITORIAS	
		Favorable	Desfavorable
PERMANENTE		1.00	1.00
PERMANENTE DE VALOR NO CONSTANTE	Pretensado P_1, Armaduras Postesas	0.9	1.1
	Pretensado P_1, Armaduras Pretesas	0.95	1.05
	Pretensado P_2	1.00	1.00
	Otras presolicitaciones	1.00	1.00
	Reológicas	1.00	1.00
	Acción del terreno	1.00	1.00
VARIABLE		0.00	1.00

5.2.-Estado Límite Ultimo (ELU)

Para los coeficientes parciales de seguridad, se adoptarán los valores básicos recogidos en la tabla siguiente:

ESTADOS LIMITES ULTIMOS					
TIPO DE ACCIÓN		SITUACIONES PERMANENTES Y TRANSITORIAS		SITUACIONES ACCIDENTALES	
		Favorable	Desfavorable	Favorable	Desfavorable
PERMANENTE		1.00	1.50	1.00	1.00
PERMANENTE DE VALOR NO CONSTANTE	Pretensado P_1	1.00	1.00	1.00	1.00
	Pretensado P_2	1.00	1.35	1.00	1.00
	Otras presolicitaciones	0.95	1.05	1.00	1.00
	Reológicas	1.00	1.35	1.00	1.00
	Acción del terreno	1.00	1.50	1.00	1.00
VARIABLE		0.00	1.50	0.00	1.00
ACCIDENTAL				1.00	1.00

5. CARGAS CONSIDERADAS

Para el caso del tablero del puente se ha considerado una carga superficial por sobrecarga de uso de 500 kg/m2, pudiendo haber también una concarga por elementos de solado de un máximo de 200 kg/m2. En cualquier caso, dado que el puente se encuentra en unas condiciones bastante aceptables, su capacidad resistente se puede considerar suficiente para el tránsito de camiones semipesados en las fases de retirada de materiales y construcción del nuevo tablero superior de hormigón armado.

En el caso del muro de contención que sustituirá a los de gaviones existentes, se han considerado las cargas propias al caso, según puede verse en el desarrollo que se indica en el punto. Dadas las circunstancias vistas, en las que se puede comprobar in situ que el terreno de asiento de los muros es estable, sin desmoronamientos y dado que el problema más importante de estos muros es la estabilidad al deslizamiento, más que la tensión sobre el terreno, se ha considerado como una obra de muy escasa repercusión, con lo que desde el punto de vista geotécnico no implica riesgos, pudiendo asumir que una tensión máxima de 1,50 kg/cm2 es totalmente asumible.

6. SÍNTESIS DE RESULTADOS

En base a las consideraciones establecidas, los trabajos de reparación del puente pueden ser simplemente de tipo superficial, además de la nueva disposición de la losa de piso de hormigón armado sobre el relleno existente y con transiciones de 5,00 m a cada lado del puente. Todo ello sin olvidar que los elementos de vegetación existentes sobre la zona del puente y sus aletas y contrafuertes deben ser completamente eliminados.

Para el caso de los muros de gaviones, se deberán sustituir éstos por muros de contención de hormigón armado convencional, del tipo prefabricado bilama, aunque pueden ser perfectamente encofrados in situ, que en función de lo que considere la dirección de obra se podrán forrar por el exterior con un aplacado simple de piedra de la zona. Igualmente en este caso los elementos de vegetación que impliquen posible degradación de la estructura nueva deberán ser eliminados.

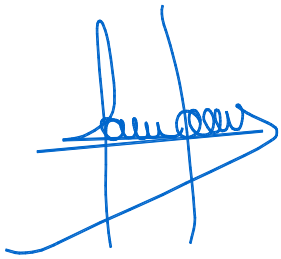
CONCLUSIÓN

CONCLUSIÓN

En base a las consideraciones y observaciones realizadas se han propuesto una serie de reparaciones y sustituciones en las estructuras del puente de Alba y de la zona con muros de gaviones, acordes a las circunstancias de la adecuación de la antigua vía férrea de las minas de Ojos Negros, dentro del término municipal de Almohaja, para transformación a infraestructura lineal de aprovechamiento peatonal con características de acabado acordes a otras zonas ya intervenidas en esta antigua infraestructura ferroviaria. Todo ello adaptado a las normativas e instrucciones vigentes en cuanto a construcción se refiere, aunque abriendo la posibilidad de soluciones que consideren el hecho particular que implica una intervención sobre estructuras realizados a principios del siglo XX.

No obstante todo ello, quedamos abiertos a las consideraciones e hipótesis que pueda hacer otro técnico y a las aclaraciones que se crean necesarias al respecto.

En Zaragoza, a julio de 2026



Fdo.: Jesús Ángel Bueno García
Ing. Téc. Industrial de estructuras
Colegiado nº 5.610

ANEXO: CÁLCULO DE MURO DE HORMIGÓN ARMADO

CÁLCULO MURO DE CONTENCIÓN Y ZAPATA CONTINUA

Para el cálculo del muro de contención y su zapata de cimentación, cuyo modulo de cálculo corresponde con el de un muro en ménsula, se han considerado los siguientes parámetros de cálculo:

Peso propio hormigón armado	25,00	kN/m^3
Peso propio acero	78,50	kN/m^3
Densidad del material contenido.....	20,00	kN/m^3
Ángulo de rozamiento interno.....	Ψ =	30º
Ángulo de inclinación del muro	α =	90º
Ángulo de talud del terreno.....	β =	30º
Ángulo de rozamiento terreno-muro.....	δ =	$2\cdot\Psi/3$
Coeficiente de empuje activo horizontal	λ_v =	0,75
Coeficiente de empuje activo vertical	λ_h =	0,27

Con los datos que se indican, tenemos que los momentos y cortantes máximos en el muro son los siguientes:

* Momento flector máximo de cálculo	28,22	m·kN/m
* Momento flector máximo de servicio	19,84	m·kN/m
* Cortante máximo de cálculo	43,92	kN/m
* Cortante máximo de servicio.....	31,20	kN/m
* Axil máximo de cálculo	142,43	kN/m
* Axil máximo de servicio	103,58	kN/m

Con estos esfuerzos y teniendo en cuenta los armados mínimos establecidos, tenemos que las armaduras dispuestas son las siguientes:

* Armadura vertical prefabricado (ambas caras).....	ø8 c/15 cm
* Armadura horizontal prefabricado (ambas caras).....	ø8 c/15 cm
* Armadura vertical en arranques (ambas caras).....	ø10 c/15 cm (60 cm)
* Armadura horizontal continua cabeza de muro	2ø10

Considerando los esfuerzos máximos de servicio que implica el muro, además del peso de la cimentación, la zapata continua, que se calcula de la tipología de zapata descentrada, resulta de un tamaño de 180 cm de anchura y 40 cm de altura, disponiendo las siguientes armaduras:

* Armadura superior zapata.....	#ø12 c/15 cm
* Armadura inferior zapata.....	#ø12 c/15 cm

MEDICIONES Y PRESUPUESTO

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

SEDC

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
	CAPÍTULO 01 DESBROCE Y RETIRADA DE ELEMENTOS								
01.01	**m3 RETIRADA DE BALASTO**								
	Retirada de balasto ferroviario existente mediante medios mecánicos, incluyendo excavación y carga, acopio temporal o carga directa sobre camión, transporte a zona de almacenamiento o gestor autorizado según indicaciones de la Dirección de Obra, limpieza de la superficie resultante, medios auxiliares, personal, maquinaria, señalización y todas las operaciones necesarias para la correcta ejecución de los trabajos.								
		1	33,61	0,30	0,50	5,04			
		1	86,00	1,30	0,50	55,90			
							60,94	12,00	731,28
01.02	**ud**					**RETIRADA DE LOSAS ALVEOLARES**			
	Desmontaje y retirada de losas prefabricadas de hormigón existentes de 12 cm de canto y 2,30 m de longitud, mediante medios manuales y/o mecánicos adecuados, incluyendo apeos y apuntalamientos provisionales necesarios, corte y liberación de encuentros y uniones, izado, carga sobre camión, transporte interno en obra, acopio temporal o gestión como residuo, así como todos los medios auxiliares, mano de obra, maquinaria y medidas de seguridad necesarias para la correcta ejecución de los trabajos.								
	Losas alveolares	1	32,00	4,00	0,50	64,00			
							64,00	100,00	6.400,00
01.03	**ud**					**RETIRADA DE VIGUETAS PREFABRICADAS**			
	Desmontaje y retirada de viguetas prefabricadas de hormigón existentes de longitud 6 metros, mediante medios manuales y/o mecánicos adecuados, incluyendo apeos y apuntalamientos provisionales necesarios, corte y liberación de encuentros y uniones, izado, carga sobre camión, transporte interno en obra, acopio temporal o gestión como residuo, así como todos los medios auxiliares, mano de obra, maquinaria y medidas de seguridad necesarias para la correcta ejecución de los trabajos.								
		29				29,00			
							29,00	35,00	1.015,00
01.04	**m3 RETIRADA DE TIERRA**								
	Retirada de capa de tierras de relleno existente mediante medios mecánicos, incluyendo excavación y carga, acopio temporal o carga directa sobre camión, transporte a zona de almacenamiento o gestor autorizado según indicaciones de la Dirección de Obra, limpieza de la superficie resultante, medios auxiliares, personal, maquinaria, señalización y todas las operaciones necesarias para la correcta ejecución de los trabajos.								
	Bajo viguetas	1	23,61	4,00	0,15	14,17			
	Zona de transición	2	5,00	4,00	0,35	14,00			
	Zona gaviones	1	86,00	1,30	2,00	245,96	1.1		
							274,13	32,15	8.813,28
01.05	**pa DESBROCE DE CAPA VEGETAL EN TERRENO**								
	Desbroce y limpieza superficial del terreno mediante medios mecánicos y/o manuales, incluyendo la eliminación de hierbas, matorrales, arbustos, vegetación espontánea y restos orgánicos existentes, carga, transporte y gestión de los residuos vegetales en gestor autorizado o lugar de acopio designado. Incluye replanteo, medios auxiliares, mano de obra, maquinaria necesaria y medidas de seguridad y salud, dejando la superficie limpia y preparada para el inicio de los trabajos posteriores.								
	Zona puente	1				1,00			
	Zona gaviones	1				1,00			
							2,00	800,00	1.600,00

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
01.06	**m3 RETIRADA DE MURO DE GAVIONES**								
	Demolición y retirada de muro de gaviones existente, mediante medios mecánicos y/o manuales, incluyendo desmontaje de las mallas metálicas, extracción de la piedra de relleno, demolición de elementos auxiliares asociados, carga sobre camión, transporte de los materiales procedentes de la demolición a gestor autorizado, planta de valorización o vertedero autorizado, canon de vertido, gestión de residuos, limpieza de la zona de actuación y acondicionamiento final del terreno.								
	Incluye todos los medios auxiliares, maquinaria, mano de obra, medidas de protección colectiva e individual, señalización, seguridad y salud, así como cuantas operaciones sean necesarias para la completa ejecución de la unidad de obra.								
		1	13,00	0,50	1,00	6,50			
		1	45,00	0,50	1,50	33,75			
		1	28,00	0,50	1,00	14,00			
							54,25	65,00	3.526,25
	TOTAL CAPÍTULO 01 DESBROCE Y RETIRADA DE ELEMENTOS								**22.085,81**

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
	CAPÍTULO 02 ESTRUCTURA								
02.01	**m3 LOSA DE HORMIGÓN**								
	Losa de hormigón armado, realizada con hormigón HA30/F/20/XC4 fabricado en central, y vertido desde camión, y acero UNE-EN 10080 B 500 S y una cuantia de 80 kg/m3. Incluso ejecución de goterón, alambre de atar, y separadores.								
	Losa	1	23,61	4,40	0,22	22,85			
		1	23,61	4,40	0,15	15,58			
		2	5,00	4,40	0,37	16,28			
							54,71	115,25	6.305,33
02.02	**m3 HORMIGÓN DE LIMPIEZA**								
	Suministro y puesta en obra de hormigón de limpieza HL-150 o de características equivalentes definidas en proyecto, extendido sobre el fondo de excavación de cimentaciones, con espesor mínimo de 10 cm, incluyendo preparación y limpieza previa del terreno, vertido, nivelación, regleado y acabado superficial, así como medios auxiliares, maquinaria, mano de obra, transporte, control de ejecución y medidas de seguridad y salud necesarias para la correcta ejecución de la unidad de obra.								
	La finalidad de esta capa será proporcionar una superficie regular, limpia y adecuada para la colocación de armaduras y ejecución de elementos de cimentación.								
	Hormigón de limpieza	1	86,00	1,80	0,10	15,48			
							15,48	92,83	1.437,01
02.03	**m3 CIMENTACIÓN MURO**								
	Ejecución de zapata corrida de cimentación para muro de contención de tierras, realizada en hormigón armado HA-30/f/20/XC4 (o características definidas en proyecto), incluyendo replanteo, excavación en cualquier tipo de terreno de consistencia media, perfilado y regularización del fondo de excavación, capa de hormigón de limpieza HL-150 de 10 cm de espesor, suministro, colocación y montaje de armaduras de acero B500S, encofrado cuando sea necesario, vertido, vibrado, nivelado y curado del hormigón, así como juntas, pasatubos, medios auxiliares, maquinaria, mano de obra, controles de calidad, gestión de residuos y medidas de seguridad y salud.								
	Incluye todas las operaciones necesarias para la correcta ejecución de la cimentación, totalmente terminada y preparada para la ejecución del muro de contención.								
	zapata corrida	1	86,00	1,80	0,40	61,92			
							61,92	149,55	9.260,14
02.04	**m2 MURO DE H.A.**								
	Suministro y ejecución de muro de contención de tierras formado por elementos prefabricados de hormigón armado, de dimensiones y características definidas en proyecto, incluyendo replanteo, preparación y nivelación de la base de apoyo, suministro y colocación de piezas prefabricadas mediante medios de elevación adecuados, ejecución de juntas, anclajes y conexiones entre elementos, relleno drenante trasdós con material granular seleccionado, colocación de geotextil separador, tubo drenante perforado con sus correspondientes salidas de drenaje, relleno y compactación por tongadas, así como todos los medios auxiliares, maquinaria, mano de obra, transporte, acopios, controles de calidad y medidas de seguridad y salud necesarios para la completa terminación de la unidad de obra.								
	Hormigón prefabricado con resistencia mínima según proyecto y normativa vigente, incluyendo marcado CE de los elementos prefabricados.								
	Muro	1	86,00		1,60	137,60			
							137,60	168,41	23.173,22
02.05	**m3 RELLENO DE MUROS**								
		1	86,00	0,13	1,60	17,89			
							17,89	114,32	2.045,18

SEDC

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
	TOTAL CAPÍTULO 02 ESTRUCTURA								**42.220,88**

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
	CAPÍTULO 03 BARANDILLA								
03.01	**ml BARANDILLA METÁLICA**								
	Suministro y colocación de barandilla metálica de acero de 1,00 m de altura, formada por postes verticales, pasamanos superior y elementos intermedios de protección, ejecutada con perfiles laminados o tubulares de acero, incluso pletinas, anclajes mecánicos o químicos a estructura soporte, soldaduras, repasos, limpieza, imprimación anticorrosiva y acabado con dos manos de pintura de esmalte o sistema equivalente. Totalmente instalada, nivelada, aplomada y terminada, conforme a la normativa vigente.								
	Barandilla	2	33,61			67,22			
							67,22	160,00	10.755,20
	TOTAL CAPÍTULO 03 BARANDILLA								**10.755,20**
	TOTAL								**75.061,89**

RESUMEN DE PRESUPUESTO

SEDC

CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
01	DESBROCE Y RETIRADA DE ELEMENTOS	22.085,81	29,42
02	ESTRUCTURA	42.220,88	56,25
03	BARANDILLA.....	10.755,20	14,33
	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	**75.061,89**	
	13,00 % Gastos generales..... 9.758,05		
	6,00 % Beneficio industrial..... 4.503,71		
	SUMA DE G.G. y B.I.	14.261,76	
	21,00 % I.V.A.	18.757,97	
	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	**108.081,62**	
	TOTAL PRESUPUESTO GENERAL	**108.081,62**	

Asciende el presupuesto a la expresada cantidad de CIENTO OCHO MIL OCHENTA Y UN EUROS con SESENTA Y DOS CÉNTIMOS

Zaragoza, a Julio 2026.

El promotor **La dirección facultativa**

FOTOGRAFÍAS ESTADO ACTUAL PUENTE DE ALBA


492517mN
60.46±4.0 m
-16 m
2-2026 11:35
Powered by













FOTOGRAFÍAS ESTADO ACTUAL MURO DE GAVIONES

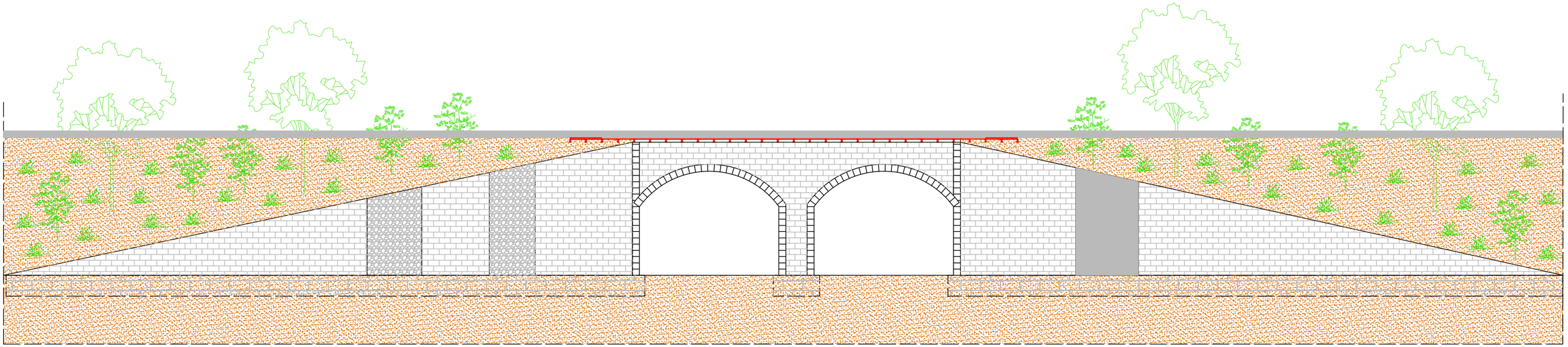




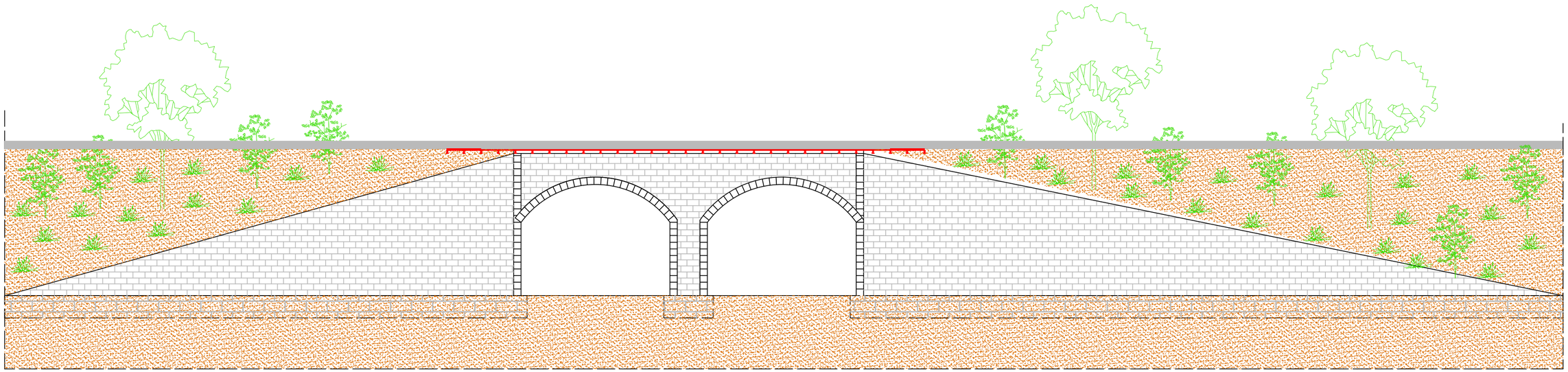


PLANOS

ALZADO 1

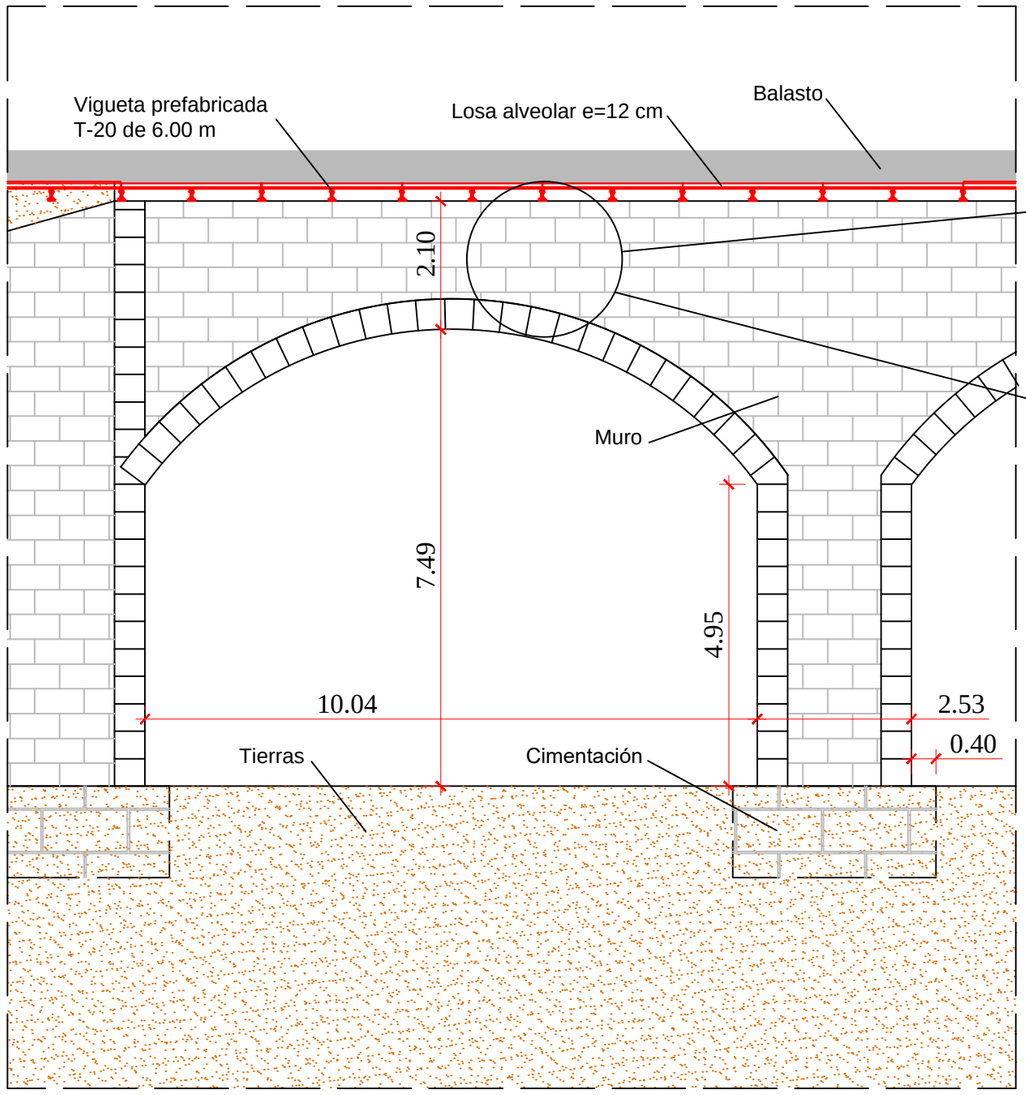


ALZADO 2



Nota: ver cuadro de materiales en plano 7

PROPIETARIO: EMPRESA DE TRANSFORMACIÓN AGRARIA, S.A. EMPLAZAMIENTO: TÉRMINO MUNICIPAL DE ALMOHAJA	TÍTULO DEL PROYECTO **INFORME DE ESTRUCTURAS PARA REHABILITACIÓN DEL PUENTE DE ALBA Y MUROS DE GAVIONES**	AUTOR DEL PROYECTO Jesús Angel Bueno García I.T. Industrial Estructuras Col. nº 5.610	TÍTULO DEL PLANO **ESTADO ACTUAL PUENTE. ALZADOS.**	FECHA **JULIO 2026**	ESCALA **1/50** No. PLANO **1.rev1**



Perdida de aglutinante en el rejuntado



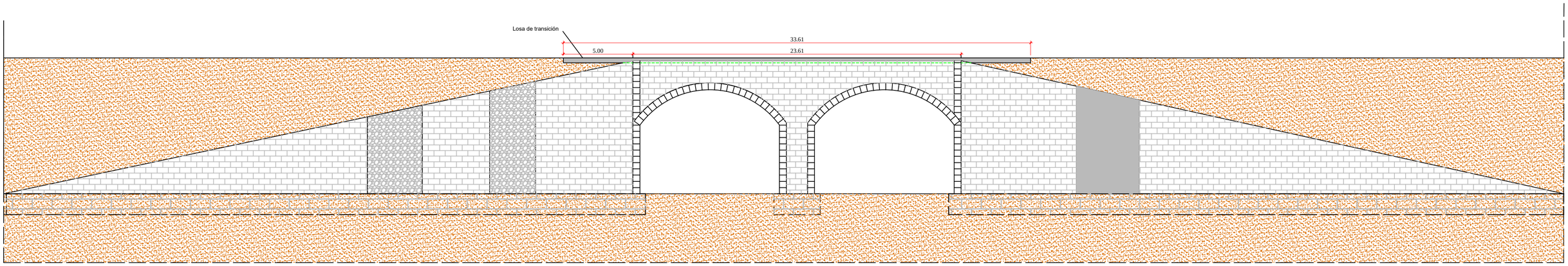
Presencia de vegetación en juntas



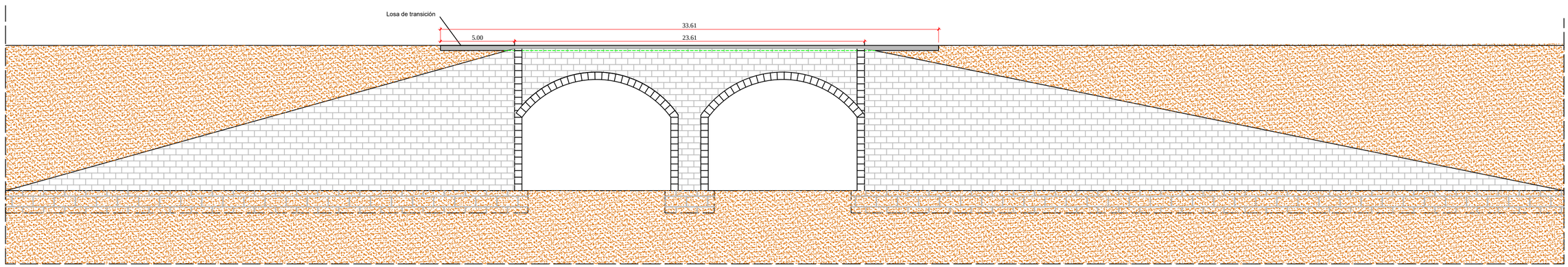
Nota: ver cuadro de materiales en plano 7

PROPIETARIO: EMPRESA DE TRANSFORMACIÓN AGRARIA, S.A. EMPLAZAMIENTO: TÉRMINO MUNICIPAL DE ALMOHAJA	TÍTULO DEL PROYECTO **INFORME DE ESTRUCTURAS PARA REHABILITACIÓN DEL PUENTE DE ALBA Y MUROS DE GAVIONES**	AUTOR DEL PROYECTO Jesús Angel Bueno García I.T. Industrial Estructuras Col. nº 5.610	TÍTULO DEL PLANO **ESTADO ACTUAL PUENTE. COTAS**	FECHA **JULIO 2026**	ESCALA **1/100** No. PLANO **2.rev1**

Estado reformado



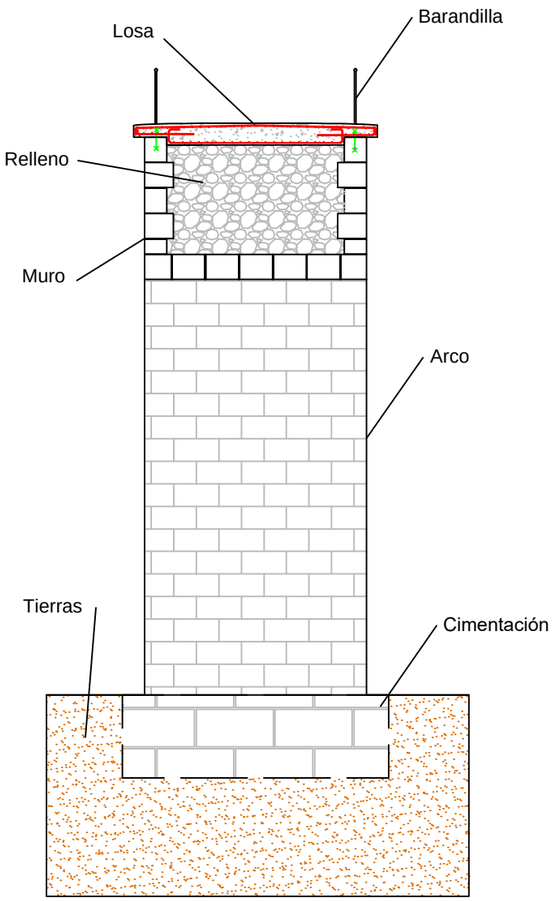
ALZADO 2



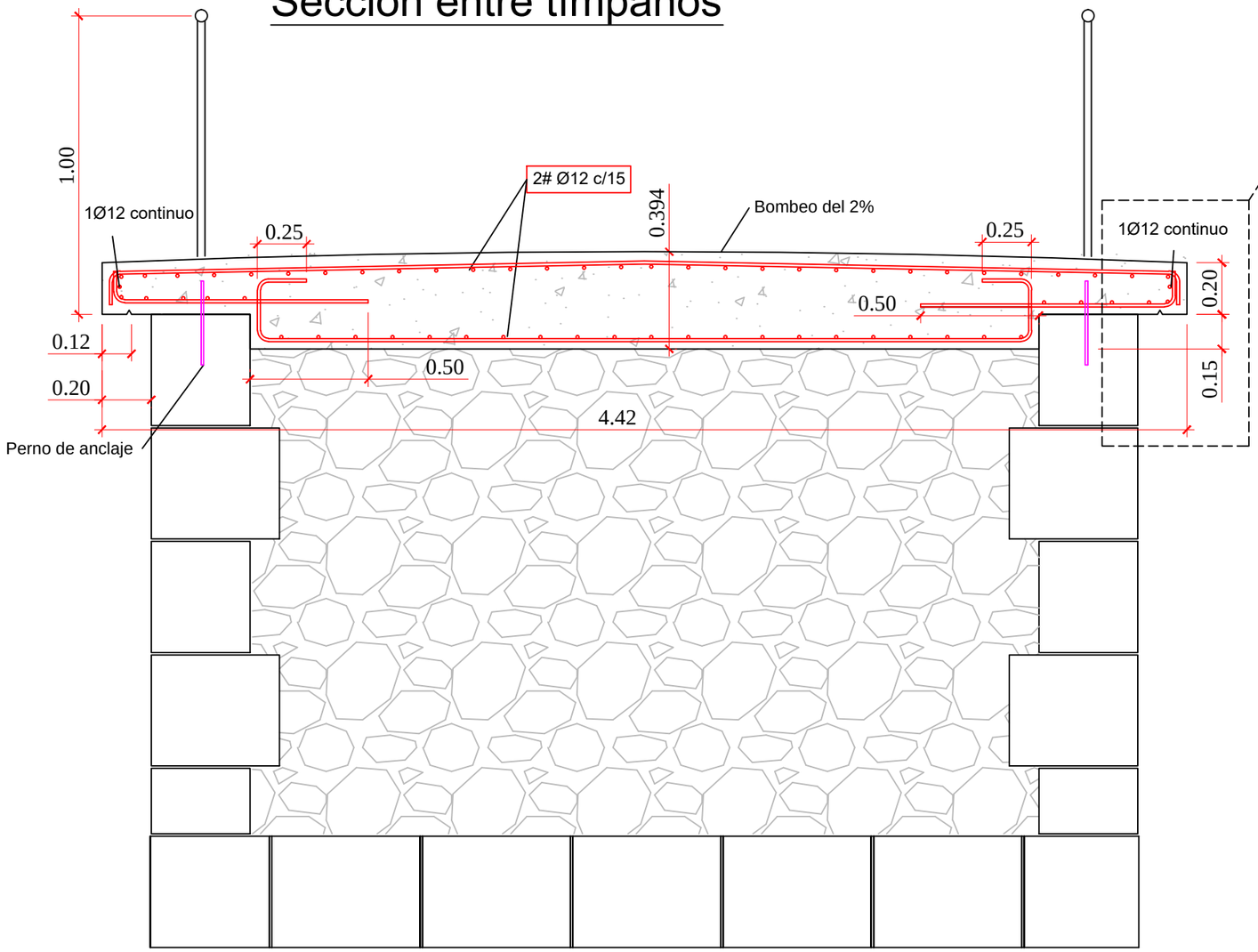
Nota: ver cuadro de materiales en plano 7

PROPIETARIO: EMPRESA DE TRANSFOMACIÓN AGRARIA, S.A. EMPLAZAMIENTO: TÉRMINO MUNICIPAL DE ALMOHAJA	TÍTULO DEL PROYECTO **INFORME DE ESTRUCTURAS PARA REHABILITACIÓN DEL PUENTE DE ALBA Y MUROS DE GAVIONES**	AUTOR DEL PROYECTO Jesús Angel Bueno García I.T. Industrial Estructuras Col. nº 5.610	TÍTULO DEL PLANO **ESTADO REFORMADO PUENTE. ALZADOS.**	FECHA **JULIO 2026**	ESCALA **1/50** No. PLANO **3.rev1**

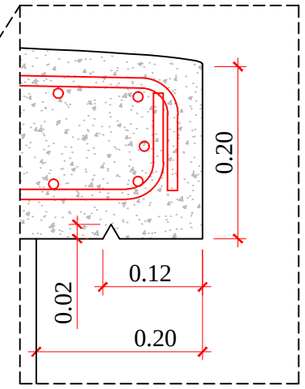
Sección por la pila



Sección entre tímpanos



Detalle vuelo losa

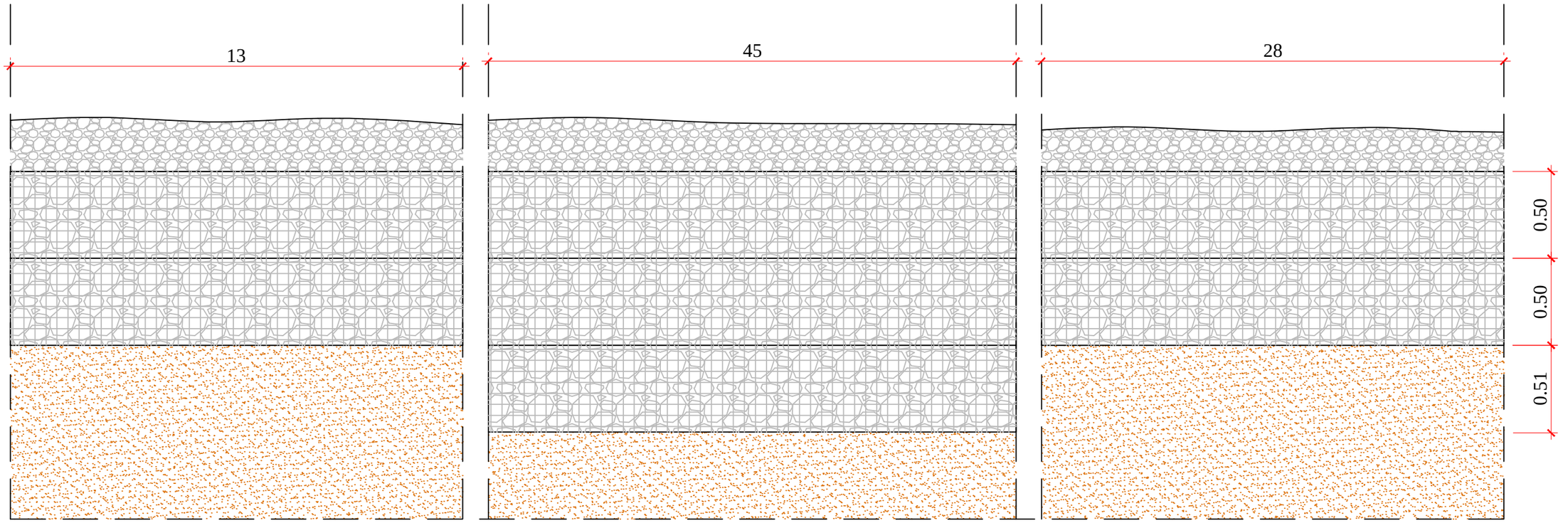


NOTAS:
Hormigón in situ: HA-30/F/20/XC4
Anclajes: 1 perno de Ø10 cada 30 cm (20+15+15P)

Nota: ver cuadro de materiales en plano 7

PROPIETARIO: TRAGSA EMPLAZAMIENTO: TERMINO MUNICIPAL DE ALMOHA	TÍTULO DEL PROYECTO **INFORME DE ESTRUCTURAS PARA REHABILITACIÓN DEL PUENTE DE ALBA Y MUROS DE GAVIONES**	AUTOR DEL PROYECTO Jesús Angel Bueno García I.T. Industrial Estructuras Col. nº 5.610	TÍTULO DEL PLANO **ESTADO REFORMADO PUENTE. SECCIONES.**	FECHA **JULIO 2026**	ESCALA **VARIAS** No. PLANO **4.rev1**

Muro de Gaviones



Zona de 2 alturas

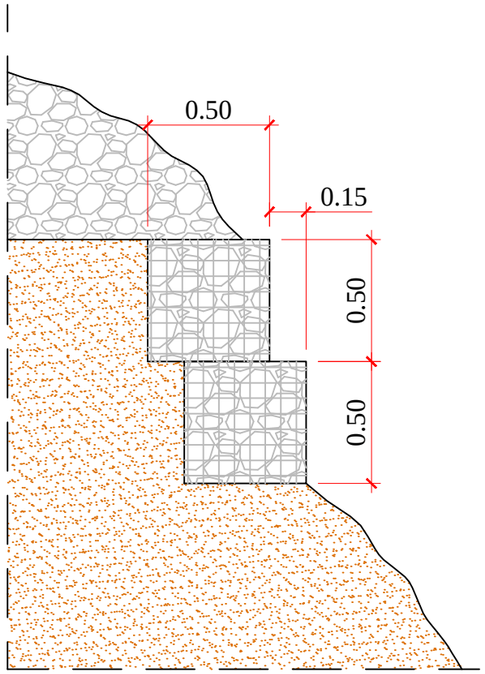
Zona de 3 alturas

Zona de 2 alturas

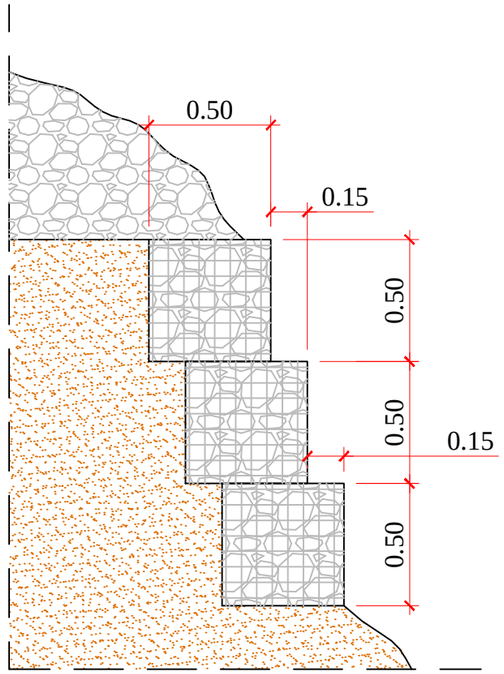
Nota: ver cuadro de materiales en plano 7

PROPIETARIO: EMPRESA DE TRANSFORMACIÓN AGRARIA, S.A. EMPLAZAMIENTO: TÉRMINO MUNICIPAL DE ALMOHAJA	TÍTULO DEL PROYECTO **INFORME DE ESTRUCTURAS PARA REHABILITACIÓN DEL PUENTE DE ALBA Y MUROS DE GAVIONES**	AUTOR DEL PROYECTO Jesús Angel Bueno García I.T. Industrial Estructuras Col. nº 5.610	TÍTULO DEL PLANO **ESTADO ACTUAL MURO DE GAVIONES. ALZADO.**	FECHA **JULIO 2026**	ESCALA **1/400** No. PLANO **5.rev1**

Muro de Gaviones tramo de 2 líneas



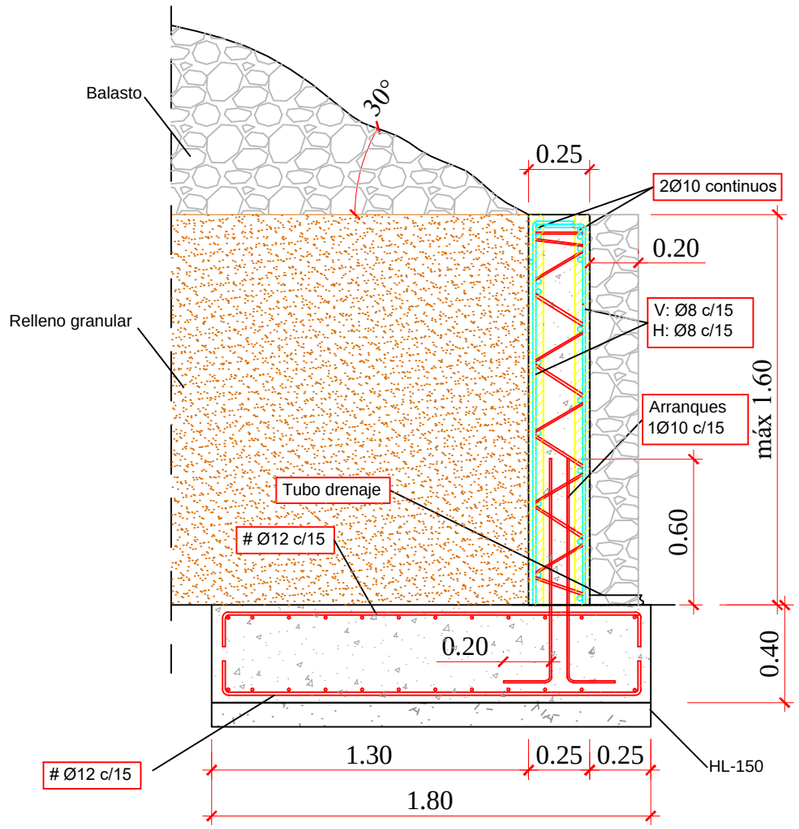
Muro de Gaviones tramo de 3 líneas



Nota: ver cuadro de materiales en plano 7

PROPIETARIO: EMPRESA DE TRANSFORMACIÓN AGRARIA, S.A. EMPLAZAMIENTO: TÉRMINO MUNICIPAL DE ALMOHAJA	TÍTULO DEL PROYECTO **INFORME DE ESTRUCTURAS PARA REHABILITACIÓN DEL PUENTE DE ALBA Y MUROS DE GAVIONES**	AUTOR DEL PROYECTO Jesús Angel Bueno García I.T. Industrial Estructuras Col. nº 5.610	TÍTULO DEL PLANO **ESTADO ACTUAL MURO DE GAVIONES. SECCIONES.**	FECHA **JULIO 2026**	ESCALA **1/400** No. PLANO **6.rev1**

Muro prefabricado h=1,60m máx.



Hormigón in situ: HA-30/F/20/XC4

Hormigón prefabricado: HA-30/F/20/XC4

*Nota: Si el muro se hace totalmente in situ, la armadura horizontal se deberá incrementar en un 60% (Ø8c/12,5).

- Colocación de tubos de drenaje de Ø40 mm cada 2,40 m.

CUADRO DE CARACTERÍSTICAS SEGÚN C.E

	HORMIGÓN									ACERO						
ELEMENTO ESTRUCTURAL	TIPO	N/mm2	CONSISTENCIA	T. MÁX. ÁRID	CLASE AMBIENTE	γ_c	CONTROL	RECUBRIMIENTO (mm)	RELACIÓN a/c	CEMENTO MÍN. (kg)	TIPO	γ_s	CONTROL	TIPO	γ_s	CONTROL	CONTROL DE EJECUCIÓN
CIMENTACIÓN	HA-30	/ F /	20	/ XC4	1,50	N	50	0,55	300	B-500S	1,15	N				
MUROS	HA-30	/ F /	20	/ XC4	1,50	N	50	0,55	300	B-500S	1,15	N				
LOSAS	HA-30	/ F /	20	/ XC4	1,50	N	50	0,55	300	B-500S	1,15	N				

- RECUBRIMIENTOS SEGÚN ART. 37.2.4

COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD PARA LAS ACCIONES

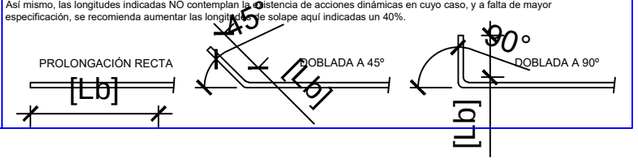
TIPO DE ACCIÓN		E.L.U.				E.L.S.	
		SITUACIÓN PERSISTENTE O TRANSITORIA		SITUACIÓN ACCIDENTAL			
		FAVORABLE	DESFAVORABLE	FAVORABLE	DESFAVORABLE	FAVORABLE	DESFAVORABLE
PERMANENTE		γ_G= 1,00	γ_G= 1,35	γ_G= 1,00	γ_G= 1,00	γ_G= 1,00	γ_G= 1,00
PRETENSADO	PRETEN.	γ_P= 1,00	γ_P= 1,00	γ_P= 1,00	γ_P= 1,00	γ_P= 0,95	γ_P= 1,05
	POSTEN.					γ_P= 0,90	γ_P= 1,10
PERMANENTE NO CTE.		γ_G= 1,00	γ_G= 1,50	γ_G= 1,00	γ_G= 1,00	γ_G= 1,00	γ_G= 1,00
VARIABLE		γ_Q= 0,00	γ_Q= 1,50	γ_Q= 0,00	γ_Q= 1,00	γ_Q= 0,00	γ_Q= 1,00
ACCIDENTAL				γ_A= 1,00	γ_A= 1,00		

ANCLAJES

ACERO Y DIÁMETRO ARMADURA	LONGITUD DE ANCLAJE [Lb]			
B-500-S	BARRA RECTA POSICIÓN I*	BARRA RECTA POSICIÓN II*	BARRA DOBLADA A 45°	BARRA DOBLADA A 90°
Ø8	20 cm	29 cm	20 cm	15 cm
Ø10	25 cm	36 cm	20 cm	15 cm
Ø12	30 cm	43 cm	25 cm	20 cm
Ø16	40 cm	58 cm	35 cm	25 cm
Ø20	60 cm	84 cm	50 cm	40 cm
Ø25	94 cm	132 cm	75 cm	60 cm

* POSICIÓN I: Mitad inferior de la sección; POSICIÓN II: Mitad superior de la sección.

NOTA: Longitudes válidas para hormigón fck ≥25 N/mm². Para fck ≥30 N/mm² podrán reducirse estas longitudes según artículo ART.69.5 (EHE-08).
Así mismo, las longitudes indicadas NO contemplan la existencia de acciones dinámicas en cuyo caso, y a falta de mayor especificación, se recomienda aumentar las longitudes de solape aquí indicadas un 40%.



FÁBRICA RESISTENTE (según CTE-DB-SE-F)

BLOQUE TIPO	MAMPUESTOS PIEDRA CALIZA
RESIST. CARACTERÍSTICA	fb=15 N/mm2
CLASE DE MORTERO	M-10
COEFICIENTE MINORACIÓN	γ_M=2,50
RESISTENCIA DE LA FÁBRICA A COMPRESIÓN	fd=2,48 N/mm2
CATEGORÍA DE EJECUCIÓN	B(II)

SOLAPES

ACERO Y DIÁMETRO ARMADURA	LONGITUD DE SOLAPE [Ls]	
B-500-S	POSICIÓN I*	POSICIÓN II*
Ø8	28 cm	41 cm
Ø10	35 cm	51 cm
Ø12	42 cm	60 cm
Ø16	58 cm	82 cm
Ø20	84 cm	118 cm
Ø25	132 cm	185 cm

NOTA: Longitudes válidas para hormigón fck ≥25 N/mm². Para fck ≥30 N/mm² podrán reducirse estas longitudes según artículo ART. 69.5 (EHE-08)
Así mismo, las longitudes indicadas NO contemplan la existencia de acciones dinámicas, en cuyo caso, y a falta de mayor especificación, se recomienda aumentar las longitudes de solape aquí indicadas un 40%.

Características del terreno

NIVEL FREÁTICO	COTA ESTRATO RESISTENTE	TENSIÓN	DENSIDAD	ÁNGULO ROZ. INTERNO	COEF. BALASTO
	-0,50 m	1,50 kp/cm2	2,00 kg/dm3	30º	

PROPIETARIO: EMPRESA DE TRANSFORMACIÓN AGRARIA, S.A.	TÍTULO DEL PROYECTO	AUTOR DEL PROYECTO	TÍTULO DEL PLANO	FECHA	ESCALA
EMPLAZAMIENTO: TÉRMINO MUNICIPAL DE ALMOHAJA	**INFORME DE ESTRUCTURAS PARA REHABILITACIÓN DEL PUENTE DE ALBA Y MUROS DE GAVIONES**	Jesús Angel Bueno García I.T. Industrial Estructuras Col. nº 5.610	**ESTADO REFORMADO MURO. SECCIÓN. CUADRO DE CARACTERÍSTICAS.**	**JULIO 2026**	**1/400** No. PLANO **7.rev1**

6. INFORME DE ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES PARA LA ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DEL ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO COMO CAMINO NATURAL, ALBA (TERUEL, ARAGÓN).

INFORME

ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES PARA LA ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DEL ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO COMO CAMINO NATURAL, ALBA (TERUEL, ARAGÓN)

Autor del informe: Rubén Sancho Gómez-Zurdo

Zaragoza, Junio de 2026

ÍNDICE GENERAL DEL PROYECTO

DOCUMENTO 1: MEMORIA Y ANEJOS

Memoria

Anejo nº 1.- Estudio geológico

Anejo nº 2.- Estudio sísmico

Anejo nº 3.- Análisis de estabilidad

Anejo nº 4.- Informe fotogramétrico

Anejo nº5.- Justificación de precios

DOCUMENTO 2: PLANOS

1. Situación y emplazamiento
2. Zonificación
3. Estado actual
4. Solución propuesta
5. Mediciones
6. Detalles

DOCUMENTO 3: PRESUPUESTO

Mediciones

Cuadro de precios 1

Cuadro de precios 2

Presupuesto de Ejecución Material

Presupuesto Base de Licitación

ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES PARA LA ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DEL ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO COMO CAMINO NATURAL, ALBA (TERUEL, ARAGÓN)

DOCUMENTO Nº 1

MEMORIA

MEMORIA

1. OBJETO Y SITUACIÓN ACTUAL

El presente documento técnico tiene como finalidad abordar el análisis y la estabilización de distintos taludes y zonas de emboquille asociados al proyecto situado en el término municipal de Alba, provincia de Teruel, comunidad autónoma de Aragón. Este trabajo responde a la necesidad de mitigar los riesgos asociados al desprendimiento de bloques rocosos y garantizar la seguridad tanto del entorno inmediato como de las infraestructuras cercanas a las zonas de estudio. La metodología empleada está fundamentada en técnicas avanzadas de fotogrametría, combinadas con estudios geomecánicos y cálculos de estabilidad, con el objetivo de desarrollar soluciones técnicas eficaces y sostenibles.

El proyecto comprende la elaboración de un modelo tridimensional del macizo rocoso, obtenido mediante vuelo de dron multirrotor equipado con sistema RTK para un posicionamiento de alta precisión. A partir de este modelo, se procederá a la caracterización geológico-geotécnica del terreno, identificando bloques críticos y analizando su estabilidad. La información obtenida servirá como base para la propuesta de medidas correctivas y de protección, incluyendo soluciones estructurales como redes de cable de acero, mallas de triple torsión, bulonado y medidas necesarias de estabilización y protección en cada zona.

Para alcanzar los propósitos de este estudio y abordar de manera integral la problemática del macizo rocoso, se han definido los siguientes objetivos específicos que estructuran las acciones técnicas a desarrollar:

- Documentar y modelar los taludes y emboquilles de los túneles: Utilizar técnicas fotogramétricas avanzadas para generar una nube de puntos de alta densidad y un modelo tridimensional que refleje la geometría y características del bloque y su entorno.
- Caracterizar geológica y geotécnicamente las zonas de actuación, diferenciando las unidades litológicas afectadas por los taludes, emboquilles y excavaciones previstas.
- Identificar las principales discontinuidades, contactos litológicos, zonas alteradas, recubrimientos superficiales y posibles condicionantes hidrogeológicos que puedan afectar a la estabilidad.
- Analizar de forma individualizada las tres zonas de proyecto y sus correspondientes subzonas, prestando especial atención a los taludes de emboquille de los túneles y al talud aislado situado en el sector occidental.
- Estudio geomecánico: Realizar un análisis técnico de las condiciones de los taludes y macizos rocosos, identificando posibles puntos críticos y evaluando los riesgos de desprendimiento.
- Proponer medidas de estabilización y protección: Justificar técnicamente las intervenciones necesarias, incluyendo cálculos de estabilidad y diseño de las soluciones más adecuadas para minimizar los riesgos.

Este enfoque tiene como finalidad garantizar la estabilidad de los taludes y emboquilles, minimizar los riesgos asociados a desprendimientos o movimientos del terreno y asegurar la correcta integración de las soluciones propuestas en las condiciones geológicas reales del emplazamiento.

2. LOCALIZACIÓN

El ámbito de actuación se sitúa en el término municipal de Alba, también conocido como Alba del Campo, en la provincia de Teruel, comunidad autónoma de Aragón. El municipio pertenece a la comarca Comunidad de Teruel y se localiza en el sector central de la provincia, en las proximidades de la depresión del río Jiloca.

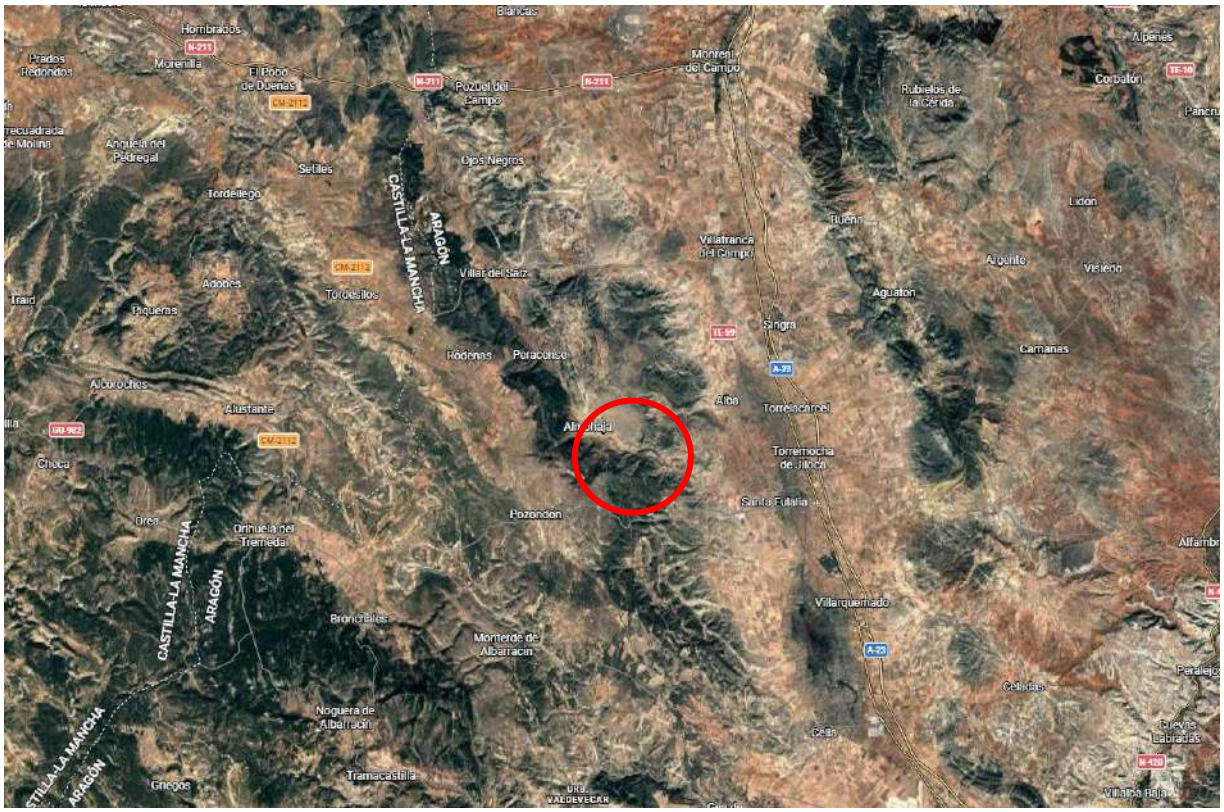


Imagen 1: Ubicación de estudio del informe

La zona se encuentra en un área de transición entre los relieves mesozoicos de la Cordillera Ibérica y las zonas deprimidas asociadas a la fosa del Jiloca. Este contexto condiciona la presencia de laderas carbonatadas, plataformas estructurales, barrancos, depósitos de pie de monte, glacis, abanicos aluviales y recubrimientos coluviales de espesor variable.

El proyecto se divide en tres zonas principales de estudio y actuación:

- Zona 1: Talud aislado occidental
- Zona 2: Túnel 1
- Zona 3: Túnel 2

Zona 1. Talud aislado occidental

La zona 1 corresponde a un talud aislado situado en el sector más occidental del ámbito de proyecto. Se trata de una zona independiente respecto a los túneles, cuyo análisis se centra en la estabilidad del talud, el reconocimiento de los materiales aflorantes, la posible presencia de

recubrimientos superficiales y la identificación de mecanismos de inestabilidad asociados a la geometría de la ladera o excavación.

En esta zona se prestará especial atención a la existencia de bloques sueltos, niveles alterados, superficies de discontinuidad desfavorables, procesos de erosión superficial, acumulaciones de derrubios en pie de talud y posibles afecciones por escorrentía concentrada.

Zona 2. Primer túnel y zonas de emboquille

La zona 2 corresponde al primer túnel incluido en el proyecto. Para su análisis geológico-geotécnico se divide en dos subzonas:

- Zona 2.1: emboquille y taludes asociados de uno de los extremos del túnel.
- Zona 2.2: emboquille y taludes asociados del extremo opuesto del túnel.

En ambas subzonas se estudiarán las condiciones del macizo rocoso o terreno excavado, la estabilidad de los taludes de acceso, la potencia de los recubrimientos superficiales, la orientación de la estratificación y discontinuidades, la posible presencia de materiales arcillosos o margosos y la existencia de circulación de agua en contactos, fracturas o zonas alteradas.

Los emboquilles constituyen puntos especialmente sensibles desde el punto de vista geotécnico, debido al reducido confinamiento del terreno, la posible heterogeneidad de los materiales y la concentración de excavaciones en ladera. Por ello, su caracterización será específica e independiente para cada subzona.

Zona 3. Segundo túnel oriental y zonas de emboquille

La zona 3 corresponde al segundo túnel del proyecto, situado en el sector más oriental del ámbito de actuación. Al igual que en la zona 2, se divide en dos subzonas de análisis:

- Zona 3.1: emboquille y taludes asociados de uno de los extremos del túnel.
- Zona 3.2: emboquille y taludes asociados del extremo opuesto del túnel.

El análisis de la zona 3 se orientará a determinar las condiciones geológico-geotécnicas de los taludes de emboquille y del entorno inmediato del túnel, evaluando la calidad del macizo rocoso, el grado de fracturación y meteorización, la presencia de recubrimientos cuaternarios y los posibles condicionantes derivados de contactos litológicos o estructuras tectónicas.

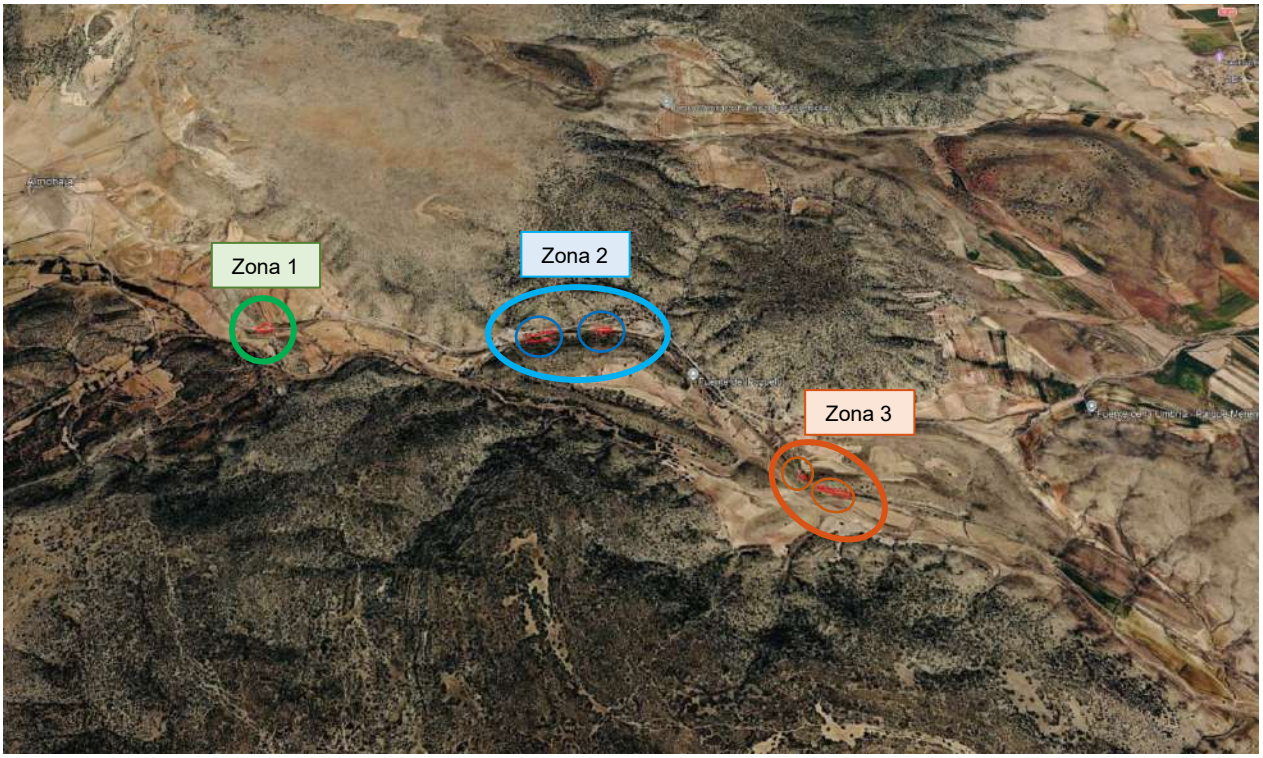


Imagen 2: División de zonas de estudio

La diferenciación del proyecto en estas tres zonas y sus respectivas subzonas permite realizar una valoración individualizada de las condiciones de estabilidad, evitando generalizaciones entre sectores que pueden presentar litologías, geometrías, espesores de recubrimiento y condiciones estructurales diferentes.

3. TRABAJOS REALIZADOS

Los trabajos realizados tienen por objeto obtener una caracterización geológico-geotécnica preliminar de las zonas de actuación y establecer una primera valoración de las condiciones de estabilidad de los taludes, emboquilles y laderas afectadas por el proyecto.

3.1. Inspección fotogramétrica

La fotogrametría es la ciencia o técnica cuyo objeto es el conocimiento de las dimensiones y posición de objetos en el espacio, a través de las medidas realizadas y a partir de la intersección de dos o más fotografías y del modelo digital del terreno correspondiente al lugar representado.

Con esta técnica se pueden determinar las propiedades geométricas de los objetos y las situaciones espaciales a partir de imágenes fotográficas.

El control de desplazamientos y deformaciones de las estructuras, ha sido habitualmente mediante chequeo en puntos estratégicos, puntos a partir de los cuales se interpreta esa deformación para una zona determinada. La posibilidad de este control de la estructura, no solo con ciertos puntos, sino con una nube de cientos de puntos por m2 y la visualización mediante la generación de un modelo en 3D, es lo que ofrece esta tecnología basada en el vuelo con drones.

Esta técnica, aplicada sobre vehículos aéreos no tripulados (UAVs o Drones), permite convertirla en una tecnología de monitoreo, control e inspección de infraestructuras, taludes, etc. Básicamente consiste en la realización de un vuelo con dron multirotor equipado con un sistema

estabilizador de 3 ejes, sensor RGB de alta resolución, formato RAW de captura de imágenes y grabación en 4K. Con ello se genera mediante un sistema de postprocesado una única imagen de alto detalle, en la que todos los elementos presentan la misma escala, libre de errores y deformaciones, con la misma validez de un plano cartográfico, es decir, se crea una ortofoto de alta precisión.

Previo a la realización del vuelo, llevado a cabo por personal técnico especializado en ello, se realiza una inspección visual de la zona, verificación meteorológica, el efecto de la incidencia solar, así como la tipología del terreno y el material a inspeccionar. Con ello se plantea el plan de vuelo a realizar, definiendo así una altura, solape de toma de imágenes, velocidad de vuelo, orientación del sensor y superficie a inspeccionar atendiendo a la orografía del terreno.

Dada la extensión de terreno se ha utilizado el DJI Phantom 4 pro con capacidad PPK/RTK, lo que permite alcanzar precisiones aceptables sin la necesidad de establecer puntos de control en terreno.

La planificación de las líneas de vuelo se realiza de manera automática manteniendo un solapamiento longitudinal y transversal del 85% y 60% respectivamente.

Se ha utilizado como sistema de coordenadas planimétrico el Datum europeo (ETRS-89), con punto fundamental en Potsdam y con origen de longitudes en Greenwich. Como proyección se ha utilizado la Universal Transversal de Mercator (UTM) referida al elipsoide Internacional de Hayford en su huso 31.

En altimetría, las cotas quedan referenciadas al nivel medio del mar definido por el mareógrafo fundamental de Alicante. Para el enlace con este sistema de referencia, se ha unido a los vértices geodésicos existentes en el perímetro de la zona del proyecto, obteniendo del Instituto Geográfico Nacional sus coordenadas actualizadas.

El trabajo se ha realizado mediante técnicas GPS, trabajando en modo diferencial, es decir con un receptor fijo y otro móvil. Las observaciones se han hecho en modo RTK (cinemático en tiempo real) realizando varias lecturas en cada vértice y promediando las mismas.

La toma de la nube de puntos se ha realizado con equipos GPS mediante observaciones diferenciales en tiempo real desde estaciones de referencia, obteniendo los incrementos de coordenadas desde el equipo de referencia al móvil.

Los puntos radiados se han calculado con software específico (TCP-MDT), transportándose sus coordenadas X, Y, Z a un fichero DXF, para su posterior edición con AutoCAD.

A partir de los vértices de la Red Básica se han tomado los puntos necesarios para la realización del perfil longitudinal y de los correspondientes perfiles transversales.

Resultado e interpretación

Con toda la información obtenida tanto en campo como tras su procesado se obtienen:

- Ortofotos en planta y alzado
- Modelo digital del terreno
- Nube de puntos
- Modelo 3D

A partir de la ortofoto, se ha procedido a realizar curvados del terreno, identificar, medir y mapear familias de juntas etc. Con todo esto se obtiene la nube de puntos. Dicha nube de puntos, una vez se ha obtenido y se ha georreferenciado, se han obtenido las direcciones y los buzamientos de las familias de juntas existentes y que permiten a través del diagrama de Wuff obtener la observación de la tipología de inestabilidades.



Imagen 3: Imagen obtenida del modelo 3D realizado en el la zona 3.2 de estudio

La dirección y el buzamiento de cada una de las familias observadas se va a utilizar para, a través de la representación en proyección estereográfica verificar la posible formación de deslizamientos.

Los posibles deslizamientos pueden ser tanto deslizamientos planares, en cuña como vuelcos.

Rotura planar

La rotura plana es uno de los tipos de inestabilidad de taludes en roca, en donde el mecanismo de fallo se produce debido al movimiento de una masa de terreno a favor del plano definido por una discontinuidad del macizo.

Sin embargo, no todas las discontinuidades existentes en un macizo rocoso pueden ocasionar roturas planas. Para ello es necesario que se cumplan una serie de condiciones cinemáticas relacionadas con la orientación de la discontinuidad respecto a la orientación del talud y la rugosidad del plano de deslizamiento. El estudio de la orientación de las discontinuidades y su influencia en la estabilidad de taludes se lleva a cabo mediante el empleo de la técnica conocida como proyección estereográfica.

La rotura plana es una de las tipologías básicas de inestabilidad de taludes en roca. Tal y como muestra la Imagen 3, este tipo de inestabilidad tiene lugar cuando una masa rocosa desliza respecto al resto del macizo a través de una discontinuidad que aflora en el exterior del talud, existiendo en todo momento una superficie de contacto entre la masa deslizante y el macizo rocoso.

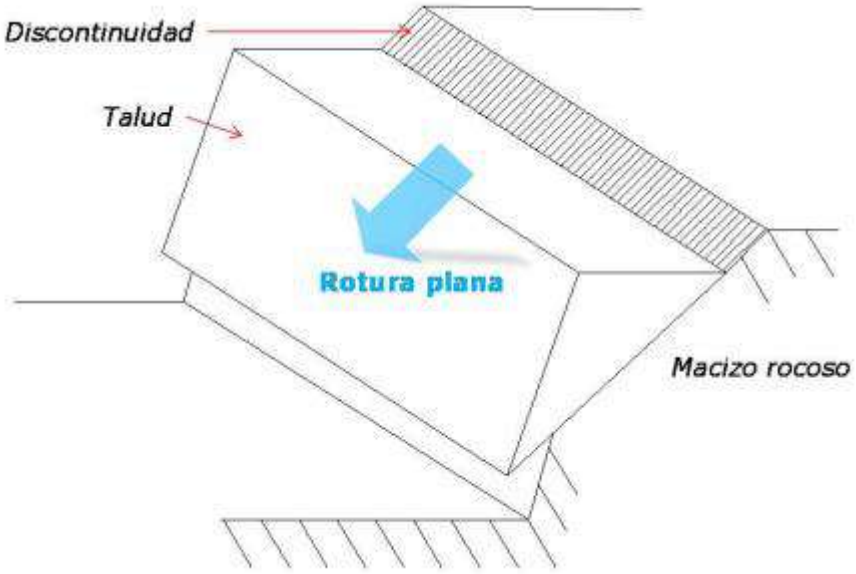


Imagen 4: Rotura plana

Geométricamente, la ocurrencia de rotura plana en un macizo depende de la orientación de las discontinuidades respecto a la orientación del talud, así como del buzamiento de las discontinuidades respecto al del talud. Además, mecánicamente, el deslizamiento sólo podrá tener lugar si se supera la fuerza de rozamiento en el plano de deslizamiento.

Es importante señalar que el análisis cinemático debe realizarse de forma independiente para cada discontinuidad (o familia o agrupación de discontinuidades) y para cada talud bajo estudio, ya que es más que probable que en un macizo rocoso sólo algunas de las discontinuidades existentes conlleven un riesgo potencial de rotura plana.

Así, para que una rotura plana pueda ocurrir tienen que darse las siguientes tres condiciones estructurales, que se recogen gráficamente en la Imagen 5:

- La dirección de buzamiento de la discontinuidad (asimilada a un plano) debe ser “sensiblemente” paralela a la dirección de buzamiento del talud. Por lo general, se considera que la diferencia entre la dirección de buzamiento de la discontinuidad y la dirección de buzamiento del talud debe encontrase un rango de más / menos 20°.
- El buzamiento de la discontinuidad (β_{disc}) debe ser menor que el buzamiento del talud (β_{talud}), de forma que la discontinuidad debe aflorar en la superficie del talud.
- El buzamiento de la discontinuidad (β_{disc}) debe ser mayor que el ángulo de rozamiento (Φ) del plano de deslizamiento (normalmente se toma el ángulo de rozamiento o fricción de la discontinuidad).

Adicionalmente, para que se produzca rotura plana es necesario que existan lo que se denominan “juntas de relevo”, tales como diaclasas laterales o grietas de tracción, que permitan que parte de la masa rocosa que conforma el macizo pueda deslizar y “separarse” de él.

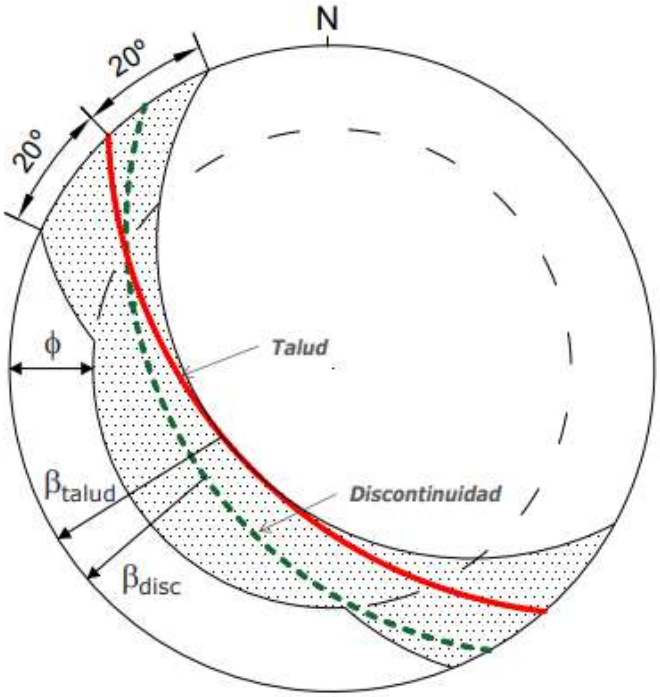


Imagen 5: Análisis cinemático de la estabilidad de un talud en roca por rotura plana. Cualquier discontinuidad que caiga dentro de la zona sombreada presenta riesgo potencial de rotura plana

Rotura en cuña

La rotura cuneiforme o en cuña es una de las tipologías básicas de inestabilidad de taludes en roca. Tal y como muestra la Imagen 6, este tipo de inestabilidad tiene lugar cuando una masa rocosa desliza respecto al resto del macizo a través de dos planos de discontinuidad, de forma que la recta intersección resultante buza hacia el exterior del talud, existiendo en todo momento una arista de contacto entre la masa deslizante y el macizo rocoso.

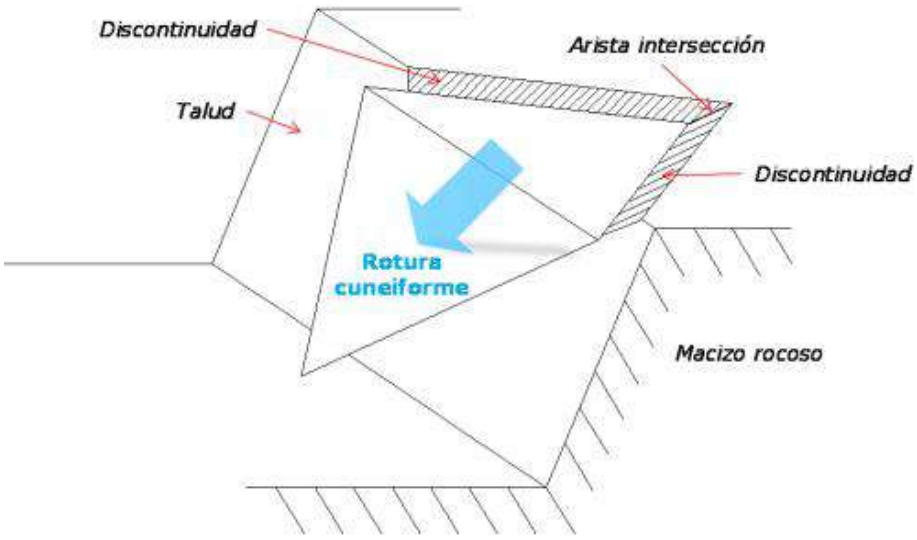


Imagen 6: Rotura cuneiforme

Geométricamente, la ocurrencia de rotura cuneiforme en un macizo depende de la inmersión (buzamiento) de las líneas de intersección de las discontinuidades respecto al buzamiento del talud.

Además, mecánicamente, el deslizamiento sólo podrá tener lugar si se supera la fuerza de rozamiento en los planos de deslizamiento.

Es importante señalar que el análisis cinemático debe realizarse de forma independiente para cada línea de intersección detectada (que puede ser el resultado del cruce de diferentes familias o agrupación de discontinuidades) y para cada talud bajo estudio, ya que es probable que en un macizo rocoso sólo algunas de las intersecciones existentes conlleven un riesgo potencial de rotura cuneiforme.

Así, para que una rotura cuneiforme pueda ocurrir tienen que darse las siguientes dos condiciones estructurales, que se recogen gráficamente en la Imagen 7:

- La línea intersección debe aflorar en la superficie del talud, por lo que su rumbo (dirección) debe ser "similar" a la dirección de buzamiento del talud (más bien, no debe localizarse de forma opuesta a la dirección de buzamiento del éste) y su inmersión (β_{arista}) debe ser menor que el buzamiento del talud (β_{talud}).
- La inmersión de la línea intersección (β_{arista}) debe ser mayor que el ángulo de rozamiento (Φ) de los planos de deslizamiento (normalmente se toma el ángulo de rozamiento o fricción de las dos discontinuidades; si estos valores son muy diferentes, se puede hacer la media).

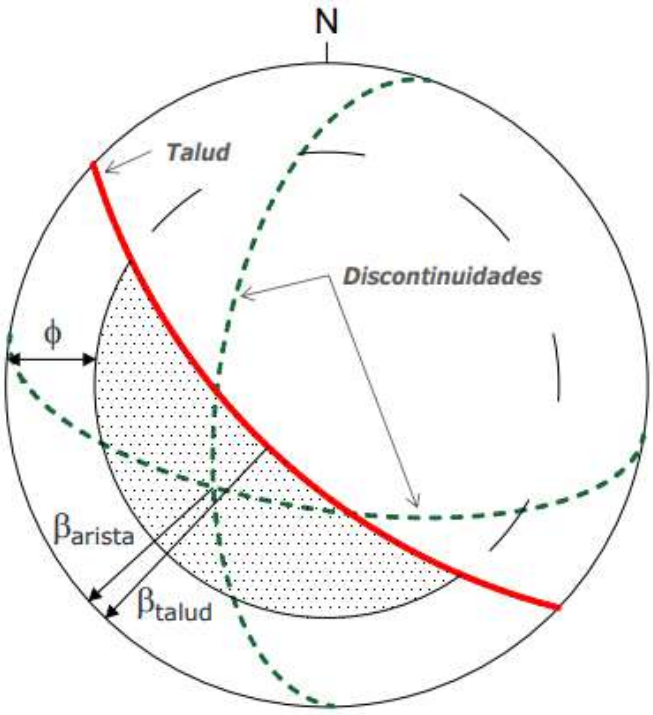


Imagen 7: Análisis cinemático de la estabilidad de un talud en roca por rotura cuneiforme. Cualquier discontinuidad que caiga dentro de la zona sombreada presenta riesgo potencial de rotura cuneiforme

Rotura por vuelco

El vuelco es uno de los tipos de inestabilidad de taludes en roca existentes, donde el mecanismo de fallo se produce en macizos que están subdivididos por la fracturación del macizo en una serie de bloques o columnas aproximadamente verticales, de forma que es posible el giran alrededor de un punto fijo y el deslizamiento entre los propios bloques de roca.

Sin embargo, no todas las discontinuidades existentes en un macizo rocoso pueden ocasionar vuelcos. Para ello es necesario que se cumplan una serie de condiciones cinemáticas relacionadas con la orientación de las discontinuidades respecto a la orientación del talud y la rugosidad del plano

de deslizamiento. El estudio de la orientación de las discontinuidades y su influencia en la estabilidad de taludes se lleva a cabo mediante el empleo de la técnica conocida como proyección estereográfica.

Tal y como muestra la Imagen 8, este tipo de inestabilidad tiene lugar cuando las discontinuidades existentes en el macizo rocoso dan lugar a una serie de bloques o elementos columnares con un buzamiento muy pronunciado y contrario al buzamiento del talud, de forma que la rotura se produce, generalmente, por una rotación de dichas estructuras hacia el exterior del talud.

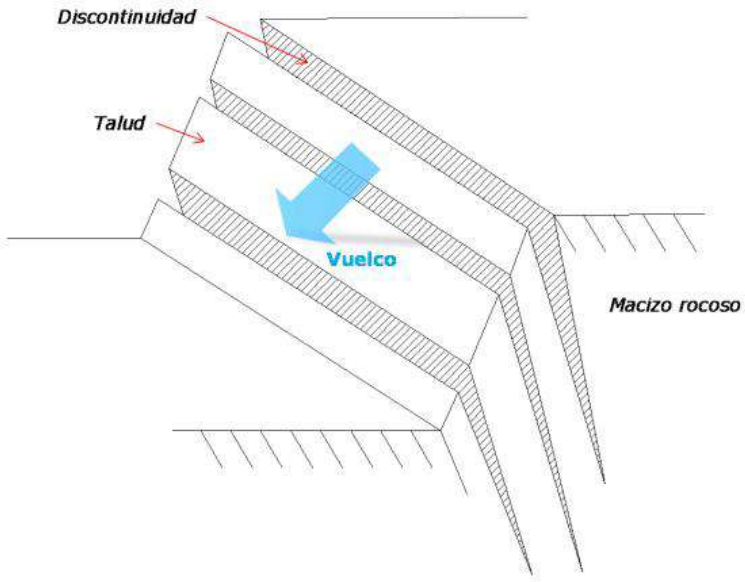


Imagen 8: Vuelco

Para que se produzca vuelco los planos de discontinuidad deben ser sensiblemente paralelos al talud y aflorar abruptamente y con gran inclinación en él. Asimismo, el centro de gravedad de los bloques y columnas de roca en que las discontinuidades subdividen el macizo debe caer fuera de la dimensión de su base. Los vuelcos se caracterizan por tener movimientos horizontales significativos en su parte superior, pero muy reducidos en su pie. Para poder compatibilizar este movimiento diferencial entre el pie y la parte superior, debe darse el movimiento de todo el bloque, por lo que es necesario que se supere la fuerza de rozamiento máxima movilizable por fricción entre bloques.

Para que pueda ocurrir un vuelco tienen que darse las siguientes dos condiciones estructurales, que se recogen gráficamente en la Imagen 9:

- La dirección de buzamiento de las discontinuidades (asimiladas a planos) debe ser “sensiblemente” ortogonal a la dirección de buzamiento del talud. Por lo general, se considera que la diferencia entre la dirección de buzamiento de las discontinuidades y la dirección de buzamiento del talud debe encontrase un rango de entre 160º y 200º (es decir 180º ± 20°).
- La inmersión de la normal a los planos de discontinuidad (en proyección estereográfica, la inmersión del polo de dichos planos) debe ser menor que la inclinación resultante de restar al buzamiento del talud el ángulo de rozamiento de los planos de deslizamiento (normalmente se toma el ángulo de rozamiento o fricción de las discontinuidades).

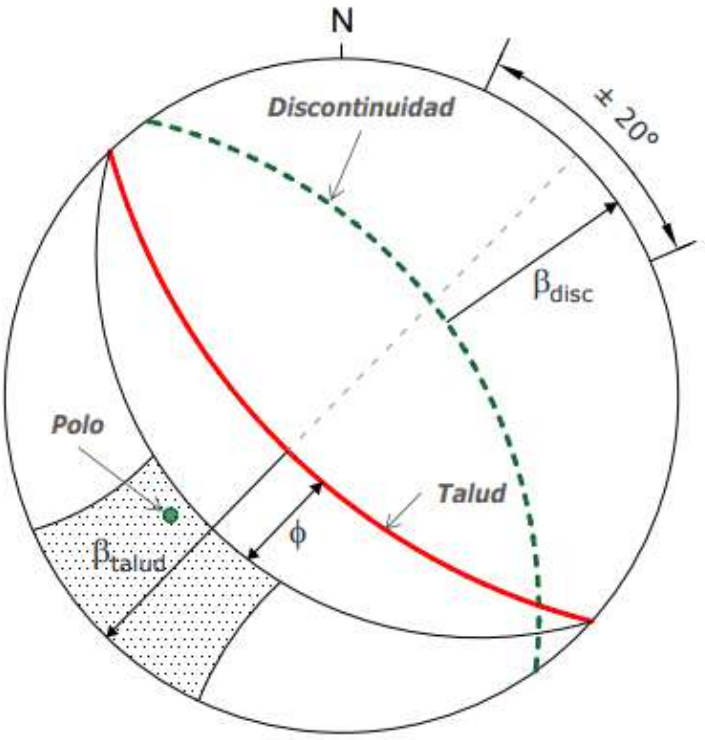


Imagen 9: Análisis cinemático de la estabilidad de un talud en roca por vuelco. Cualquier discontinuidad que caiga dentro de la zona sombreada presenta riesgo potencial de vuelco

3.2. Inspección geológico-geotécnica de campo

La inspección geológico-geotécnica ha consistido en el reconocimiento directo de las zonas afectadas por el proyecto, prestando especial atención a los condicionantes que pueden influir en la estabilidad de los taludes y emboquilles.

En el talud aislado de la zona 1 se ha evaluado la geometría general de la ladera o excavación, la naturaleza de los materiales aflorantes, la presencia de discontinuidades, bloques sueltos, desprendimientos previos, erosión superficial y posibles zonas de acumulación de derrubios en el pie.

En las zonas 2.1 y 2.2, correspondientes a los emboquilles del primer túnel, se ha inspeccionado el estado del macizo o terreno en el entorno de los portales, la potencia aproximada de los recubrimientos superficiales, la orientación aparente de la estratificación, la presencia de fracturas, diaclasas o zonas de alteración, y la posible existencia de materiales menos competentes en contacto con unidades rocosas de mayor resistencia.

En las zonas 3.1 y 3.2, correspondientes a los emboquilles del túnel situado más al este, se ha seguido una metodología equivalente, con el objetivo de identificar diferencias litológicas, estructurales o geomorfológicas respecto al túnel de la zona 2. La valoración individualizada de estos emboquilles resulta fundamental, ya que la estabilidad puede variar de forma significativa incluso entre extremos opuestos de un mismo túnel.

La información de campo se ha complementado con la revisión de la cartografía geológica disponible para el entorno de Alba, especialmente la Hoja MAGNA 541, Santa Eulalia. Esta documentación permite encuadrar el proyecto en el contexto geológico regional de la Cordillera Ibérica turolense y de la fosa del Jiloca.

De acuerdo con la información geológica disponible, en el entorno regional pueden aparecer materiales carbonatados jurásicos, materiales triásicos detríticos y margo-yesíferos, materiales

terciarios continentales y depósitos cuaternarios de glacis, abanico, coluvión y aluvial. Estas unidades presentan comportamientos geotécnicos diferenciados, por lo que su identificación en cada zona de actuación resulta esencial para el análisis de estabilidad.

Todo lo relacionado con lo mencionado se encuentra en el Estudio geológico-geotécnico para la elaboración del presente informe, el cual se incluye en el Anejo nº 1 del presente proyecto.

3.3. Análisis espacial y de estabilidad

El análisis espacial de las discontinuidades y de la geometría de los taludes tiene como finalidad identificar los mecanismos potenciales de inestabilidad presentes en cada una de las zonas de actuación. Para ello, se han considerado, siempre que las condiciones de afloramiento y accesibilidad lo han permitido, la orientación de los planos de estratificación, diaclasas, juntas, fracturas, fallas y superficies de contacto litológico, comparándolas con la orientación y pendiente de los taludes y frentes de excavación existentes o previstos.

A partir del modelo digital del terreno obtenido mediante vuelo fotogramétrico con dron, se han realizado mediciones geométricas sobre los taludes afectados, incluyendo la determinación de direcciones de buzamiento y buzamientos aparentes de los principales planos de discontinuidad identificados. Esta información permite caracterizar la disposición espacial de las familias de juntas y valorar su relación con la geometría de los frentes, con el objeto de detectar configuraciones desfavorables desde el punto de vista de la estabilidad.

En las zonas donde se han identificado bloques rocosos potencialmente inestables, el análisis se ha centrado en la delimitación de aquellos elementos con mayor riesgo de desprendimiento, atendiendo a su volumen aproximado, grado de descalce, continuidad de las discontinuidades que los delimitan, apertura de juntas, estado de alteración, presencia de rellenos y relación geométrica con la cara del talud. Asimismo, se han evaluado los taludes de forma independiente, considerando tanto los mecanismos de rotura controlados por discontinuidades como los procesos superficiales asociados a meteorización, erosión, lavado de finos o pérdida de soporte en materiales poco competentes.

Teniendo en cuenta las observaciones realizadas, el proyecto se estructura en tres zonas principales de estudio: una primera zona correspondiente al talud aislado situado en el sector occidental, una segunda zona asociada al primer túnel y sus emboquilles, subdividida en las zonas 2.1 y 2.2, y una tercera zona correspondiente al túnel situado más al este, igualmente subdividida en las zonas 3.1 y 3.2. Cada una de estas zonas y subzonas será objeto de un análisis individualizado, con el objetivo de identificar las causas potenciales de inestabilidad y definir las soluciones de estabilización y protección más adecuadas para cada caso.

Dicho análisis se realiza en el Anejo Nº 3 del presento documento técnico.

4. SOLUCIÓN ADOPTADA

Una vez realizado el análisis de estabilidad de las distintas zonas de actuación, se define la solución más adecuada para cada caso, atendiendo a la problemática identificada en cada talud, emboquille o sector rocoso. Los trabajos se dividirán en tres zonas principales, coincidentes con la zonificación empleada en el análisis geológico-geotécnico y de estabilidad.

En la Zona 1, correspondiente al talud aislado occidental, se plantea una solución diferenciada por sectores. En los extremos del talud se instalará malla de triple torsión, fijada mediante bulones de 2,0 m de longitud en cuadrícula de 5,0 × 5,0 m, incluyendo cable de coronación, cable perimetral, cable de cosido entre paños, anclajes de borde, solapes y elementos de unión y tensado. En los bloques y paños rocosos de mayor entidad identificados durante el análisis se colocará red de cable de acero, con el objetivo de limitar su posible movilización. En la zona central, afectada por el desprendimiento previo y por procesos de degradación superficial, se dispondrá geomanta reforzada tipo MacMat R o similar, orientada al control de la erosión, la retención de material suelto y la protección superficial del frente.

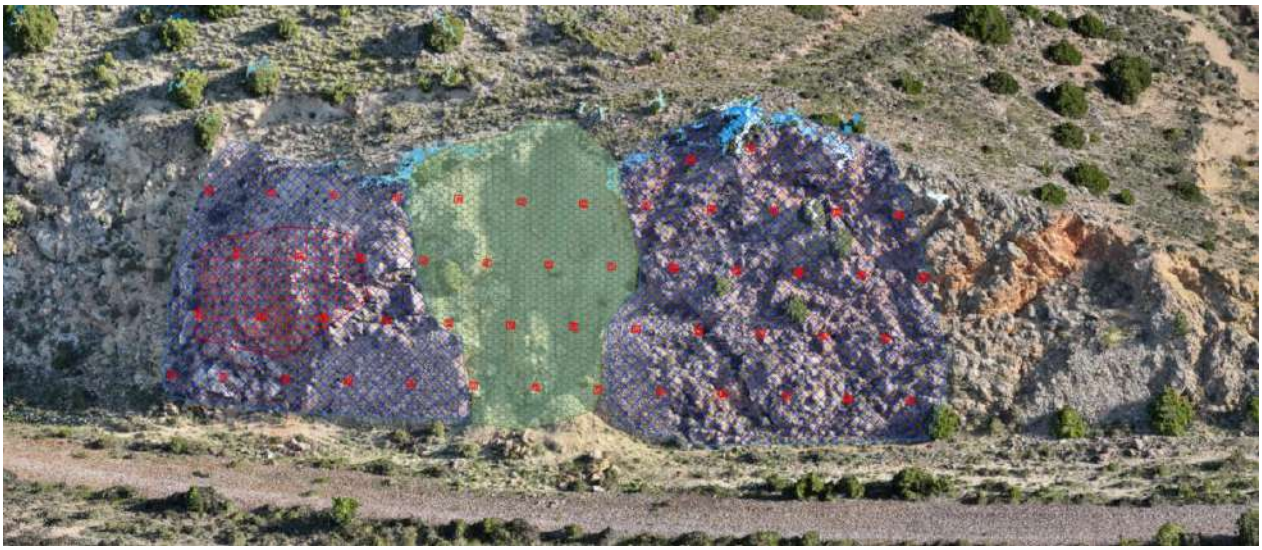


Imagen 10: Solución adoptada de la zona 1

En la Zona 2, asociada al primer túnel y a sus emboquilles, se colocará geomanta reforzada en los taludes próximos a las bocas del túnel, fijada mediante bulones de 2,0 m en cuadrícula de 5,0 × 5,0 m, junto con los cables, anclajes y elementos auxiliares necesarios para su correcto funcionamiento. En las subzonas 2.1 y 2.2 se ejecutará además el refuerzo de los emboquilles mediante pletinas, con el fin de mejorar el confinamiento del frente y la estabilidad local de los paños rocosos próximos a la boca del túnel. Se proyecta la ejecución de drenes en el túnel para favorecer la evacuación del agua infiltrada, reduciendo las presiones intersticiales y minimizando los empujes hidráulicos sobre el revestimiento. En la Zona 2.2 se proyecta también una cuneta en la parte superior o coronación del talud, destinada a recoger y conducir las aguas de escorrentía superficial, reduciendo así los procesos de erosión, lavado de finos y degradación del frente.

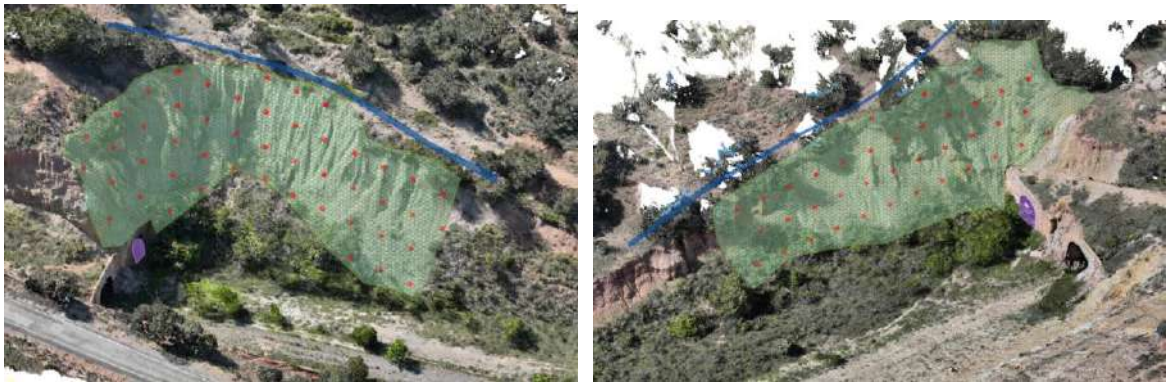


Imagen 11: Solución adoptada de la zona 2

En la Zona 3, correspondiente al túnel oriental, se plantean actuaciones diferenciadas en las subzonas 3.1 y 3.2. En la Zona 3.1 se instalará malla de triple torsión en los taludes aledaños al emboquille, fijada mediante bulones de 2,0 m en cuadrícula de 5,0 × 5,0 m, y se dispondrá red de cable de acero sobre los bloques rocosos analizados. Además, se va a realizar un sostenimiento interior del túnel, colocando red de cable de acero en la cara interior de la geometría del túnel, a lo largo de los primeros 18 metros desde la boca del mismo. Esto va a ir reforzado con la instalación de bulones de acero de Ø25 mm, colocados en perforación previa e inyectados con resina química tipo Mapefix o equivalente.

En la Zona 3.2 se colocará igualmente malla de triple torsión, red de cable de acero en los bloques y paños rocosos identificados, y bulones de cosido de 9,0 m de profundidad en las grandes cuñas analizadas junto al emboquille, con el objetivo de mejorar la estabilidad de los paquetes estratificados y limitar su posible apertura o movilización.



Imagen 12: Solución adoptada de la zona 3

Para la ejecución de estas medidas, se seguirán las siguientes fases generales de trabajo:

- **Fase 1:** adecuación de accesos, zonas de trabajo y acopios, así como implantación de los medios auxiliares necesarios para la ejecución de las actuaciones.
- **Fase 2:** saneo general de los taludes, emboquilles y frentes rocosos, retirando bloques sueltos, fragmentos inestables y material degradado.
- **Fase 3:** ejecución de los sistemas de protección superficial, incluyendo malla de triple torsión, geomanta reforzada tipo MacMat, cables de coronación, cables perimetrales, cables de cosido, anclajes de borde y elementos de unión y tensado.
- **Fase 4:** instalación de las redes de cable de acero en los bloques y paños rocosos de mayor entidad identificados en las Zonas 1 y 3.
- **Fase 5:** ejecución de sostenimiento en túnel de la zona 3.2 mediante red de cable de acero y bulones inyectados con resina.
- **Fase 6:** ejecución de los refuerzos específicos en emboquilles mediante pletinas en la Zona 2 y colocación de bulones de cosido en las cuñas y paquetes rocosos de la Zona 3.
- **Fase 7:** ejecución de la cuneta de coronación prevista en la Zona 2.2, para la recogida y conducción de las aguas de escorrentía superficial.
- **Fase 8:** revisión final de las actuaciones, comprobación de la correcta fijación de los sistemas instalados y ajuste de los elementos de protección a la geometría real de cada talud.

La ejecución conjunta de estas actuaciones permitirá reducir el riesgo de desprendimientos, mejorar la estabilidad local de bloques, cuñas y emboquilles, controlar los procesos de erosión superficial y aumentar la seguridad en el entorno de las zonas de actuación.

5. ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Se ha llevado a cabo un Estudio geológico para la elaboración del presente informe, el cual se incluye en el Anejo nº 1 del presente proyecto.

6. DOCUMENTOS QUE INTEGRAN ESTE DOCUMENTO TÉCNICO

Los documentos que componen este Proyecto son los siguientes:

- Documento 1: Memoria y anejos
  - Anejo 1: Estudio geológico
  - Anejo 2: Estudio sísmico
  - Anejo 3: Análisis de estabilidad
  - Anejo 4: Informe fotogramétrico
  - Anejo 5: Justificación de precios

- Documento 2: Planos
- Documento 3: Presupuesto
  - Mediciones
  - Cuadro de Precios 1
  - Cuadro de Precios 2
  - Presupuesto de Ejecución Material
  - Presupuesto Base de Licitación

Zaragoza, Junio de 2026

El Dr. Ingeniero de Caminos,
Canales y Puertos



Rubén Sancho Gómez-Zurdo

ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES PARA LA ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DEL ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO COMO CAMINO NATURAL, ALBA (TERUEL, ARAGÓN)

ANEJO 1

Estudio geológico

1. INTRODUCCIÓN

En el presente anejo se describe el marco geológico, geomorfológico y geotécnico que afecta a la zona del proyecto. El ámbito de actuación se localiza en el término municipal de Alba, provincia de Teruel, comunidad autónoma de Aragón. Alba, también conocida como Alba del Campo, pertenece a la comarca Comunidad de Teruel y se sitúa en el sector central de la provincia, en las proximidades de la depresión del río Jiloca.

El proyecto objeto de estudio comprende dos túneles, con sus respectivos emboquilles de entrada y salida, así como un talud situado en las inmediaciones de la traza. La zona se emplaza en un entorno característico de la Cordillera Ibérica turolense, condicionado por la presencia de relieves mesozoicos en los márgenes de la depresión del Jiloca y por depósitos neógenos y cuaternarios asociados a glacis, abanicos aluviales, coluviones y fondos de valle.

Desde el punto de vista fisiográfico, el entorno de Alba se caracteriza por la transición entre las sierras y plataformas carbonatadas jurásicas, con presencia local de materiales triásicos, y la llanura o semifosa tectónica del Jiloca. Las sierras próximas presentan relieves aplanados por antiguas superficies de erosión, posteriormente incididas por barrancos que descienden hacia la llanura. Estos barrancos, al alcanzar zonas de menor pendiente, generan abanicos y conos aluviales formados por gravas, arenas, limos y arcillas.

La morfología de la zona está directamente relacionada con la estructura regional de la Cordillera Ibérica, donde predominan las directrices NO-SE y NNE-SSO, así como con la evolución neotectónica de la fosa del Jiloca. En este contexto, los emboquilles de los túneles y el talud asociado pueden verse afectados por la presencia de macizos rocosos carbonatados fracturados, materiales detríticos parcialmente cementados, recubrimientos coluviales y depósitos de abanico o glacis, cuya distribución y espesor deberán ser contrastados mediante cartografía geológica de detalle y reconocimientos de campo.

El clima presenta rasgos mediterráneos continentalizados, propios del interior turolense, con inviernos fríos, veranos secos y amplitud térmica anual acusada. Las precipitaciones son moderadas a escasas e irregulares, aunque los episodios de lluvia intensa pueden activar procesos de escorrentía concentrada, erosión en barrancos, lavado de finos y pequeños desprendimientos o deslizamientos superficiales en taludes naturales y excavados.

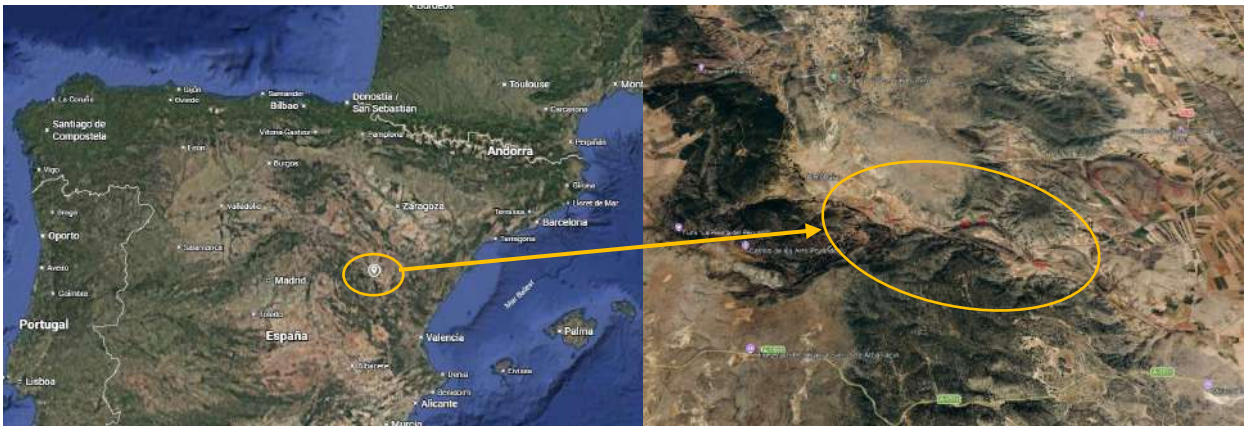


Figura 1: Ubicación de la zona del proyecto (fuente: Google Earth).

2. TRABAJOS REALIZADOS

2.1. Visita de campo

La campaña de investigación ha consistido en la inspección visual de la zona objeto de estudio, incluyendo los dos túneles previstos, sus respectivos emboquilles y el talud situado en el entorno de la traza. La inspección se ha orientado a identificar las unidades litológicas aflorantes, el grado de fracturación y meteorización del macizo rocoso, la presencia de recubrimientos superficiales, indicios de inestabilidad y posibles condicionantes hidrogeológicos.

Durante la visita se han revisado los emboquilles de ambos túneles, prestando especial atención a la geometría de las laderas, continuidad de los estratos, orientación de discontinuidades, presencia de diaclasas abiertas, bloques potencialmente inestables, desprendimientos previos, acumulaciones de derrubios y zonas de alteración superficial. Asimismo, se han inspeccionado los taludes existentes, evaluando su estado actual y las posibles condiciones de estabilidad a corto y medio plazo.

La metodología aplicada se basa en la inspección visual, vuelo de dron para obtención de modelos y en un reconocimiento geológico previo al comienzo de los trabajos. Este reconocimiento tiene como objetivo obtener una visión geológica general del área de proyecto, definir los puntos más críticos y establecer una primera zonificación geotécnica de los materiales afectados por la excavación de túneles, emboquilles y taludes.

La información empleada para la redacción del presente anejo se ha obtenido a partir de la cartografía geológica disponible, especialmente la hoja MAGNA 541, Santa Eulalia, del Instituto Geológico y Minero de España, así como de los reconocimientos de campo realizados por técnicos con experiencia en cartografía geológica y caracterización geotécnica de macizos rocosos y depósitos cuaternarios.

3. ENCUADRE GEOLÓGICO REGIONAL

En un contexto geológico regional, la zona de Alba se sitúa en la Cordillera Ibérica, dentro del sector turolense asociado a la depresión o fosa del Jiloca. La Cordillera Ibérica constituye una cadena intraplaca de dirección dominante NO-SE, formada por materiales paleozoicos, triásicos, jurásicos, cretácicos, paleógenos, neógenos y cuaternarios, afectados por distintas fases tectónicas alpinas y por etapas distensivas posteriores.

El área de estudio queda integrada en la hoja geológica 541, Santa Eulalia, donde afloran materiales pertenecientes al Ordovícico, Triásico, Jurásico, Eoceno superior, Oligoceno, Mioceno, Plioceno y Cuaternario. La región está condicionada por la presencia de la fosa del Jiloca, una depresión tectónica orientada aproximadamente según la directriz ibérica, que separa sectores elevados de sustrato mesozoico y paleozoico.

En la siguiente figura se muestra un mapa geológico regional del área del proyecto.

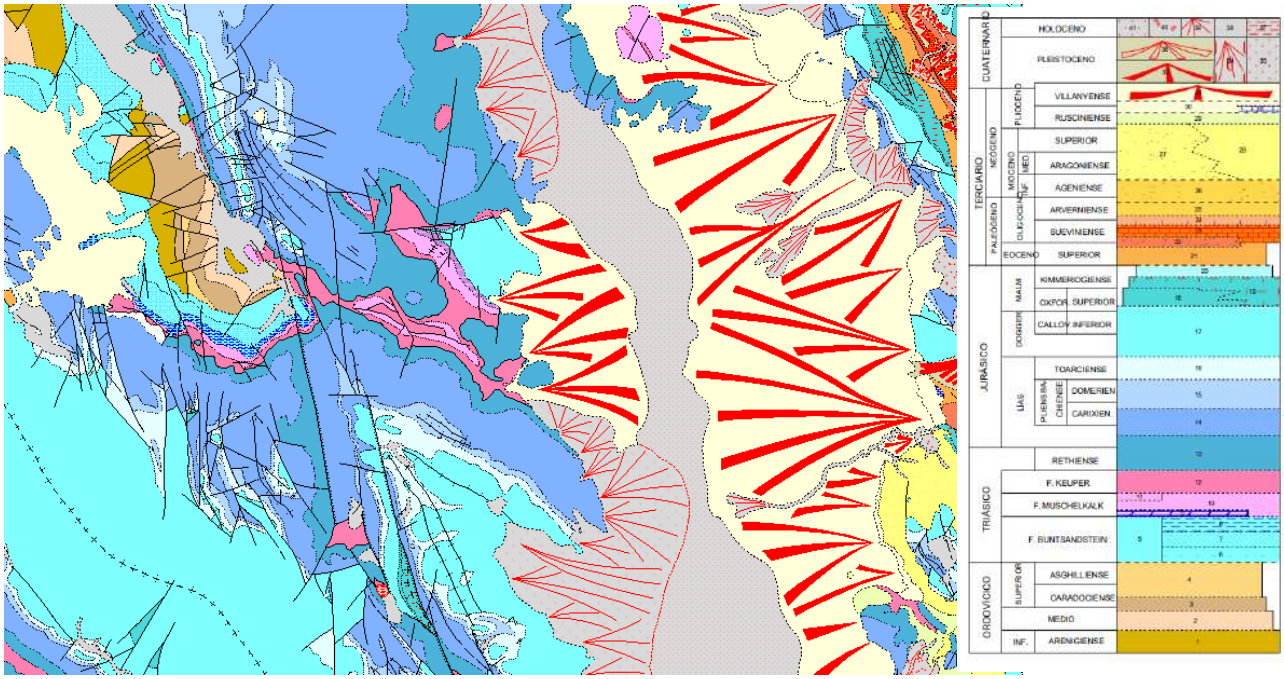


Figura 2: Mapa geológico a escala regional de la zona del proyecto en Alba (Teruel) (fuente: IGME).

Desde el punto de vista estructural, la hoja de Santa Eulalia queda marcada por la interacción entre materiales mesozoicos y paleógenos deformados y depósitos neógenos y cuaternarios que rellenan o fosilizan parcialmente la depresión. Los relieves carbonatados jurásicos y los materiales triásicos forman sierras y plataformas aplanadas, mientras que las zonas deprimidas están ocupadas por depósitos detríticos continentales, glacis, abanicos aluviales, coluviones y aluviales recientes.

La fosa del Jiloca tiene un origen tectónico ligado a fases distensivas neógenas y pliocenas, con fallas normales de orientación principal NO-SE y NNE-SSO. Esta estructura ha condicionado tanto la sedimentación neógena y cuaternaria como el modelado actual del relieve, generando contrastes morfológicos entre los bloques elevados y la llanura del Jiloca.

De forma simplificada, los principales conjuntos geológicos presentes en el entorno regional son los siguientes:

- Materiales paleozoicos, representados principalmente por cuarcitas, pizarras y areniscas en los sectores de Sierra Menera y áreas próximas.

- Materiales triásicos, con areniscas, lutitas, dolomías, calizas, margas y niveles yesíferos, que actúan localmente como niveles de despegue o zonas de menor competencia geomecánica.
- Materiales jurásicos, dominados por calizas, dolomías, margas y calizas margosas, que forman relieves estructurales, cuestas, escarpes y plataformas carbonatadas.
- Materiales terciarios continentales, constituidos por conglomerados, areniscas, limolitas, arcillas, margas y calizas lacustres o palustres.
- Depósitos cuaternarios, asociados a glacis, abanicos, coluviones, fondos de valle y aluviales del río Jiloca y de los barrancos tributarios.

En la zona específica del proyecto, los materiales con mayor interés geotécnico para los túneles y emboquilles serán previsiblemente los carbonatos jurásicos, los materiales detríticos y arcillosos triásicos o terciarios, y los recubrimientos cuaternarios de ladera y abanico.

4. GEOLOGÍA LOCAL

La geología local de Alba viene determinada por su posición en el borde de la depresión del Jiloca y por la proximidad de relieves mesozoicos formados principalmente por calizas jurásicas y, en menor medida, materiales triásicos. El relieve se organiza mediante sierras y plataformas carbonatadas, incididas por barrancos que drenan hacia la llanura del Jiloca y generan depósitos de abanico y coluvión en las zonas de pie de monte.

En el ámbito de los túneles y del talud se pueden distinguir, con carácter general, las siguientes unidades litológicas y geomorfológicas:

Materiales carbonatados jurásicos

Los materiales jurásicos constituyen una de las unidades principales del entorno de Alba. Están formados por calizas, dolomías, calizas margosas y margas, con niveles de diferente competencia. Las calizas y dolomías suelen dar lugar a relieves resistentes, escarpes, plataformas y laderas de pendiente moderada a acusada, mientras que los niveles margosos intercalados pueden generar zonas de menor resistencia, alteración superficial y formación de pequeños rellanos o planos de debilidad.

Desde el punto de vista de las obras subterráneas, los tramos carbonatados son los más favorables cuando se presentan masivos, poco alterados y con fracturación moderada. No obstante, la presencia de diaclasas abiertas, planos de estratificación desfavorables, fracturas tectónicas, zonas karstificadas o niveles margosos intercalados puede condicionar la estabilidad de los emboquilles y del avance de excavación.

En superficie, estos materiales pueden presentar procesos de disolución y karstificación, especialmente en zonas de plataforma, con desarrollo de dolinas, arcillas de decalcificación y pequeñas cavidades. En el caso de que alguno de los túneles atraviese calizas karstificadas, será necesario prever posibles huecos, rellenos arcillosos, circulación preferente de agua y variaciones bruscas de calidad geomecánica.

Materiales triásicos

En el entorno regional pueden aparecer materiales triásicos formados por areniscas, lutitas, arcillas, margas, dolomías y yesos. Estos materiales presentan un comportamiento geotécnico muy variable. Las areniscas triásicas pueden formar niveles competentes, aunque frecuentemente afectados por fracturación y meteorización superficial. Por el contrario, las arcillas, margas y yesos del Keuper presentan menor resistencia, mayor deformabilidad y sensibilidad frente al agua.

La presencia de materiales margo-yesíferos o arcillosos en el entorno de emboquilles o taludes constituye un condicionante geotécnico importante, ya que puede favorecer procesos de alteración, reblandecimiento, lavado de finos, expansividad local, pérdida de resistencia y aparición de inestabilidades superficiales o profundas. En túneles, estos niveles pueden comportarse como zonas de baja calidad geomecánica, con necesidad de sostenimiento reforzado y control hidrogeológico.

Materiales terciarios continentales

Los materiales terciarios continentales están representados por conglomerados, areniscas, limolitas, arcillas, margas y calizas lacustres o palustres. Estos depósitos se relacionan con

ambientes de abanico aluvial, sistemas fluviales, llanuras de inundación y medios lacustres. En la hoja geológica de Santa Eulalia se describen unidades miocenas y pliocenas formadas por conglomerados y limolitas rojas, calizas y margas blancas, conglomerados, areniscas y arcillas, así como conglomerados mixtos y fangos asociados a la fosa del Jiloca.

Desde el punto de vista geotécnico, los conglomerados pueden presentar comportamiento de roca blanda o suelo cementado, dependiendo del grado de cementación carbonatada. Cuando se encuentran bien cementados, pueden formar taludes relativamente estables, aunque con desprendimientos de bloques o cantos por erosión diferencial de la matriz. En cambio, las limolitas, arcillas y margas presentan menor resistencia y son más sensibles a los cambios de humedad, por lo que pueden condicionar la estabilidad de emboquilles y taludes.

Cuaternario – Glacis, abanicos, coluviones y aluviales

Se han reconocido depósitos cuaternarios con morfología de terraza, compuestos por gravas, arenas y limos. En las inmediaciones del Puente de Montañana se han reconocido tres niveles situados a las cotas de +2,5 m, +5-10 m y +20-25 m.

El espesor de estos materiales se sitúa en torno a los 2-3 m. Los dos niveles más altos se han atribuido al Pleistoceno, mientras que el más bajo sería de edad holocena.

Cuaternario - Holoceno – Arenas, gravas y limos de fondo de valle (52)

Los depósitos cuaternarios tienen una presencia relevante en el entorno de Alba, especialmente en las zonas bajas, pie de ladera, fondos de barranco y margen de la llanura del Jiloca. Están formados por gravas, arenas, limos y arcillas, con cantos generalmente angulosos a subangulosos procedentes del desmantelamiento de los relieves mesozoicos.

Los glacis y abanicos aluviales se disponen como superficies suavemente inclinadas hacia la depresión del Jiloca. Pueden presentar espesores variables y, localmente, encostramientos carbonatados en los niveles superiores. Los coluviones aparecen adosados a las laderas y están formados por bloques y cantos calizos incluidos en matriz margo-arcillosa o limo-arcillosa. Los fondos de valle y aluviales actuales están constituidos por gravas, arenas y arcillas depositadas por el río Jiloca y por barrancos tributarios.

En relación con el proyecto, estos depósitos son especialmente relevantes en los emboquilles, donde pueden constituir recubrimientos superficiales sobre el macizo rocoso. Su espesor, compacidad, humedad y continuidad lateral condicionarán la excavabilidad, la estabilidad de los desmontes de acceso y la necesidad de saneo, sostenimiento, bulonado, mallazo, hormigón proyectado, drenaje o pantallas de protección.

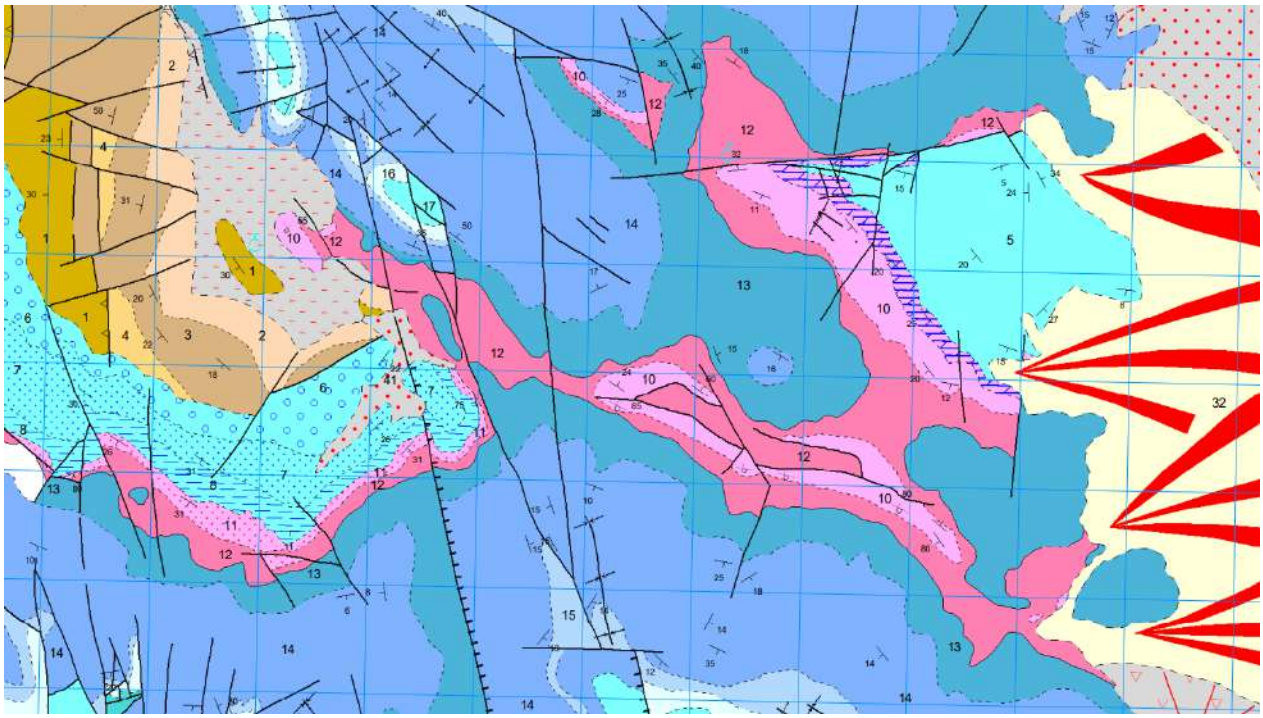


Figura 3: Mapa geológico en detalle de la zona del proyecto (fuente: IGME)

4.1. Características geotécnicas de los materiales por zonas de estudio

A partir de los datos obtenidos de los trabajos de campo y del reconocimiento geológico-geotécnico realizado en el ámbito de actuación, se establecen las características principales de los materiales presentes en cada una de las zonas de estudio definidas para el proyecto.

La sectorización adoptada permite diferenciar el comportamiento geotécnico previsto en el talud aislado occidental y en los emboquilles de los dos túneles proyectados, teniendo en cuenta la litología dominante, el grado de alteración, la fracturación, la posible presencia de recubrimientos superficiales y los condicionantes asociados a la estabilidad de taludes y excavaciones.

Las unidades geotécnicas consideradas son las siguientes:

- UG-1: Depósitos carbonatados jurásicos, formados por calizas, dolomías y calizas margosas.
- UG-2: Materiales triásicos detríticos y margo-yesíferos, constituidos por areniscas, lutitas, arcillas, margas, dolomías y niveles yesíferos.
- UG-3: Materiales terciarios detríticos, formados por conglomerados, areniscas, limolitas, arcillas y margas.
- UG-4: Depósitos cuaternarios de glacis, abanico, coluvión y aluvial, constituidos por gravas, arenas, limos, arcillas y bloques incluidos en matriz fina.

Zona 1. Talud aislado occidental

La Zona 1 corresponde a un talud aislado situado en el sector occidental del ámbito de actuación. Desde el punto de vista geológico-geotécnico, su análisis se centra en la estabilidad del talud, el reconocimiento de los materiales aflorantes, la posible presencia de recubrimientos superficiales y la identificación de mecanismos de inestabilidad asociados a la geometría de la ladera o excavación.

En esta zona se diferencian dos comportamientos principales. En los extremos izquierdo y derecho del talud predominan los afloramientos rocosos fracturados, con presencia de bloques y fragmentos susceptibles de desprendimiento puntual. En la zona central se reconoce un frente más degradado, asociado a procesos de desprendimiento previo, acumulación de material suelto y mayor sensibilidad frente a la erosión superficial. Esta diferenciación condiciona la necesidad de adoptar soluciones de protección y estabilización distintas en función del sector del talud.

Los depósitos carbonatados jurásicos, correspondientes a la UG-1, pueden constituir el sustrato rocoso principal o aparecer como afloramientos localizados en el entorno del talud. Están formados por calizas, dolomías y calizas margosas, generalmente estratificadas, con resistencia media a alta cuando se encuentran sanas. No obstante, su comportamiento geotécnico estará condicionado por la orientación de la estratificación, el grado de fracturación, la meteorización superficial y la posible presencia de discontinuidades abiertas o rellenas.

En los sectores rocosos del talud, estos materiales pueden dar lugar a desprendimientos de bloques, deslizamientos planares o formación de cuñas si las familias de discontinuidades presentan orientación desfavorable respecto a la cara libre. Las discontinuidades pueden delimitar bloques parcialmente desconfinados, especialmente en los extremos del talud.

Los materiales triásicos detríticos y margo-yesíferos, incluidos en la UG-2, pueden aparecer en el entorno de la zona como niveles de comportamiento heterogéneo, asociados a areniscas,

lutitas, arcillas, margas, dolomías y posibles niveles yesíferos. Aunque su presencia pueda ser local o quedar parcialmente cubierta por depósitos superficiales, su influencia geotécnica es relevante cuando aparecen niveles arcillosos o margosos alterados, contactos litológicos o planos de debilidad.

Estos materiales pueden favorecer inestabilidades superficiales, pérdida de resistencia en presencia de agua, erosión diferencial y degradación progresiva del pie o del cuerpo del talud. En caso de presencia de niveles arcillosos o margosos, la circulación de agua superficial puede incrementar la alteración y favorecer procesos de reblandecimiento o lavado de finos.

Los materiales terciarios detríticos, correspondientes a la UG-3, pueden presentarse en sectores próximos o en transición con el talud, constituidos por conglomerados, areniscas, limolitas, arcillas y margas. Su comportamiento es variable en función del grado de cementación y de la proporción de matriz fina. Los niveles conglomeráticos cementados pueden generar desprendimientos de cantos o bloques por erosión diferencial de la matriz, mientras que las limolitas, arcillas y margas pueden presentar erosión superficial, formación de cárcavas y pérdida de resistencia por incremento de humedad.

Los depósitos cuaternarios de glacis, abanico, coluvión y aluvial, correspondientes a la UG-4, pueden aparecer como recubrimientos superficiales sobre el talud, depósitos de ladera, derrubios acumulados al pie o materiales de relleno natural en vaguadas próximas. Están formados por gravas, arenas, limos, arcillas y bloques de tamaño variable, generalmente con matriz limo-arcillosa. Estos materiales presentan elevada heterogeneidad y pueden condicionar la estabilidad superficial del talud, especialmente en presencia de escorrentía concentrada, lavado de finos o acumulación de materiales sueltos.

En conjunto, la Zona 1 deberá analizarse prestando especial atención a la presencia de bloques sueltos, niveles alterados, superficies de discontinuidad desfavorables, contactos entre materiales competentes e incompetentes, erosión superficial, acumulaciones de derrubios en pie de talud y posibles afecciones por circulación de agua superficial.

ZONA 1	**Parámetros geotécnicos y Químicos**			
UG-1 Depósitos carbonatados jurásicos	**Cohesión efectiva, Cu**	*20-60 kp/cm²* *	**Densidad seca, γ**	2,3-2,6 gr/cm³ *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	30 º- 40º *	**Meteorización**	Baja-Moderada
UG-2 Materiales triásicos detríticos y margo-yesíferos. Tramos arcilloso-margosos	**Cohesión efectiva, Cu**	*0,5-2 kp/cm²* *	**Densidad seca, γ**	1,9-2,2 gr/cm³ *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	18 º- 28º *	**Meteorización**	Moderada-alta
UG-2 Materiales triásicos detríticos y margo-yesíferos. Tramos areniscosos	**Cohesión efectiva, Cu**	*5-25 kp/cm²* *	**Densidad seca, γ**	2,1-2,4 gr/cm³ *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	28 º- 35º *	**Meteorización**	Moderada
UG-3 ateriales terciarios detríticos	**Cohesión efectiva, Cu**	*0,5-20 kp/cm²* *	**Densidad aparente, γ**	2,0-2,3 gr/cm³ *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	24º-35º *	**Meteorización**	Moderada-Alta
UG-4 Depósitos cuaternarios de glacis, abanico, coluvión y aluvial	**Cohesión efectiva, Cu**	*0 -0,5 kp/cm²* *	**Densidad seca, γ**	1,8-2,2 gr/cm³ *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	28 º- 36º *	**Meteorización**	Alta

Zona 2. Túnel 1 y zonas de emboquille

La Zona 2 corresponde al primer túnel incluido en el proyecto y a sus zonas de emboquille. Para su análisis geológico-geotécnico se diferencian dos subzonas: Zona 2.1, correspondiente a uno de los emboquilles del túnel, y Zona 2.2, correspondiente al emboquille opuesto.

En esta zona se consideran las cuatro unidades geotécnicas definidas en el ámbito de estudio, ya sea por su presencia directa en los emboquilles y taludes asociados, por su posible aparición en el trazado subterráneo o por su influencia en zonas de contacto, recubrimiento o drenaje.

Los depósitos carbonatados jurásicos de la UG-1 pueden constituir tramos competentes del macizo rocoso atravesado por el túnel o aparecer en los taludes de emboquille. Están formados por calizas, dolomías y calizas margosas, con resistencia media a alta en estado sano. Sin embargo, en los emboquilles el reducido confinamiento del terreno y la presencia de discontinuidades pueden favorecer la generación de bloques inestables, cuñas o desprendimientos localizados.

El comportamiento del macizo estará controlado por la estratificación, las familias de diaclasas, la fracturación tectónica, el grado de meteorización y la posible existencia de rellenos arcillosos o calcíticos. En las zonas próximas a la boca del túnel, la pérdida de confinamiento puede favorecer la apertura de discontinuidades y la caída de fragmentos desde los taludes o desde el entorno inmediato del emboquille.

Los materiales triásicos detríticos y margo-yesíferos de la UG-2 pueden representar una unidad especialmente condicionante en el análisis del túnel y sus bocas, debido a su heterogeneidad litológica y sensibilidad frente al agua. Las areniscas pueden comportarse como roca blanda a moderadamente competente, mientras que las arcillas, margas, lutitas y niveles yesíferos presentan menor resistencia, mayor alterabilidad y peor comportamiento frente a la humedad.

En los emboquilles, estos materiales pueden generar problemas de estabilidad si aparecen planos de estratificación desfavorables, niveles arcillosos reblandecidos, contactos entre materiales competentes e incompetentes o zonas de fracturación intensa. En excavación subterránea, su presencia puede requerir sostenimientos más próximos al frente, control de convergencias y medidas específicas de drenaje.

Los materiales terciarios detríticos de la UG-3 pueden aparecer en el entorno de la Zona 2 como depósitos continentales de conglomerados, areniscas, limolitas, arcillas y margas, especialmente en zonas de ladera, vaguada o transición hacia los accesos. Su comportamiento dependerá de la cementación y de la proporción de matriz fina. En los taludes de emboquille o accesos, los niveles conglomeráticos pueden favorecer desprendimientos de cantos por erosión de la matriz, mientras que las arcillas y limolitas pueden provocar erosión superficial, cárcavas e inestabilidades someras, especialmente en presencia de agua.

Los depósitos cuaternarios de la UG-4 tendrán una importancia particular en las zonas de emboquille, donde pueden formar recubrimientos poco competentes sobre el sustrato rocoso. Estos materiales pueden corresponder a glacis, abanicos, coluviones, aluviales o derrubios de ladera, con gravas, arenas, limos, arcillas y bloques de naturaleza mayoritariamente carbonatada. Durante la excavación de los taludes de acceso o de las bocas del túnel pueden presentar desprendimientos superficiales, caída de bloques, erosión de matriz, lavado de finos y pérdida de estabilidad en condiciones de humedad elevada.

En las zonas de emboquille de la Zona 2, además de la estabilidad general de los taludes, adquieren especial importancia los procesos de degradación superficial, caída de fragmentos rocosos y movilización de material suelto. El reducido confinamiento del terreno en el entorno de la

boca del túnel, unido a la posible fracturación del macizo y a la presencia de recubrimientos superficiales, puede favorecer desprendimientos localizados y pérdida progresiva de estabilidad del frente.

La circulación de agua superficial y la posible infiltración hacia el entorno del túnel constituyen un condicionante geotécnico relevante. En particular, la escorrentía procedente de la coronación puede favorecer procesos de erosión, lavado de finos y degradación de los materiales más alterables, mientras que la presencia de agua en el interior del túnel puede incrementar las presiones intersticiales y reducir la resistencia de niveles arcillosos, margosos o fracturados.

Por ello, en la Zona 2.1 se considera adecuada la protección de los taludes próximos al emboquille mediante geomanta reforzada, fijada al terreno, previa ejecución de saneo de bloques o fragmentos inestables. Asimismo, el refuerzo del emboquille mediante pletinas se justifica por el posible desconfinamiento, fracturación y riesgo de desprendimiento localizado en el entorno inmediato de la boca. La ejecución de drenes en el túnel permite favorecer la evacuación del agua infiltrada y reducir los efectos desfavorables asociados a la presencia de humedad o presión de agua.

En la Zona 2.2, además de la protección superficial mediante geomanta reforzada y el refuerzo del emboquille mediante pletinas, cobra especial importancia el control de la escorrentía superficial mediante cuneta de coronación. Esta medida permite interceptar y conducir las aguas procedentes de la parte superior del talud, reduciendo los procesos de erosión, lavado de finos, degradación superficial y posible pérdida de resistencia de los materiales.

Los emboquilles de la Zona 2 constituyen, por tanto, puntos especialmente sensibles desde el punto de vista geotécnico, debido al reducido confinamiento del terreno, la posible heterogeneidad litológica, la presencia de recubrimientos superficiales, la influencia del agua y la concentración de excavaciones en ladera. La caracterización deberá ser específica para cada subzona, evaluando la estabilidad de los taludes, la orientación de la estratificación y discontinuidades, la potencia de los recubrimientos, la circulación de agua y la existencia de contactos litológicos o zonas alteradas.

ZONA 2	**Parámetros geotécnicos y Químicos**			
UG-1 Depósitos carbonatados jurásicos	**Cohesión efectiva, Cu**	*20-60 kp/cm²* *	**Densidad seca, γ**	2,3-2,6 gr/cm³ *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	30 º- 40º *	**Meteorización**	Baja-Moderada
UG-2 Materiales triásicos detríticos y margo-yesíferos. Tramos arcilloso-margosos	**Cohesión efectiva, Cu**	*0,5-2 kp/cm²* *	**Densidad seca, γ**	1,9-2,2 gr/cm³ *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	18 º- 28º *	**Meteorización**	Moderada-alta
UG-2 Materiales triásicos detríticos y margo-yesíferos. Tramos areniscosos	**Cohesión efectiva, Cu**	*5-25 kp/cm²* *	**Densidad seca, γ**	2,1-2,4 gr/cm³ *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	28 º- 35º *	**Meteorización**	Moderada
UG-3 ateriales terciarios detríticos	**Cohesión efectiva, Cu**	*0,5-20 kp/cm²* *	**Densidad aparente, γ**	2,0-2,3 gr/cm³ *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	24º-35º *	**Meteorización**	Moderada-Alta
UG-4 Depósitos cuaternarios de glacis, abanico, coluvión y aluvial	**Cohesión efectiva, Cu**	*0 -0,5 kp/cm²* *	**Densidad seca, γ**	1,8-2,2 gr/cm³ *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	28 º- 36º *	**Meteorización**	Alta

Zona 3. Túnel 2 oriental y zonas de emboquille

La Zona 3 corresponde al segundo túnel del proyecto, situado en el sector oriental del ámbito de actuación. Al igual que en la Zona 2, se diferencian dos subzonas de análisis: Zona 3.1, correspondiente a uno de los emboquilles del túnel, y Zona 3.2, correspondiente al emboquille opuesto.

En esta zona se consideran igualmente las cuatro unidades geotécnicas definidas para el ámbito de estudio, con especial atención a su distribución en los emboquilles, taludes de acceso, trazado subterráneo y entorno inmediato del túnel.

Los depósitos carbonatados jurásicos de la UG-1 pueden aparecer como sustrato rocoso competente o como afloramientos próximos al trazado del túnel y sus emboquilles. Están formados por calizas, dolomías y calizas margosas, generalmente estratificadas y de resistencia media a alta cuando se encuentran sanas. Su comportamiento geotécnico estará condicionado por la disposición de la estratificación, la fracturación, la meteorización superficial, la karstificación local y las posibles discontinuidades abiertas o rellenas.

En los emboquilles pueden producirse inestabilidades por caída de bloques, formación de cuñas, descalces localizados o apertura progresiva de discontinuidades. La disposición relativa entre estratificación, juntas y cara libre del talud puede delimitar paquetes rocosos potencialmente inestables, especialmente en sectores donde el macizo se encuentre desconfinado o afectado por fracturación persistente.

Los materiales triásicos detríticos y margo-yesíferos de la UG-2 pueden constituir una unidad de especial relevancia en la Zona 3, especialmente cuando aparezcan niveles arcillosos, margosos o yesíferos en contacto con materiales más competentes. Su comportamiento es heterogéneo y puede variar desde areniscas de comportamiento moderadamente competente hasta arcillas, margas y yesos de baja resistencia y elevada alterabilidad.

La presencia de agua puede producir reblandecimiento de niveles arcillosos, disolución local de yesos, pérdida de resistencia y generación de zonas de debilidad. En el entorno de los emboquilles, estos materiales pueden favorecer inestabilidades superficiales, deslizamientos someros y necesidad de medidas de drenaje, protección o sostenimiento preventivo.

Los materiales terciarios detríticos de la UG-3 pueden tener una presencia significativa en el entorno oriental del ámbito de actuación, estando constituidos por conglomerados, areniscas, limolitas, arcillas y margas de origen continental. Los conglomerados, si presentan cementación suficiente, pueden comportarse como materiales relativamente competentes, aunque la erosión de la matriz puede originar caída de cantos y desprendimientos localizados. Por su parte, las limolitas, arcillas y margas pueden comportarse como suelos duros o rocas blandas, con sensibilidad frente al agua, erosión superficial y formación de cárcavas en taludes.

Los depósitos cuaternarios de la UG-4 pueden aparecer como recubrimientos de glacis, abanico, coluvión, aluviales o derrubios de ladera en los accesos y emboquilles del túnel. Su espesor puede ser variable y su comportamiento dependerá de la granulometría, compacidad, cementación, contenido en finos y humedad. En excavaciones próximas a los emboquilles pueden generar problemas de estabilidad superficial, desprendimientos de bloques incluidos en matriz fina, lavado de finos y erosión por escorrentía.

En la Zona 3, además de las inestabilidades superficiales habituales en los taludes de emboquille, se identifican condicionantes asociados a la presencia de bloques y cuñas rocosas de

mayor entidad. La disposición de la estratificación, junto con familias de juntas y fracturas, puede delimitar paquetes rocosos parcialmente desconfinados, especialmente en las proximidades de la boca del túnel y en los paños rocosos laterales. Estos elementos pueden presentar riesgo de movilización por apertura de discontinuidades, descalce progresivo, vuelco, rotura planar o desprendimiento localizado.

Adicionalmente, en el interior del túnel, especialmente en los primeros metros desde el emboquille, el macizo puede presentar zonas de fracturación, lajeado o degradación localizada en clave y hastiales. Estas condiciones pueden favorecer la caída de fragmentos desde el contorno excavado y justifican la necesidad de medidas de sostenimiento interior, confinamiento del macizo y cosido de bloques mediante elementos pasivos.

En la Zona 3.2, los condicionantes geotécnicos se encuentran especialmente relacionados con la presencia de grandes cuñas rocosas junto al emboquille. La estabilidad de estas cuñas puede estar controlada por la continuidad de las discontinuidades, la apertura de fisuras, la orientación de la estratificación, la rugosidad de los planos de junta y el grado de conexión entre fracturas.

Con carácter previo al cosido de bloques, el sellado de fisuras y grietas con mortero compatible, así como la posterior inyección de lechada, permiten mejorar la continuidad del macizo, reducir la entrada de agua y consolidar las zonas más fracturadas o abiertas. Estas actuaciones resultan especialmente adecuadas en sectores donde la apertura de discontinuidades pueda favorecer mecanismos de vuelco, rotura planar, formación de cuñas o desprendimiento localizado.

El análisis de la Zona 3 deberá orientarse a determinar la calidad del terreno o macizo excavado, el grado de fracturación y meteorización, la potencia de los recubrimientos cuaternarios, la posible presencia de contactos entre unidades geotécnicas, la existencia de circulación de agua y los condicionantes derivados de estructuras tectónicas o discontinuidades desfavorables.

ZONA 3		**Parámetros geotécnicos y Químicos**		
UG-1 Depósitos carbonatados jurásicos	**Cohesión efectiva, Cu**	*20-60 kp/cm^2* *	**Densidad seca, γ**	2,3-2,6 gr/cm^3 *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	30 º- 40º *	**Meteorización**	Baja-Moderada
UG-2 Materiales triásicos detríticos y margo-yesíferos. Tramos arcilloso-margosos	**Cohesión efectiva, Cu**	*0,5-2 kp/cm^2* *	**Densidad seca, γ**	1,9-2,2 gr/cm^3 *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	18 º- 28º *	**Meteorización**	Moderada-alta
UG-2 Materiales triásicos detríticos y margo-yesíferos. Tramos areniscosos	**Cohesión efectiva, Cu**	*5-25 kp/cm^2* *	**Densidad seca, γ**	2,1-2,4 gr/cm^3 *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	28 º- 35º *	**Meteorización**	Moderada
UG-3 ateriales terciarios detríticos	**Cohesión efectiva, Cu**	*0,5-20 kp/cm^2* *	**Densidad aparente, γ**	2,0-2,3 gr/cm^3 *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	24º-35º *	**Meteorización**	Moderada-Alta
UG-4 Depósitos cuaternarios de glacis, abanico, coluvión y aluvial	**Cohesión efectiva, Cu**	*0 -0,5 kp/cm^2* *	**Densidad seca, γ**	1,8-2,2 gr/cm^3 *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	28 º- 36º *	**Meteorización**	Alta

5. TECTÓNICA

La zona de estudio se sitúa en la Cordillera Ibérica, en un área afectada por varias fases tectónicas alpinas y por una etapa distensiva neógena y pliocuaternaria responsable de la configuración de la fosa del Jiloca.

Desde el punto de vista regional, los materiales mesozoicos y paleógenos fueron deformados durante las fases compresivas alpinas, generando pliegues, fallas inversas y estructuras con dirección predominante NO-SE, correspondiente a la directriz ibérica. También se reconocen estructuras transversales de orientación NE-SO y NNE-SSO, algunas de las cuales han sido reactivadas durante etapas posteriores.

La estructura regional puede resumirse en los siguientes conjuntos:

- Basamento paleozoico, constituido por series ordovícicas deformadas durante la orogenia hercínica.
- Tegumento triásico, integrado por materiales detríticos y carbonatados que se adaptan a las estructuras de fondo.
- Nivel de despegue, asociado a los materiales plásticos del Keuper, de naturaleza arcillosa, margosa y yesífera.
- Cobertera jurásica y terciaria, afectada por plegamiento, fracturación y basculamientos.
- Relleno neógeno y cuaternario de las depresiones tectónicas, con disposición generalmente subhorizontal o suavemente basculada.

La fosa del Jiloca se configura como una depresión tectónica asociada a fallas normales de dirección principal NO-SE y NNE-SSO. Estas fallas generaron el hundimiento relativo de la depresión y el levantamiento de bloques mesozoicos adyacentes, como Sierra Palomera y otros relieves próximos. La actividad tectónica reciente ha condicionado la formación de escarpes, abanicos aluviales, glacis y zonas de incisión lineal.

En relación con el proyecto, la tectónica regional puede tener incidencia directa en:

- La orientación y continuidad de las discontinuidades en el macizo rocoso.
- La presencia de zonas de falla o brecha tectónica en los túneles.
- La aparición de contactos bruscos entre materiales competentes e incompetentes.
- La estabilidad de emboquilles si las discontinuidades buzan desfavorablemente hacia la excavación.
- La circulación preferente de agua a través de fracturas, contactos litológicos o zonas karstificadas.
- La heterogeneidad de los depósitos de pie de monte y abanico en la zona del talud.

6. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

El contexto geomorfológico del área de Alba está dominado por la transición entre los relieves mesozoicos de la Cordillera Ibérica y la depresión tectónica del Jiloca. Se distinguen relieves carbonatados relativamente resistentes, superficies de erosión elevadas, laderas regularizadas, barrancos encajados, glacis, abanicos aluviales y depósitos de fondo de valle.

Los relieves de calizas jurásicas y areniscas triásicas se encuentran muy aplanados por antiguas superficies de erosión, situadas localmente en torno a cotas superiores a la llanura del Jiloca. Estas superficies han sido posteriormente fracturadas, basculadas e incididas por la red de drenaje. Los barrancos que descienden desde las sierras hacia la llanura presentan pendientes elevadas en cabecera y tramo medio, y al alcanzar la depresión generan conos y abanicos aluviales de gravas y arcillas.

A ambos lados del eje del Jiloca se desarrollan extensos glacis plio-cuaternarios y cuaternarios, formados por depósitos detríticos procedentes de la erosión de los relieves elevados. Estos glacis pueden presentar espesores variables y encostramientos carbonatados superficiales. En las zonas próximas a escarpes de falla y pies de ladera se desarrollan abanicos y coluviones con cantos y bloques calizos incluidos en matriz limo-arcillosa.

La red fluvial principal está representada por el río Jiloca, que discurre con dirección general S-N en el sector de la hoja. A esta red principal se incorporan barrancos y arroyos de régimen generalmente estacional, con funcionamiento torrencial durante episodios de precipitación intensa. Estos cursos pueden provocar erosión lineal, incisión de cauces, socavación en pie de talud y transporte de gravas, arenas y limos.

Los procesos geomorfológicos con mayor incidencia potencial sobre el proyecto son los siguientes:

- Desprendimientos de bloques en laderas carbonatadas fracturadas.
- Inestabilidades superficiales en coluviones y depósitos de ladera.
- Erosión en cárcavas y barrancos sobre materiales arcillosos o limo-arcillosos.
- Lavado de finos y pérdida de soporte en depósitos de abanico.
- Reblandecimiento de margas y arcillas durante episodios húmedos.
- Circulación preferente de agua en discontinuidades, contactos litológicos y zonas karstificadas.
- Acumulación de derrubios en pies de talud y zonas de emboquille.

ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES PARA LA ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DEL ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO COMO CAMINO NATURAL, ALBA (TERUEL, ARAGÓN)

ANEJO 2

Estudio sísmico

1. INTRODUCCIÓN

A pesar de ser un proyecto se deben dar unos datos aproximados de la actividad sísmica de la zona de proyecto, así como de la peligrosidad que ésta entraña. Para ello se recurre a la norma NSCE-02, editada por el Ministerio de Fomento. Esta norma establece la siguiente clasificación según el uso final de las construcciones:

- De importancia moderada: aquellas con probabilidad despreciable de que su destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio primario o producir daños significativos a terceros.
- De importancia normal: aquellas cuya destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio para la colectividad o producir importantes pérdidas económicas, sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni dar lugar a efectos catastróficos.
- De importancia especial: aquellas cuya destrucción por el terremoto, pueda interrumpir un servicio imprescindible o dar lugar a efectos catastróficos. En este grupo se incluyen, entre otros: estructuras pertenecientes a vías de comunicación clasificadas como de importancia especial, centrales nucleares, hospitales, aeropuertos, etc.

Según lo expuesto anteriormente, interpretamos que nuestra obra se clasifica como una construcción de importancia normal.

2. APLICACIÓN DE LA NORMATIVA

La peligrosidad sísmica viene definida por el siguiente mapa extraído del capítulo II de la NSCE-02 del Ministerio de Fomento:



Imagen 1: Mapa de peligrosidad sísmica

En dicho mapa se muestra en relación al valor de la gravedad (g), la aceleración sísmica, que corresponde a un valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno, correspondiente a un periodo de retorno de 500 años. A continuación, se muestra este mapa y que suministra adicionalmente los valores del coeficiente de contribución (k) que tiene en consideración la influencia en la peligrosidad sísmica, de cada punto, de los distintos tipos de terremotos considerados en el cálculo de la misma. Señalado en círculo rojo, la zona del proyecto. Este mapa suministra, expresada en relación del valor de la gravedad, g, la aceleración sísmica básica ab. Debido que el valor de ab en nuestra zona de estudio presenta un valor inferior a 0,04g, será ese valor el utilizado para los cálculos oportunos.

A partir de este valor de aceleración sísmica básica y con la ayuda de los coeficientes S (coeficiente de amplificación del terreno) y ρ (coeficiente adimensional de riesgo) obtendremos el valor de la aceleración de cálculo.

La aplicación de esta norma es obligatoria en el ámbito de aplicación establecido excepto en:

- Construcciones de importancia moderada
- Edificaciones de importancia normal o especial en el caso de que la aceleración sísmica básica ab sea inferior a 0,04g, siendo g la aceleración de la gravedad.
- En las construcciones de importancia normal con pórticos bien arriostrados entre sí en todas las direcciones cuando la aceleración sísmica básica sea inferior a 0.08g. No obstante, la norma será de aplicación en los edificios de más de siete plantas si la aceleración sísmica de cálculo, ac, es igual o mayor de 0,08g.

3. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta el mapa sísmico resistente anterior y la clasificación de las obras, llegamos a la conclusión de que el presente estudio, además de encontrarse en una zona con una aceleración básica inferior a 0,04g se clasifica como una obra de importancia moderada; lo cual supone teniendo en cuenta lo establecido en la norma, que en el cálculo de la estructura no será necesario tener en cuenta cargas sísmicas.

ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES PARA LA ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DEL ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO COMO CAMINO NATURAL, ALBA (TERUEL, ARAGÓN)

ANEJO 3

Análisis estructural

1. ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD

El presente anejo tiene por objeto desarrollar el análisis de estabilidad de las distintas zonas de actuación incluidas en el proyecto, a partir de la información obtenida durante la inspección de campo y del modelo tridimensional generado mediante vuelo fotogramétrico con dron. Dicho modelo ha permitido disponer de una representación geométrica precisa de los taludes, emboquilles y afloramientos rocosos, facilitando la identificación de discontinuidades, contactos litológicos, bloques potencialmente inestables y zonas con posibles mecanismos de inestabilidad.

El análisis se ha planteado de forma diferenciada en función de las características geológicas, geométricas y geotécnicas observadas en cada zona. En aquellos sectores donde predominan afloramientos rocosos estructurados, el estudio se ha orientado a la caracterización espacial de las discontinuidades mediante la medición de direcciones de buzamiento y buzamientos de los principales planos identificados, incluyendo estratificación, diaclasas, juntas, fracturas y posibles contactos litológicos. Esta información permite valorar la relación entre la estructura del macizo y la geometría del talud o emboquille, con el fin de identificar posibles mecanismos de rotura planar, rotura en cuña o vuelco.

En las zonas donde la problemática principal está asociada a la estabilidad global o superficial de taludes, el análisis se ha centrado en la geometría de la excavación, la pendiente del frente, la naturaleza de los materiales afectados, el grado de alteración, la presencia de recubrimientos superficiales y la posible influencia del agua. En estos casos se han valorado mecanismos de deslizamiento superficial, pérdida de resistencia en materiales arcillosos o margosos, erosión, lavado de finos y degradación progresiva de los taludes.

Asimismo, en los sectores donde se han identificado bloques rocosos con riesgo potencial de desprendimiento, el análisis se ha dirigido a la delimitación y caracterización de los bloques más desfavorables. Para ello se han tenido en cuenta su geometría, volumen aproximado, grado de descalce, continuidad y apertura de las discontinuidades que los delimitan, existencia de rellenos o alteración en juntas, y relación espacial con la cara libre del talud. Este análisis permite establecer la peligrosidad relativa de los bloques y definir las medidas de estabilización o protección más adecuadas en cada caso.

La base geométrica empleada para el análisis procede del modelo digital del terreno y de los modelos fotogramétricos obtenidos mediante el vuelo realizado en la zona de estudio. A partir de estos modelos se han efectuado mediciones de planos mediante software específico de tratamiento de nubes de puntos, incluyendo CloudCompare y la herramienta Compass, lo que permite obtener valores de dirección de buzamiento y buzamiento en los planos de discontinuidad reconocibles en el modelo. Esta metodología facilita la toma de datos en zonas de difícil acceso y permite complementar las observaciones realizadas directamente en campo.

Cuando ha sido necesario, el análisis espacial de las familias de discontinuidades se ha llevado a cabo mediante proyección estereográfica, representando las orientaciones medidas y comparándolas con la orientación de los taludes. Este procedimiento permite evaluar la existencia de configuraciones cinemáticamente desfavorables, así como determinar los mecanismos potenciales de inestabilidad asociados a la disposición de la estratificación y de las principales familias de juntas.

Teniendo en cuenta las observaciones realizadas, el proyecto se estructura en tres zonas principales de análisis. La zona 1 corresponde a un talud aislado situado en el sector occidental del

ámbito de actuación. La zona 2 se asocia al primer túnel, incluyendo sus emboquilles y taludes vinculados, diferenciados en las subzonas 2.1 y 2.2. La zona 3 corresponde al segundo túnel, situado más al este, igualmente dividido en las subzonas 3.1 y 3.2, asociadas a sus respectivos emboquilles y taludes.

Cada una de estas zonas y subzonas se analiza de forma individualizada en el presente anejo, atendiendo a sus condiciones particulares de geometría, litología, estructura, grado de fracturación, presencia de recubrimientos y posibles condicionantes hidrogeológicos. El objetivo final es identificar los mecanismos de inestabilidad más probables en cada caso y establecer la base técnica para la definición de las soluciones de estabilización, sostenimiento, drenaje o protección que resulten necesarias.

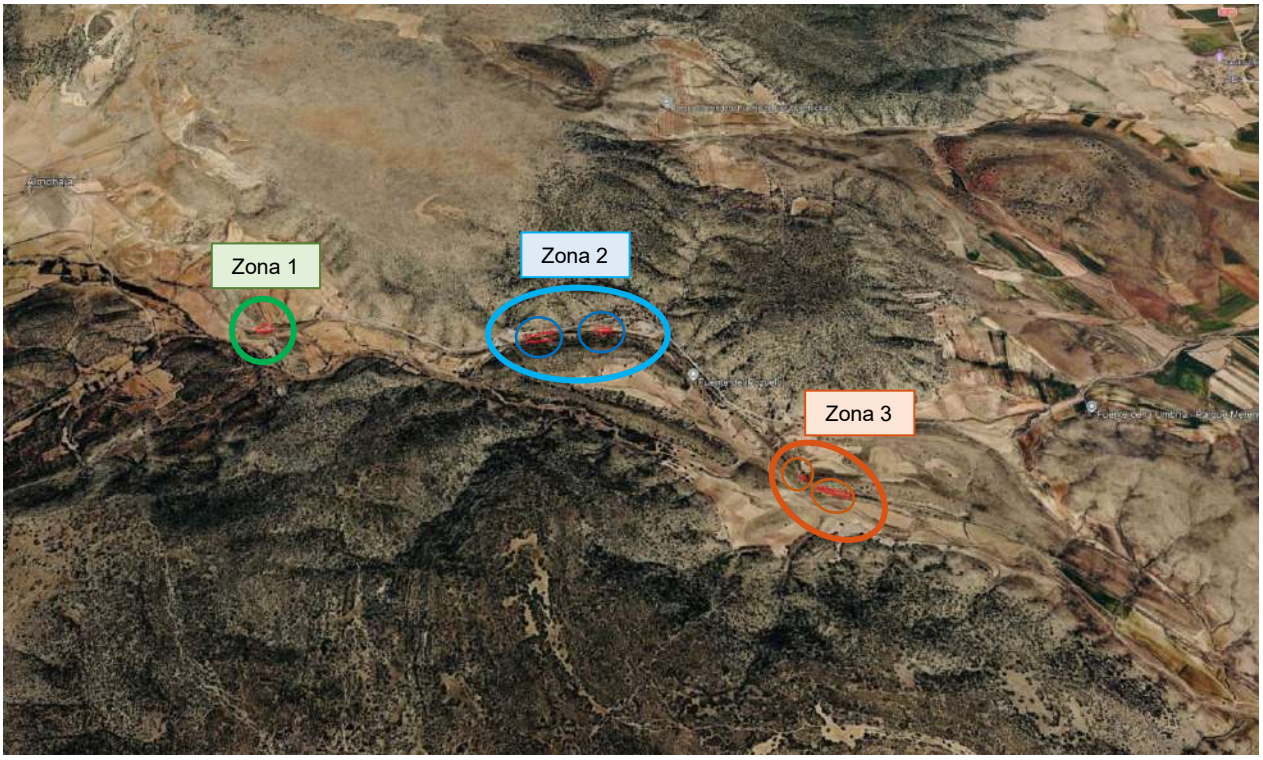


Imagen 1: Zonificación de la zona de estudio de Puente de Montañana

ZONA 1

La Zona 1 corresponde al talud aislado situado en el sector más occidental del ámbito de actuación. Se trata de un frente de ladera excavado o naturalizado, con desarrollo de afloramientos rocosos en ambos extremos y una zona central claramente afectada por un desprendimiento previo. La inspección visual y el análisis del modelo fotogramétrico obtenido mediante vuelo de dron permiten diferenciar tres sectores con comportamiento geotécnico distinto: extremo izquierdo, zona central de desprendimiento y extremo derecho.



Imagen 2: Zona de estudio 1

El talud presenta una morfología heterogénea, con alternancia de zonas rocosas competentes, sectores alterados y áreas con acumulación de derrubios al pie. En la parte central se identifica una cicatriz de desprendimiento ya producido, asociada a un frente más degradado y con presencia de materiales sueltos o poco cohesionados. En los laterales se observan resaltes rocosos irregulares, bloques parcialmente individualizados y zonas con fracturación que pueden favorecer desprendimientos puntuales.

A efectos del análisis de estabilidad, la Zona 1 se subdivide en los siguientes sectores:

- Zona 1A: extremo izquierdo del talud, caracterizado por la presencia de afloramiento rocoso, bloques individualizados y discontinuidades visibles.
- Zona 1B: zona central, correspondiente al área donde se ha producido un desprendimiento previo, con presencia de escarpe, material degradado y acumulación de derrubios.
- Zona 1C: extremo derecho del talud, formado por un macizo rocoso irregular, con bloques, fracturación y sectores localmente alterados.

Esta división permite diferenciar la problemática existente en cada sector. En los extremos del talud predominan los mecanismos asociados a la caída puntual de bloques o fragmentos rocosos, mientras que en la zona central la inestabilidad observada se relaciona principalmente con un proceso ya producido de desprendimiento y degradación superficial del frente resultante.

Para la evaluación de la estabilidad global del talud se ha seleccionado un perfil representativo correspondiente al sector que, por su geometría, altura, pendiente y estado de alteración, se considera más desfavorable dentro de la Zona 1. Dicho perfil se ha obtenido a partir del modelo digital del terreno generado mediante el vuelo fotogramétrico, seleccionando la sección que recoge de forma más representativa la zona central del talud y su transición hacia los materiales rocosos laterales.

Por lo que, para analizar la estabilidad del talud se va a realizar un estudio previo mediante un tanteo con el perfil de un modelo con las coordenadas obtenidas mediante la fotogrametría realizada con un vuelo de dron, se han introducido dichas coordenadas y se ha obtenido el perfil a estudiar.

Se plantea la solución llevando a cabo en primer lugar un Back Analysis. Con él se lleva el coeficiente de seguridad a un valor cercano a la unidad, de tal forma que se obtienen los parámetros

geotécnicos del terreno en ese estado. Se considera que el valor del coeficiente de seguridad correspondiente al círculo de deslizamiento pésimo es cercano a 1 ya que anteriormente ha ocurrido un deslizamiento.

Se realiza un estudio previo con un perfil con las características y propiedades del talud y los estratos del terreno previos al desprendimiento ocurrido, indicados en el Instituto Geológico y Minero de España. Recalcar, que la mejor opción sería la realización de un sondeo para poder definir más concretamente los parámetros geotécnicos. Estas propiedades se toman del ya nombrado "Anejo nº3 Estudio geológico y geotécnico" del presente proyecto, donde se han realizado unos ensayos para corroborar dichas características.

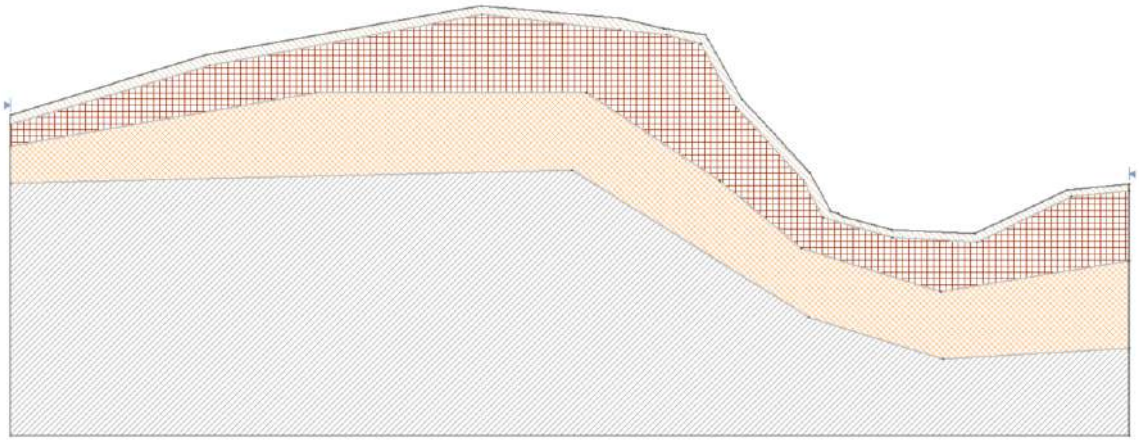


Imagen 3: Perfil a estudiar con los estratos del terreno

La siguiente tabla muestra las propiedades de los distintos materiales que completan la geología de la zona:

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface	Ru
UG1		26	Mohr-Coulomb	6000	35	None	0
UG2		22	Mohr-Coulomb	200	28	None	0
UG3		20	Mohr-Coulomb	100	30	None	0
UG4		20	Mohr-Coulomb	10	30	None	0

A continuación, se muestra el mismo perfil analizado con todas las posibles superficies de deslizamiento y el Factor de Seguridad correspondiente a dicha superficie.

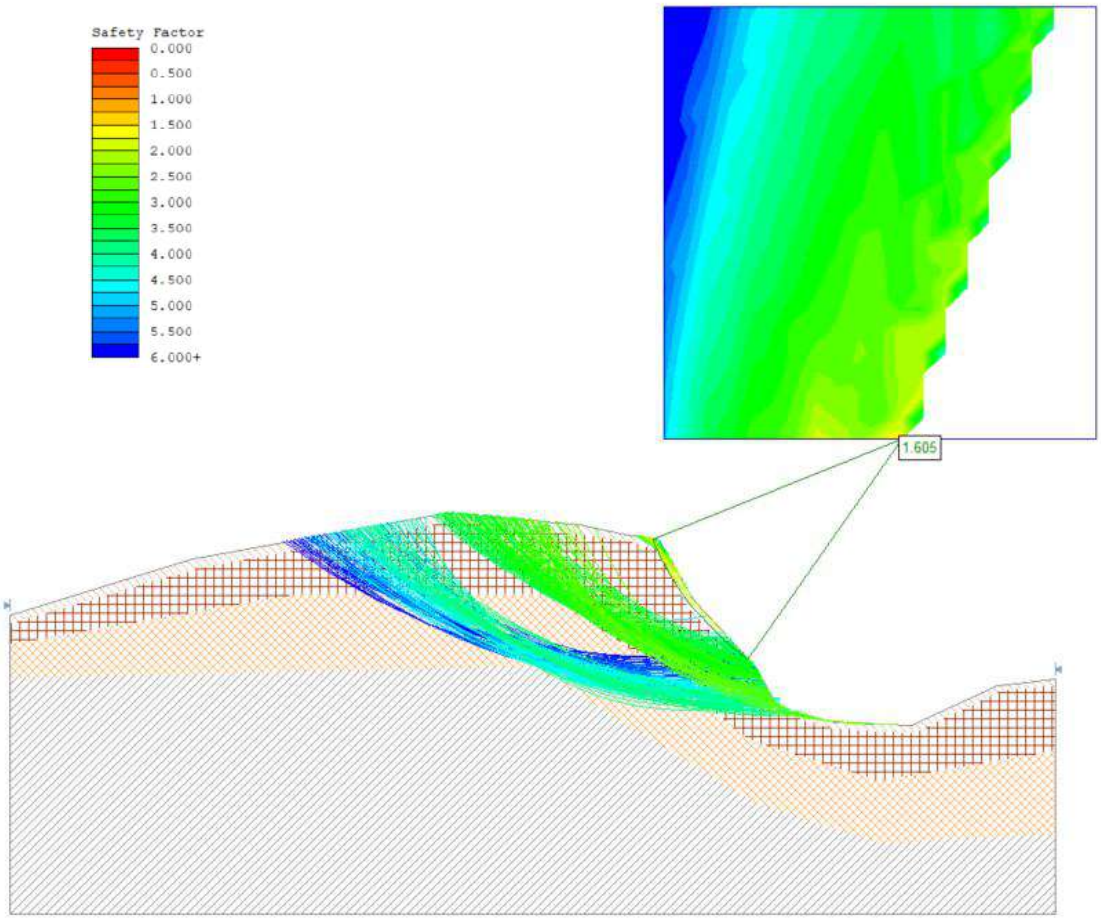


Imagen 4: Factor de seguridad calculado en todos los posibles casos de deslizamiento del perfil

Se observa que la superficie crítica obtenida presenta un factor de seguridad de FS = 1,605, por lo que, no se identifica una situación de inestabilidad global del talud frente a mecanismos de deslizamiento.

Las superficies de rotura calculadas se desarrollan principalmente en la zona superficial del perfil y no evidencian un mecanismo profundo o generalizado que comprometa la estabilidad global del conjunto. Por tanto, el comportamiento del talud en este sector puede considerarse aceptable desde el punto de vista del equilibrio límite, no observándose una problemática significativa asociada a deslizamientos globales o roturas de gran entidad.

No obstante, los resultados del cálculo global no descartan la existencia de inestabilidades locales asociadas a bloques rocosos parcialmente individualizados por discontinuidades, especialmente en los paños rocosos visibles del extremo analizado. En este sentido, la problemática principal de la Zona 1A no se relaciona con un fallo general del talud, sino con la posible movilización puntual de bloques o fragmentos rocosos condicionados por la fracturación, la meteorización y el descalce local.

En consecuencia, el análisis de estabilidad global permite concluir que no resulta esperable un mecanismo de deslizamiento generalizado en el perfil estudiado, debiendo centrarse la valoración posterior en la identificación de bloques potencialmente inestables y en la definición de las actuaciones necesarias para su control. Dichas actuaciones se desarrollan y justifican en el apartado correspondiente a soluciones de estabilización.

De forma complementaria al análisis de estabilidad global del perfil P-1, se ha llevado a cabo la identificación de bloques rocosos potencialmente inestables en los paños laterales de la Zona 1. Este análisis se ha realizado a partir del modelo fotogramétrico obtenido mediante vuelo de dron, que permite reconocer la geometría de los afloramientos, delimitar discontinuidades visibles y estimar las dimensiones aproximadas de los bloques individualizados.

El análisis se ha centrado en aquellos bloques que presentan una combinación desfavorable de factores geométricos y geotécnicos, tales como posición sobresaliente respecto al frente del talud, individualización parcial mediante juntas o fracturas, apertura visible de discontinuidades, apoyo basal reducido, signos de alteración o pérdida de confinamiento lateral. Estos factores pueden favorecer la movilización puntual de bloques, especialmente bajo la acción de la meteorización, ciclos de humedad-sequedad, escorrentía superficial o degradación progresiva de las juntas.

Para su valoración, se han seleccionado bloques representativos de tamaño decimétrico a métrico, cuyas dimensiones han sido obtenidas de forma aproximada sobre el modelo fotogramétrico. En cada caso se ha considerado la altura, anchura y espesor visible del bloque, estimando de forma orientativa su volumen y masa. La selección de estos bloques no responde únicamente a su tamaño, sino también a su grado de individualización, posición relativa en el talud y posible afección en caso de desprendimiento.

Como criterio general, se consideran relevantes aquellos bloques con volúmenes aproximados superiores a 0,5 m³, especialmente cuando se encuentran parcialmente delimitados por discontinuidades persistentes o presentan pérdida de apoyo. Los bloques de volumen inferior pueden generar desprendimientos menores o caída de fragmentos, mientras que los bloques de volumen métrico o submétrico individualizado requieren una valoración específica por su mayor peligrosidad potencial.

En el presente análisis se han seleccionado los bloques más representativos identificados en el modelo, describiéndose para cada uno de ellos sus dimensiones aproximadas, grado de individualización, características de las discontinuidades que los delimitan y mecanismo potencial de inestabilidad.



Imagen 5: Selección de bloques en la zona extrema izquierda de la zona 1 de estudio

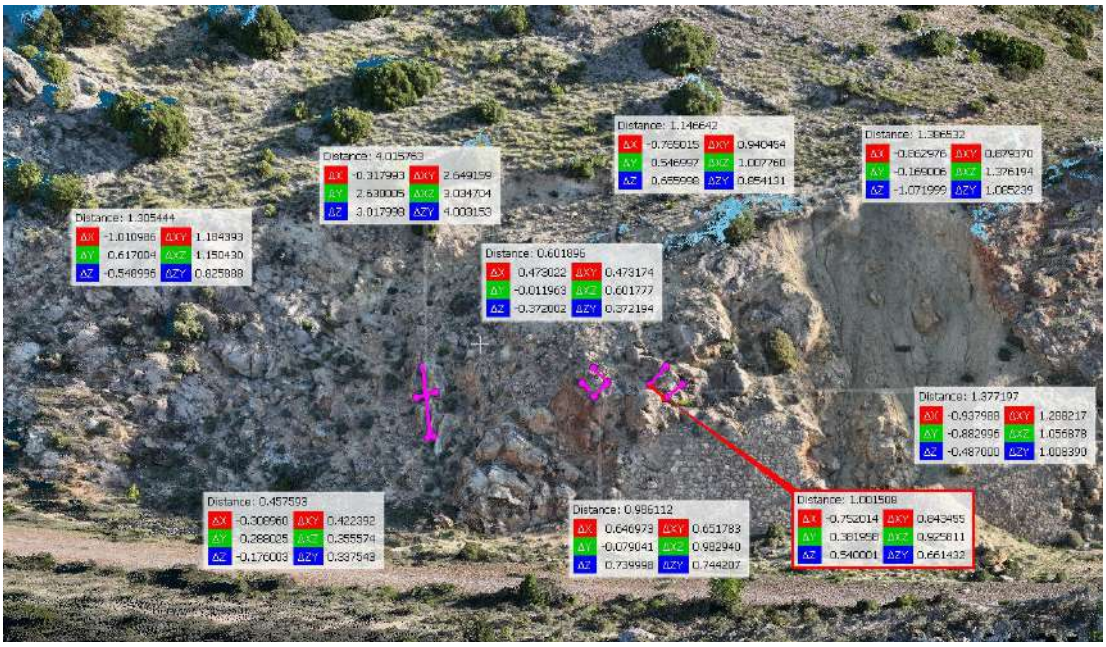


Imagen 6: Dimensionamiento de bloques en la zona extrema izquierda de la zona 1 de estudio



Imagen 7: Selección de bloques en la zona extrema derecha de la zona 1 de estudio

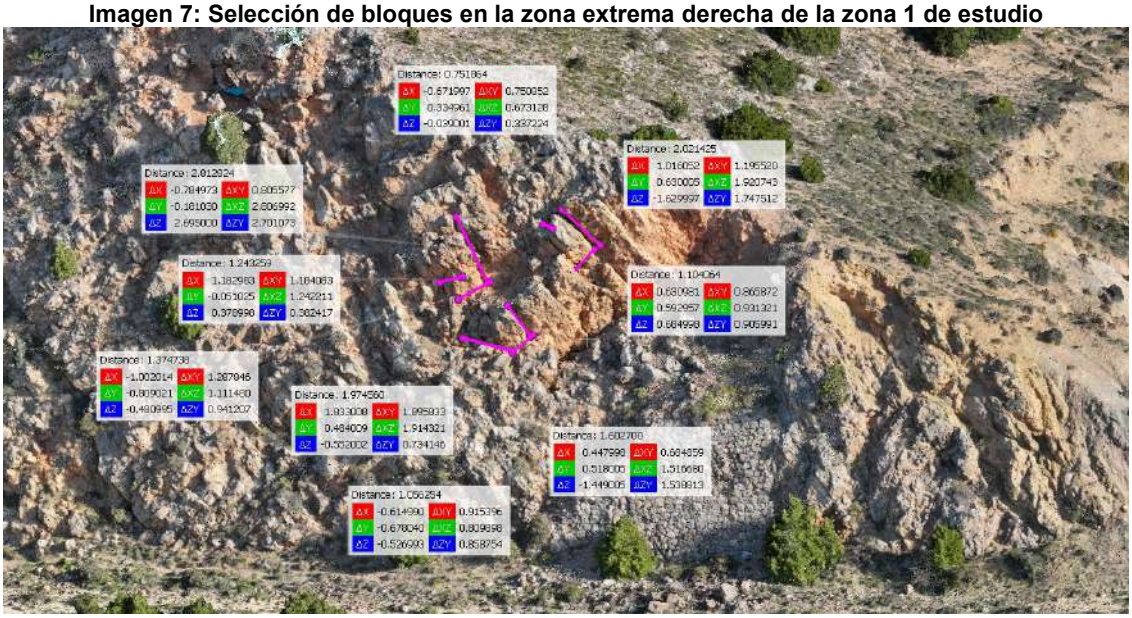


Imagen 8: Dimensionamiento de bloques en la zona derecha de la zona 1 de estudio

Los volúmenes indicados son aproximados y se han estimado a partir de las dimensiones medidas sobre el modelo fotogramétrico. Dado que los bloques se encuentran parcialmente embebidos en el macizo, el espesor considerado corresponde a una estimación visual del volumen potencialmente movilizable.

En la siguiente tabla se resumen las características principales de los bloques representativos identificados en los sectores izquierdo y derecho de la Zona 1.

Bloque	Ubicación	Dimensiones aproximadas	Volumen estimado m³	Características observadas	Mecanismo potencial
B-1	Zona 1, extremo izquierdo	0,45 × 1,30 ×4 m	2,34	Bloque alargado parcialmente individualizado por discontinuidades laterales. Presenta posición sobresaliente respecto al frente, posible pérdida de confinamiento lateral y apoyo inferior irregular	Desprendimiento puntual por pérdida progresiva de apoyo o apertura de juntas laterales
B-2	Zona 1, extremo izquierdo	1,15 × 0,60 ×1 m	0,69	Bloque de mayor entidad, parcialmente delimitado por discontinuidades visibles. Presenta geometría irregular, exposición directa hacia el frente y posible salida cinemática hacia la cara libre del talud	Caída o vuelco local de bloque condicionado por discontinuidades y pérdida de apoyo
B-3	Zona 1, extremo izquierdo	1,38 × 1 × 1,38 m	1,90	Fragmento rocoso individualizado de menor tamaño, con contorno definido, posible junta abierta perimetral y exposición directa a la cara libre	Caída puntual de fragmento rocoso por degradación de juntas o pérdida de apoyo
B-4	Zona 1, extremo derecho	1,20 × 2,80 × 1,4 m	4,70	Bloque parcialmente individualizado, situado en un paño rocoso fracturado. Presenta geometría relativamente prismática, exposición directa hacia la cara libre y posible delimitación por juntas laterales. Se observa pérdida parcial de confinamiento en su entorno	Vuelco local o caída de bloque por apertura progresiva de discontinuidades y pérdida de apoyo basal/lateral.
B-5	Zona 1, extremo derecho	1,9 × 1 × 1,60 m	3,04	Bloque de menor altura pero claramente expuesto en el frente. Se encuentra parcialmente delimitado por discontinuidades y apoyado sobre un sustrato irregular, con posible descalce inferior. Su posición favorece la salida hacia la cara libre del talud	Caída puntual o vuelco de bloque condicionado por apoyo basal irregular y fracturación del macizo.
B-6	Zona 1, extremo derecho	2 × 1,10 ×1,6 m	3,52	Bloque situado en zona elevada del paño, próximo a un sector alterado o erosionado. Presenta contorno parcialmente individualizado, exposición frontal y posible junta posterior o lateral que podría favorecer su desconfinamiento.	Vuelco hacia el frente o desprendimiento por pérdida de confinamiento y degradación del material de apoyo.

ZONA 2

La Zona 2 corresponde al entorno del primer túnel incluido en el proyecto, comprendiendo sus dos zonas de emboquille y los taludes asociados a cada una de ellas. A efectos del análisis de estabilidad, esta zona se ha dividido en dos subzonas diferenciadas, denominadas Zona 2.1 y Zona 2.2, correspondientes a los sectores de entrada y salida del túnel.

La división en subzonas responde a lo diferentes emboquilles del túnel, y a las diferencias existentes en la geometría de los taludes, la disposición de los materiales, el grado de alteración observado y las condiciones particulares de cada emboquille. Dado que los emboquilles constituyen puntos especialmente sensibles desde el punto de vista geotécnico, debido al reducido confinamiento del terreno y a la posible concentración de discontinuidades o recubrimientos superficiales, se ha considerado necesario analizar cada sector de forma individualizada.

El análisis de estabilidad de la Zona 2 se ha realizado a partir del modelo digital del terreno obtenido mediante vuelo fotogramétrico, complementado con las observaciones de campo. A partir de dicho modelo se han extraído perfiles representativos de las zonas consideradas más desfavorables, con el objeto de evaluar la estabilidad global o superficial de los taludes y emboquilles mediante métodos de equilibrio límite.

Zona 2.1

En esta zona se evalúa la estabilidad global del talud, para ello se ha seleccionado un perfil representativo correspondiente al sector que, por su geometría, altura, pendiente y estado de alteración, se considera más desfavorable dentro de la Zona 2.1. Dicho perfil se ha obtenido a partir del modelo digital del terreno generado mediante el vuelo fotogramétrico, seleccionando la sección que recoge de forma más representativa la zona central del talud y su transición hacia los materiales rocosos laterales.



Imagen 9: Ubicación de la zona 2.1 de estudio

Por lo que, para analizar la estabilidad del talud se va a realizar un estudio previo mediante un tanteo con el perfil de un modelo con las coordenadas obtenidas mediante la fotogrametría realizada con un vuelo de dron, se han introducido dichas coordenadas y se ha obtenido el perfil a estudiar.

Se plantea la solución llevando a cabo en primer lugar un Back Analysis. Con él se lleva el coeficiente de seguridad a un valor cercano a la unidad, de tal forma que se obtienen los parámetros geotécnicos del terreno en ese estado. Se considera que el valor del coeficiente de seguridad correspondiente al círculo de deslizamiento pésimo es cercano a 1 ya que anteriormente ha ocurrido un deslizamiento.

Se realiza un estudio previo con un perfil con las características y propiedades del talud y los estratos del terreno previos al desprendimiento ocurrido, indicados en el Instituto Geológico y Minero de España. Recalcar, que la mejor opción sería la realización de un sondeo para poder definir más concretamente los parámetros geotécnicos. Estas propiedades se toman del ya nombrado “Anejo nº3 Estudio geológico y geotécnico” del presente proyecto, donde se han realizado unos ensayos para corroborar dichas características.

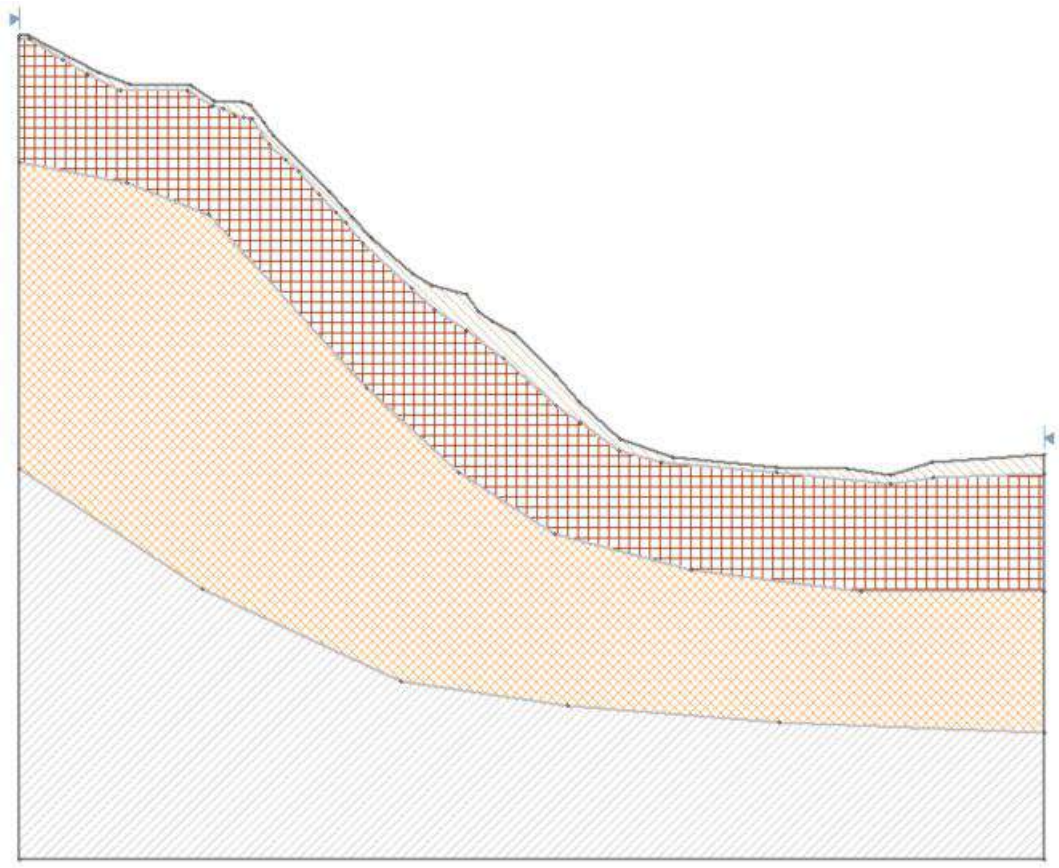


Imagen 10: Perfil a estudiar con los estratos del terreno

La siguiente tabla muestra las propiedades de los distintos materiales que completan la geología de la zona:

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface	Ru
UG1		26	Mohr-Coulomb	6000	35	None	0
UG2		22	Mohr-Coulomb	200	28	None	0
UG3		20	Mohr-Coulomb	100	30	None	0
UG4		20	Mohr-Coulomb	10	30	None	0

A continuación, se muestra el mismo perfil analizado con todas las posibles superficies de deslizamiento y el Factor de Seguridad correspondiente a dicha superficie.

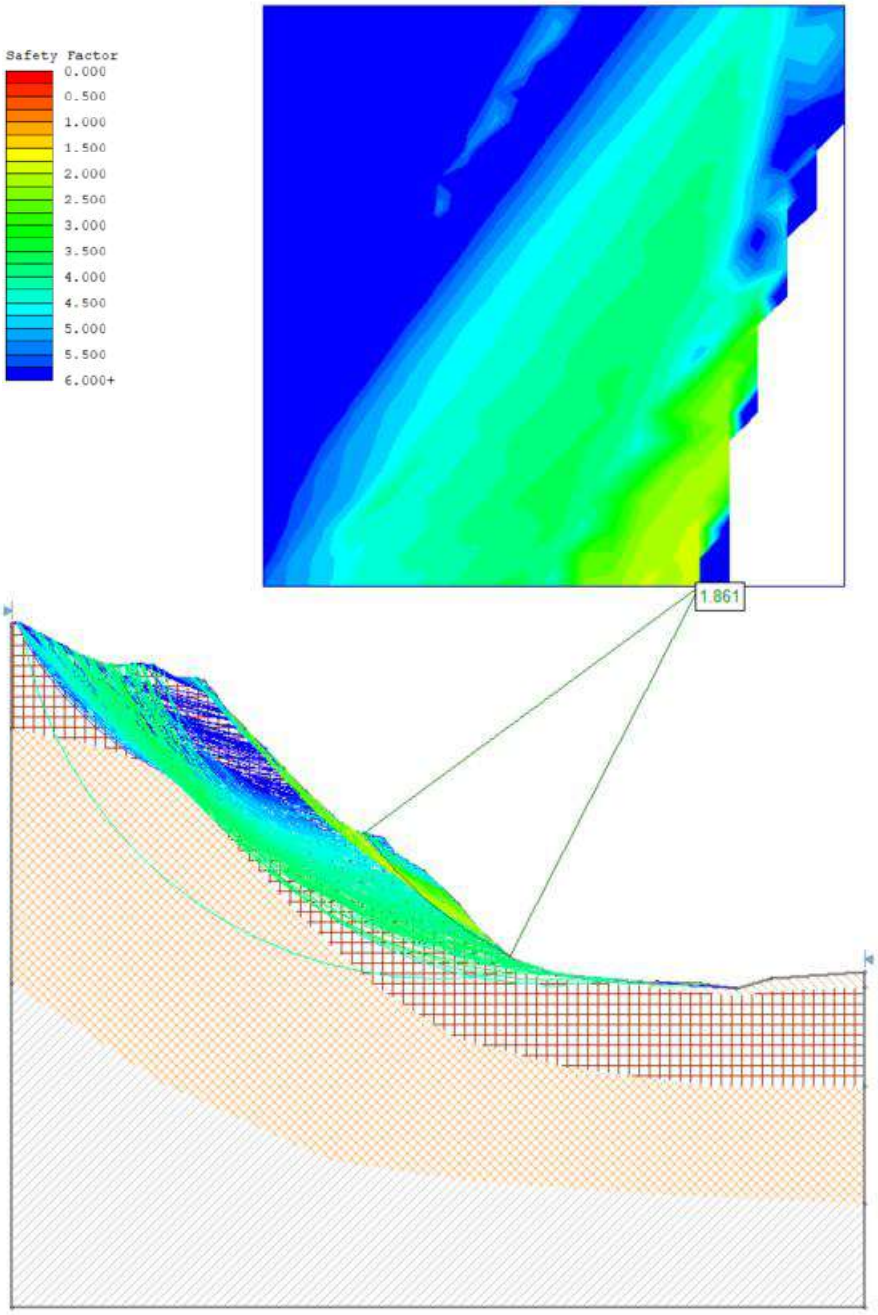


Imagen 11: Factor de seguridad calculado en todos los posibles casos de deslizamiento del perfil

Se observa que la superficie crítica obtenida presenta un factor de seguridad de FS = 1,86, por lo que, no se identifica una situación de inestabilidad global del talud frente a mecanismos de deslizamiento.

Las superficies de rotura calculadas se desarrollan principalmente en la zona superficial del perfil y no evidencian un mecanismo profundo o generalizado que comprometa la estabilidad global del conjunto. Por tanto, el comportamiento del talud en este sector puede considerarse aceptable desde el punto de vista del equilibrio límite, no observándose una problemática significativa asociada a deslizamientos globales o roturas de gran entidad.

Zona 2.2

En esta zona se evalúa la estabilidad global del talud, para ello se ha seleccionado un perfil representativo correspondiente al sector que, por su geometría, altura, pendiente y estado de alteración, se considera más desfavorable dentro de la Zona 2.2. Dicho perfil se ha obtenido a partir del modelo digital del terreno generado mediante el vuelo fotogramétrico, seleccionando la sección que recoge de forma más representativa la zona central del talud y su transición hacia los materiales rocosos laterales.

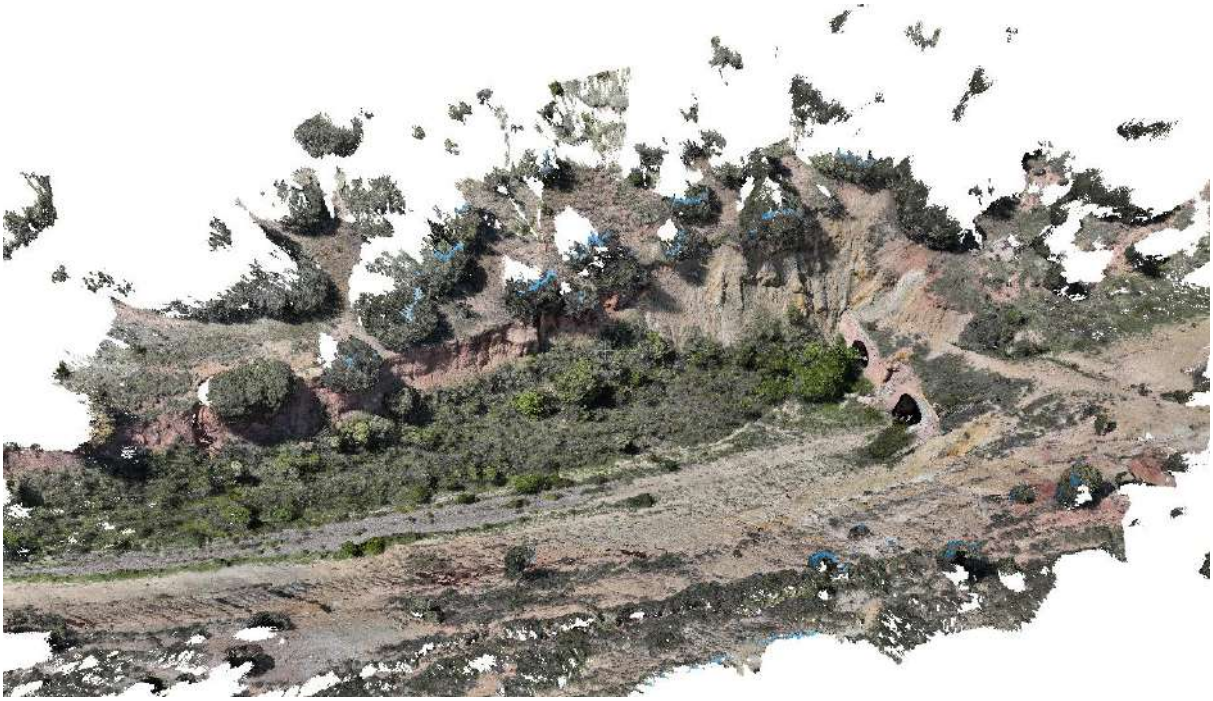


Imagen 12: Ubicación de la zona 2.2 de estudio

Por lo que, para analizar la estabilidad del talud se va a realizar un estudio previo mediante un tanteo con el perfil de un modelo con las coordenadas obtenidas mediante la fotogrametría realizada con un vuelo de dron, se han introducido dichas coordenadas y se ha obtenido el perfil a estudiar.

Se plantea la solución llevando a cabo en primer lugar un Back Analysis. Con él se lleva el coeficiente de seguridad a un valor cercano a la unidad, de tal forma que se obtienen los parámetros geotécnicos del terreno en ese estado. Se considera que el valor del coeficiente de seguridad correspondiente al círculo de deslizamiento pésimo es cercano a 1 ya que anteriormente ha ocurrido un deslizamiento.

Se realiza un estudio previo con un perfil con las características y propiedades del talud y los estratos del terreno previos al desprendimiento ocurrido, indicados en el Instituto Geológico y Minero de España. Recalcar, que la mejor opción sería la realización de un sondeo para poder definir más concretamente los parámetros geotécnicos. Estas propiedades se toman del ya nombrado “Anejo nº3 Estudio geológico y geotécnico” del presente proyecto, donde se han realizado unos ensayos para corroborar dichas características.

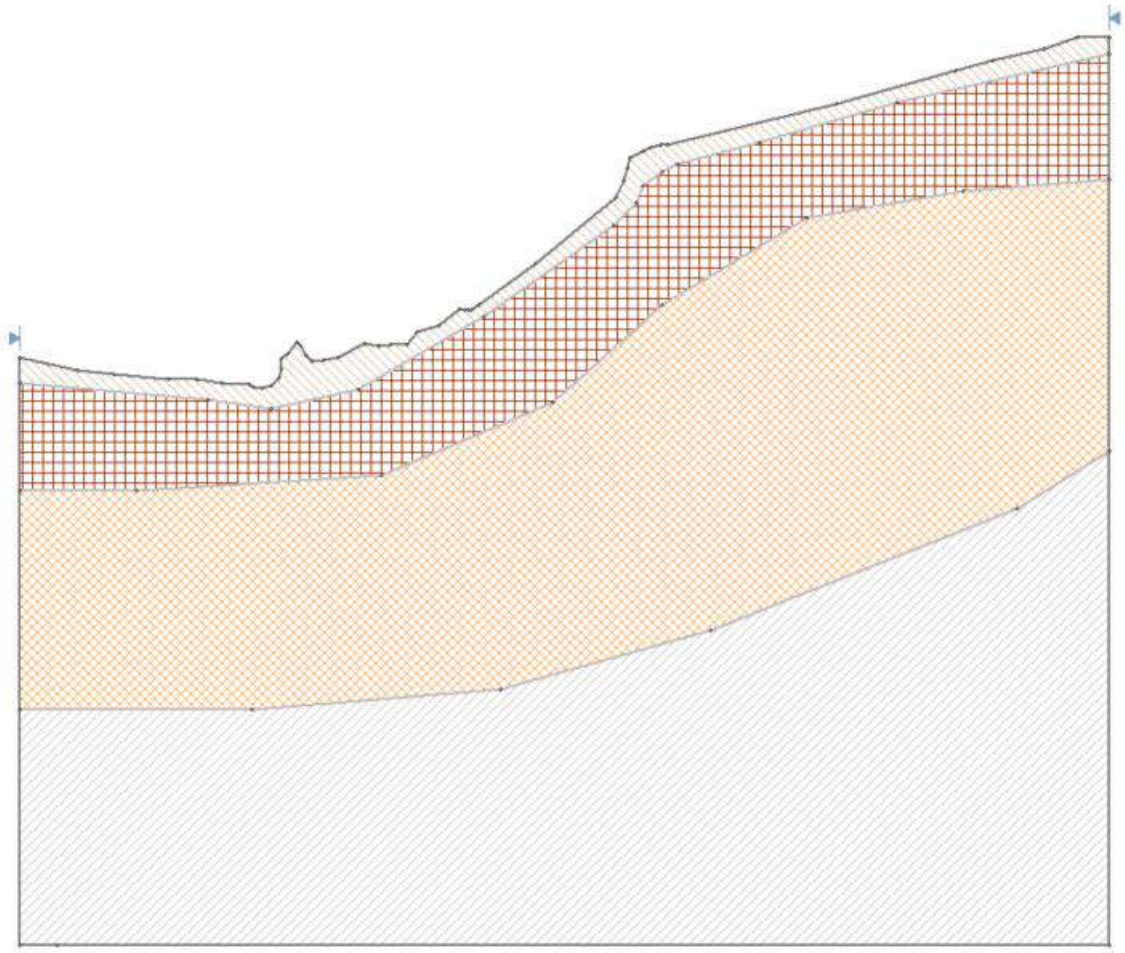


Imagen 13: Perfil a estudiar con los estratos del terreno

La siguiente tabla muestra las propiedades de los distintos materiales que completan la geología de la zona:

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface	Ru
UG1		26	Mohr-Coulomb	6000	35	None	0
UG2		22	Mohr-Coulomb	200	28	None	0
UG3		20	Mohr-Coulomb	100	30	None	0
UG4		20	Mohr-Coulomb	10	30	None	0

A continuación, se muestra el mismo perfil analizado con todas las posibles superficies de deslizamiento y el Factor de Seguridad correspondiente a dicha superficie.

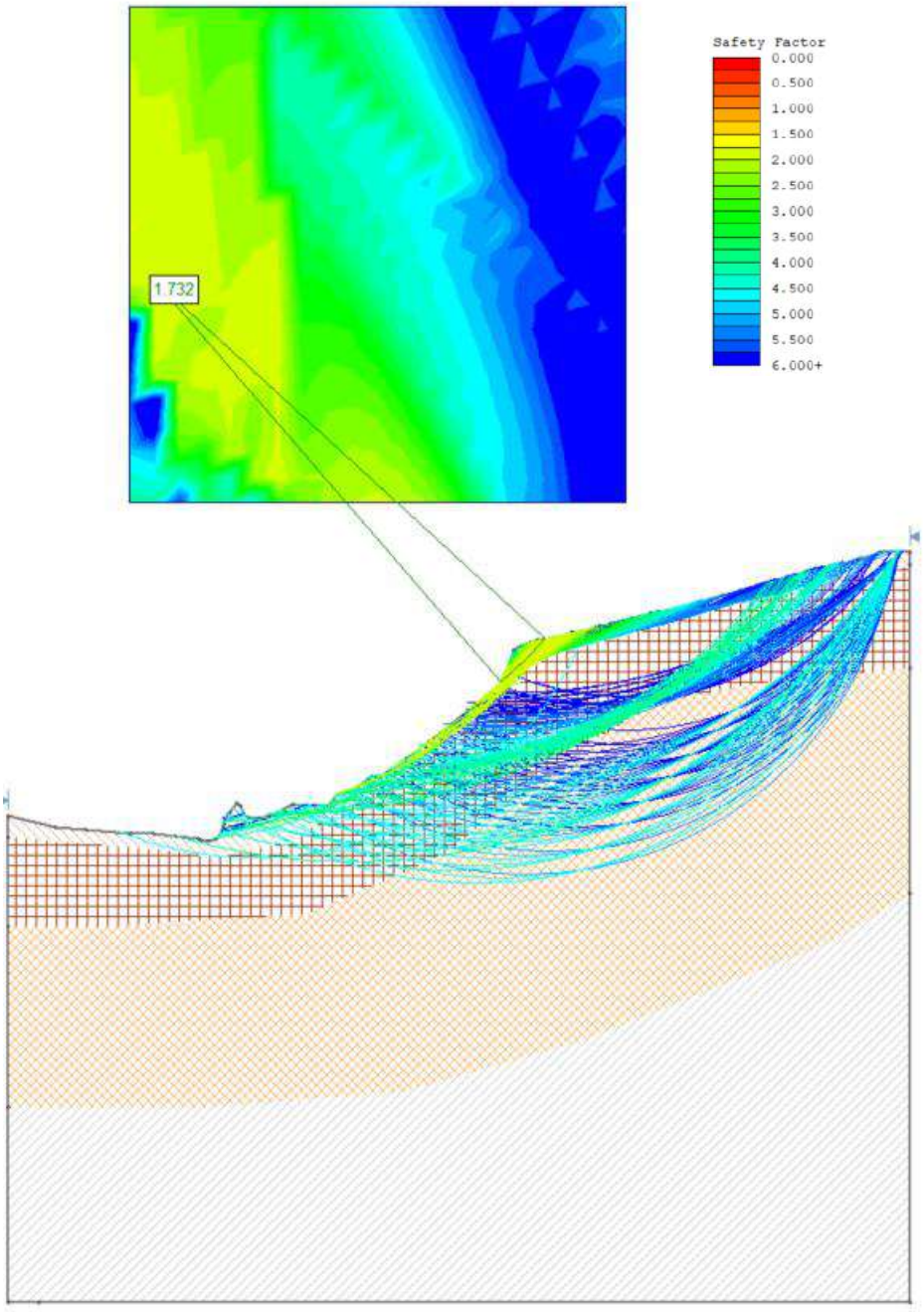


Imagen 14: Factor de seguridad calculado en todos los posibles casos de deslizamiento del perfil

Se observa que la superficie crítica obtenida presenta un factor de seguridad de FS = 1,962, por lo que, no se identifica una situación de inestabilidad global del talud frente a mecanismos de deslizamiento.

Las superficies de rotura calculadas se desarrollan principalmente en la zona superficial del perfil y no evidencian un mecanismo profundo o generalizado que comprometa la estabilidad global del conjunto. Por tanto, el comportamiento del talud en este sector puede considerarse aceptable desde el punto de vista del equilibrio límite, no observándose una problemática significativa asociada a deslizamientos globales o roturas de gran entidad.

ZONA 3

La Zona 3 corresponde al túnel situado más al este dentro del ámbito de actuación. Al igual que en la Zona 2, el análisis se ha dividido en dos subzonas principales, denominadas Zona 3.1 y Zona 3.2, asociadas a los dos extremos del túnel y a los taludes próximos a sus respectivos emboquilles.

La división en subzonas responde a la existencia de condiciones geométricas y geológico-geotécnicas diferenciadas en cada extremo del túnel. En estos sectores, la estabilidad puede verse condicionada por la presencia de afloramientos rocosos fracturados, bloques parcialmente individualizados, discontinuidades abiertas, estratificación desfavorable, pérdida de confinamiento en los emboquilles y desarrollo de cuñas rocosas de gran entidad.

El estudio de la Zona 3 se ha desarrollado a partir de la inspección de campo y del modelo fotogramétrico obtenido mediante vuelo de dron, que permite disponer de una representación tridimensional de los taludes, emboquilles y afloramientos rocosos. A partir de dicho modelo se han identificado los sectores con mayor susceptibilidad a presentar inestabilidades, se han definido perfiles representativos para análisis mediante equilibrio límite y se han reconocido bloques o cuñas rocosas que requieren una valoración específica.

Zona 3.1

En esta zona se evalúa la estabilidad global del talud, para ello se ha seleccionado un perfil representativo correspondiente

En la Zona 3.1 el análisis se centra, por un lado, en la comprobación de la estabilidad del emboquille mediante un perfil de cálculo en Slide y, por otro, en la identificación de bloques rocosos potencialmente inestables en los taludes aledaños.



Imagen 15: Ubicación en modelo de la zona 3.1

La Zona 3.1 corresponde a uno de los extremos del túnel oriental y a los taludes rocosos próximos al emboquille. En esta subzona no se ha considerado necesario realizar un análisis de estabilidad global mediante perfil de equilibrio límite, centrando el estudio en la identificación y valoración de bloques rocosos potencialmente inestables.

El análisis se ha llevado a cabo a partir del modelo fotogramétrico obtenido mediante vuelo de dron, complementado con las observaciones realizadas en campo. Esta información permite reconocer la geometría de los afloramientos, la disposición de las discontinuidades visibles, la individualización de bloques, el grado de fracturación del macizo, la presencia de juntas abiertas y la posible pérdida de apoyo o confinamiento lateral.

Se han considerado como bloques representativos aquellos elementos rocosos que presentan tamaño decimétrico a métrico, posición sobresaliente respecto a la cara libre del talud, delimitación parcial por juntas o fracturas, apoyo basal irregular, signos de descalce o ubicación en zonas donde una eventual caída pudiera tener afección sobre el entorno inmediato del emboquille o los taludes asociados.

Los mecanismos potenciales de inestabilidad en esta subzona se relacionan principalmente con desprendimientos puntuales, vuelco local de bloques, caída de fragmentos y posibles roturas condicionadas por la intersección de discontinuidades. La valoración de estos mecanismos se realiza de forma cualitativa y geométrica, atendiendo a la disposición de los bloques en el modelo y a las características observadas en los paños rocosos.



Imagen 16: Selección de bloques en la zona extrema derecha de la zona 3.1 de estudio

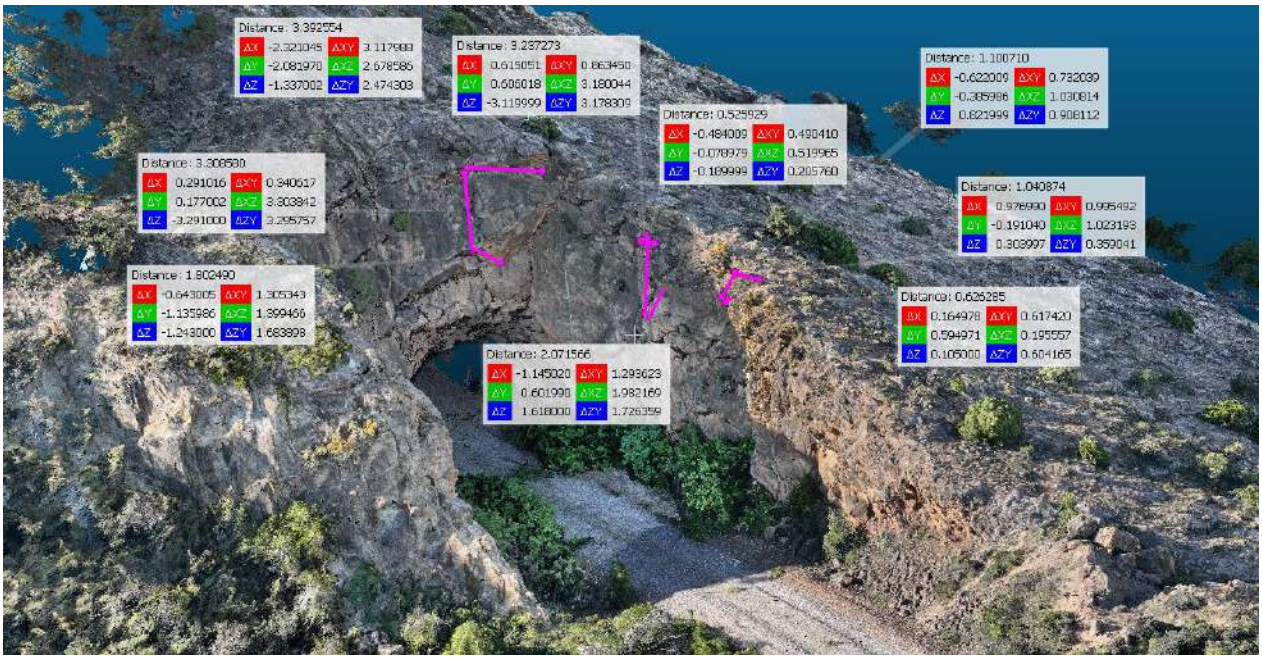


Imagen 17: Dimensionamiento de bloques en la zona derecha de la zona 3.1 de estudio

Los volúmenes indicados son aproximados y se han estimado a partir de las dimensiones medidas sobre el modelo fotogramétrico. Dado que los bloques se encuentran parcialmente embebidos en el macizo, el espesor considerado corresponde a una estimación visual del volumen potencialmente movilizable.

En la siguiente tabla se resumen las características principales de los bloques representativos identificados en la Zona 3.1.

Bloque	Ubicación	Dimensiones aproximadas	Volumen estimado m³	Características observadas	Mecanismo potencial
B-7	Zona 3.1	1,8 × 3,30 ×3,4 m	20,20	Bloque de mayor entidad, situado sobre la zona de emboquille. Presenta contorno parcialmente individualizado, exposición directa hacia la cara libre y posible delimitación por discontinuidades laterales y/o plano posterior. Su posición elevada incrementa la peligrosidad en caso de movilización	Desprendimiento o vuelco local hacia el frente del emboquille
B-8	Zona 3.1	3,3 ×0,60 ×2 m	3,96	Bloque alargado y estrecho, parcialmente individualizado en un paño rocoso vertical o subvertical. Presenta geometría prismática, exposición directa al frente y posible delimitación por juntas laterales	Vuelco local o caída puntual por pérdida de apoyo lateral o apertura progresiva de discontinuidades
B-9	Zona 3.1	1,1 × 1 × 0,63 m	0,69	Fragmento rocoso individualizado de menor tamaño, con contorno definido, situado en zona de ladera con exposición directa hacia el talud.Posible junta abierta perimetral y exposición directa a la cara libre	Caída puntual de fragmento rocoso por meteorización, pérdida de apoyo o degradación de juntas

Zona 3.2

En la Zona 3.2, además del análisis de bloques, se realiza una inspección estratigráfica específica de varias cuñas rocosas de gran entidad localizadas en las proximidades del emboquille, con el objetivo de valorar su disposición estructural y su posible relación con mecanismos de inestabilidad.



Imagen 18: Ubicación en modelo de la zona 3.2

En esta zona se evalúa la estabilidad global del talud sobre el emboquille, para ello se ha seleccionado un perfil representativo correspondiente.

Se plantea la solución llevando a cabo en primer lugar un Back Analysis. Con él se lleva el coeficiente de seguridad a un valor cercano a la unidad, de tal forma que se obtienen los parámetros geotécnicos del terreno en ese estado. Se considera que el valor del coeficiente de seguridad correspondiente al círculo de deslizamiento pésimo es cercano a 1 ya que anteriormente ha ocurrido un deslizamiento.

Se realiza un estudio previo con un perfil con las características y propiedades del talud y los estratos del terreno previos al desprendimiento ocurrido, indicados en el Instituto Geológico y Minero de España. Recalcar, que la mejor opción sería la realización de un sondeo para poder definir más concretamente los parámetros geotécnicos. Estas propiedades se toman del ya nombrado “Anejo nº3 Estudio geológico y geotécnico” del presente proyecto, donde se han realizado unos ensayos para corroborar dichas características.

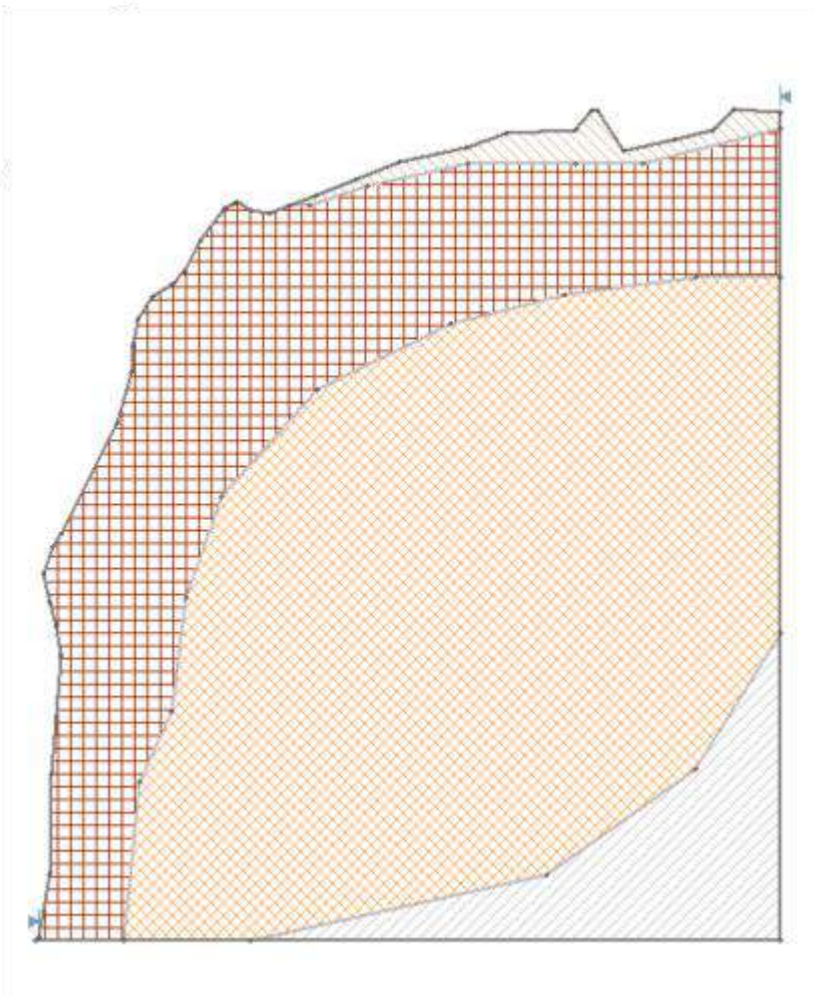


Imagen 19: Perfil a estudiar con los estratos del terreno

La siguiente tabla muestra las propiedades de los distintos materiales que completan la geología de la zona:

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface	Ru
UG1		26	Mohr-Coulomb	6000	35	None	0
UG2		22	Mohr-Coulomb	200	28	None	0
UG3		20	Mohr-Coulomb	100	30	None	0
UG4		20	Mohr-Coulomb	10	30	None	0

A continuación, se muestra el mismo perfil analizado con todas las posibles superficies de deslizamiento y el Factor de Seguridad correspondiente a dicha superficie.

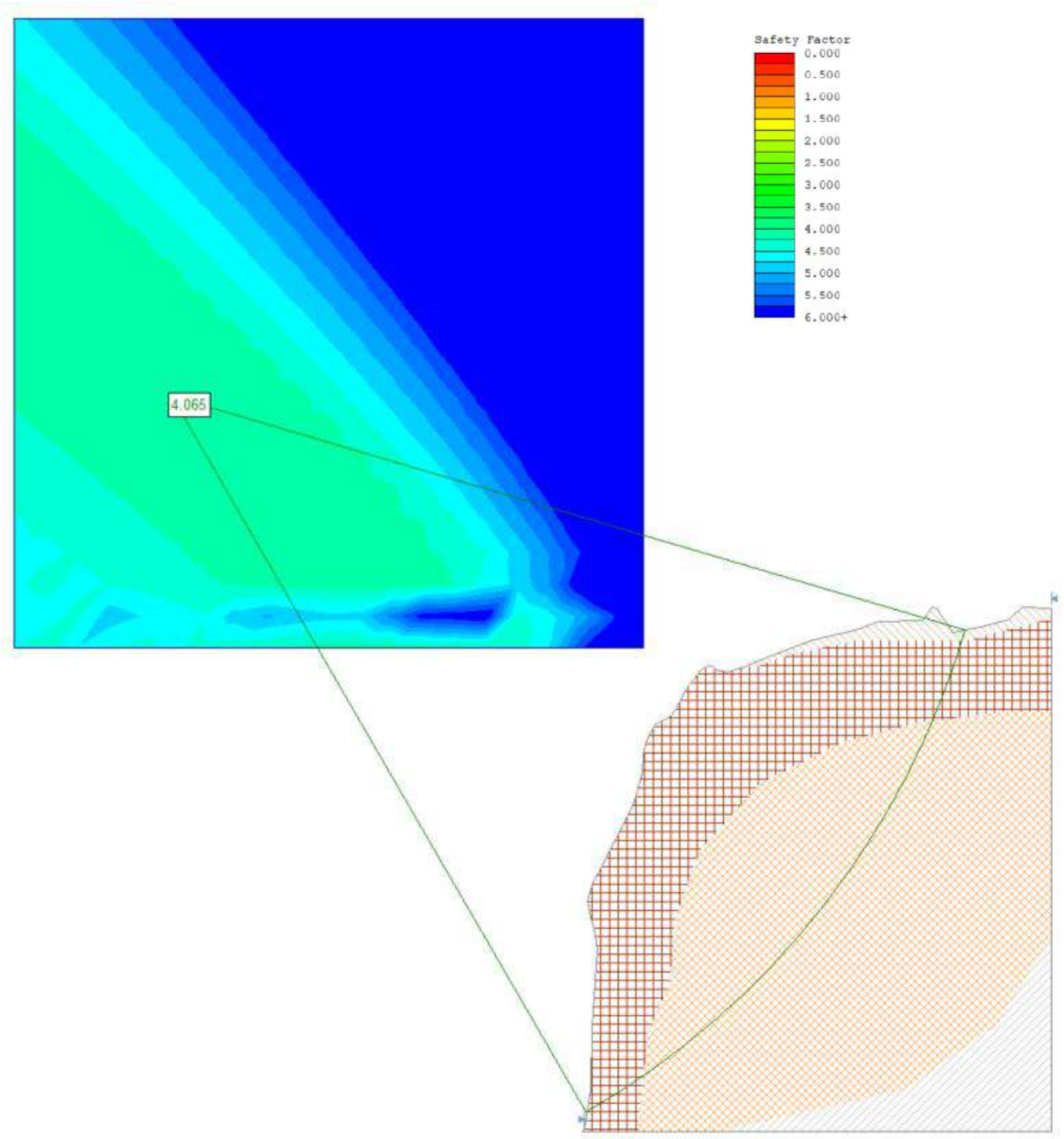


Imagen 20: Factor de seguridad calculado en todos los posibles casos de deslizamiento del perfil

Se observa que la superficie crítica obtenida presenta un factor de seguridad de FS = 4, por lo que, no se identifica una situación de inestabilidad global del talud frente a mecanismos de deslizamiento.

El comportamiento del talud en este sector puede considerarse aceptable desde el punto de vista del equilibrio límite, no observándose una problemática significativa asociada a deslizamientos globales o roturas de gran entidad.

Se han considerado como bloques representativos aquellos elementos rocosos que presentan tamaño decimétrico a métrico, posición sobresaliente respecto a la cara libre del talud, delimitación parcial por juntas o fracturas, apoyo basal irregular, signos de descalce o ubicación en zonas donde

una eventual caída pudiera tener afección sobre el entorno inmediato del emboquille o los taludes asociados.

Los mecanismos potenciales de inestabilidad en esta subzona se relacionan principalmente con desprendimientos puntuales, vuelco local de bloques, caída de fragmentos y posibles roturas condicionadas por la intersección de discontinuidades. La valoración de estos mecanismos se realiza de forma cualitativa y geométrica, atendiendo a la disposición de los bloques en el modelo y a las características observadas en los paños rocosos.



Imagen 21: Selección de bloques en la zona 3.2 de estudio

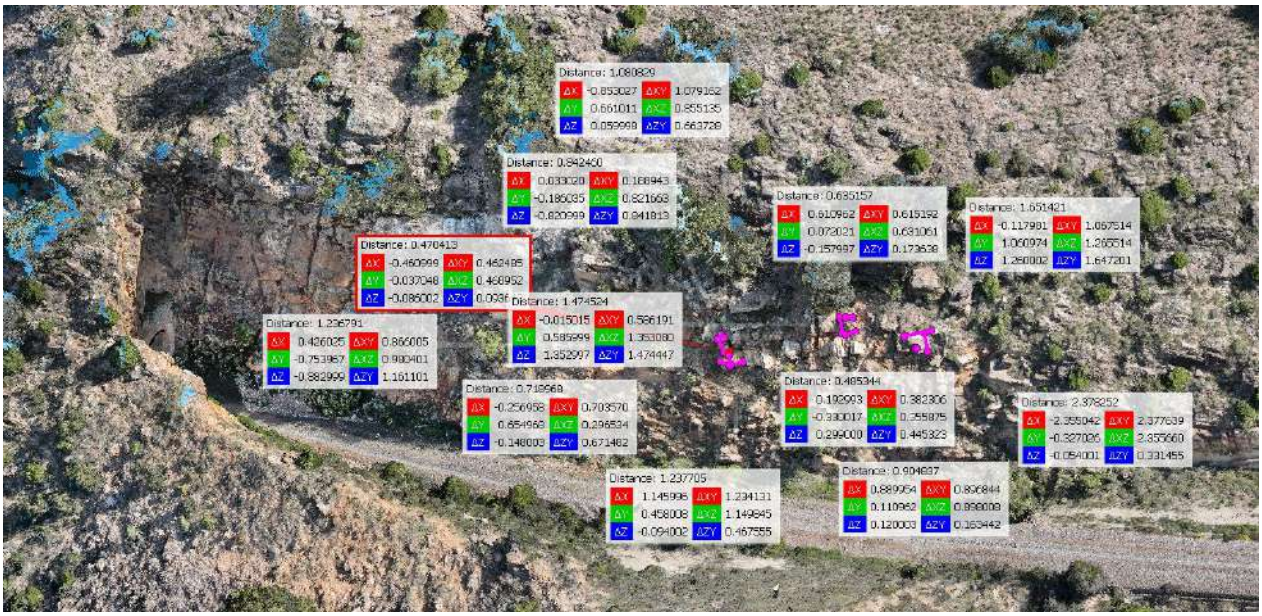


Imagen 22: Dimensionamiento de bloques en la zona 3.2 de estudio

Los volúmenes indicados son aproximados y se han estimado a partir de las dimensiones medidas sobre el modelo fotogramétrico. Dado que los bloques se encuentran parcialmente embebidos en el macizo, el espesor considerado corresponde a una estimación visual del volumen potencialmente movilizable.

En la siguiente tabla se resumen las características principales de los bloques representativos identificados de la Zona 3.2:

Bloque	Ubicación	Dimensiones aproximadas	Volumen estimado m³	Características observadas	Mecanismo potencial
B-10	Zona 3.2	0,6 × 1,19 × 1,27 m	0,91	Bloque parcialmente individualizado, situado en posición sobresaliente respecto al frente. Presenta contorno definido y posible delimitación por juntas laterales. Se encuentra en un paño rocoso fracturado, con apoyo inferior irregular	Caída puntual o vuelco local por apertura de juntas y pérdida progresiva de apoyo
B-11	Zona 3.2	0,7×0,47 ×1,23 m	0,40	Fragmento rocoso de menor entidad, individualizado entre bloques mayores. Presenta geometría prismática y exposición directa hacia la cara libre del talud	Caída puntual de fragmento por degradación de juntas o pérdida de confinamiento lateral.
B-12	Zona 3.2	1,1 × 0,85 × 1,24 m	1,16	Bloque de geometría irregular, parcialmente delimitado por discontinuidades. Se dispone sobre un banco rocoso fracturado y presenta apoyo basal irregular. Su posición en el frente favorece una posible salida hacia la cara libre	Desprendimiento puntual o vuelco de bloque por descalce inferior y apertura de discontinuidades
B-13	Zona 3.2	1,89 ×1,16 ×0,73 m	1,60	Bloque situado en zona elevada del paño rocoso, con contorno parcialmente definido y exposición directa al frente. Puede estar delimitado por juntas laterales y plano posterior.	Vuelco local o caída de bloque por desconfinamiento progresivo
B-14	Zona 3.2	1,4 ×0,60 ×0,9 m	0,76	Bloque alargado, con geometría prismática y disposición subvertical. Presenta individualización parcial y posible delimitación por discontinuidades laterales	Vuelco local hacia el frente o caída puntual por pérdida de apoyo lateral
B-15	Zona 3.2	2,4 ×1,65 ×0,48 m	3,96	Bloque o paño rocoso de mayor entidad, con geometría tabular y exposición directa hacia la cara libre. Presenta posible delimitación por discontinuidades laterales y apoyo inferior irregular. Por su tamaño y posición, constituye uno de los elementos más relevantes del sector	Desprendimiento de bloque/paño rocoso o vuelco parcial por pérdida de confinamiento y descalce progresivo

Además, se han analizado las cuñas de gran tamaño ubicadas junto al emboquille del túnel. Para ello se ha utilizado la estratigrafía, y se han analizado los buzamientos, y direcciones de buzamiento de las juntas de las cuñas y del talud sobre el que están.

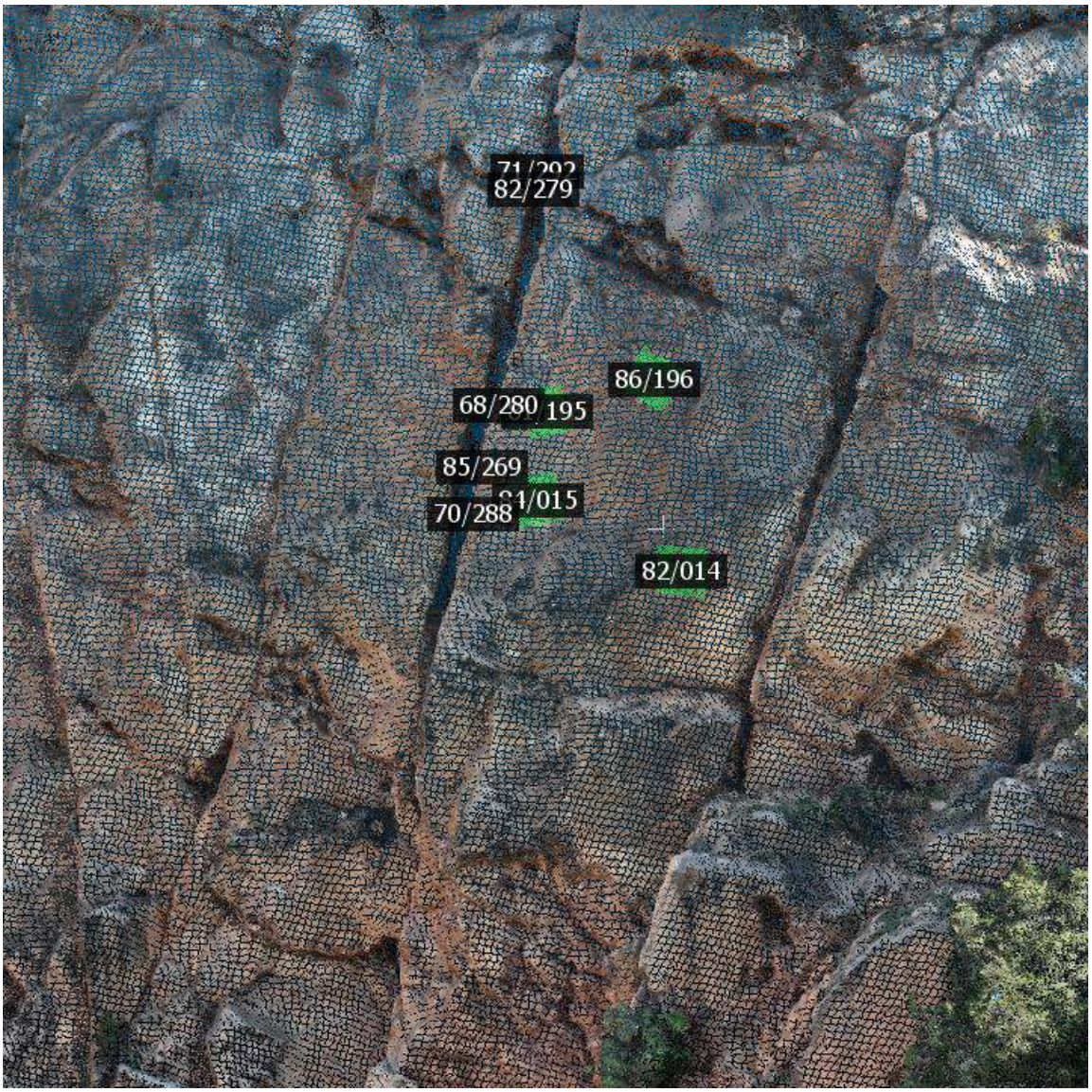


Imagen 23: Análisis de buzamientos en cuña de la zona 3.2

Con los datos tomados se observan tres familias de discontinuidades generales en el talud. En la imagen 4 se aprecian los planos de las discontinuidades analizadas.

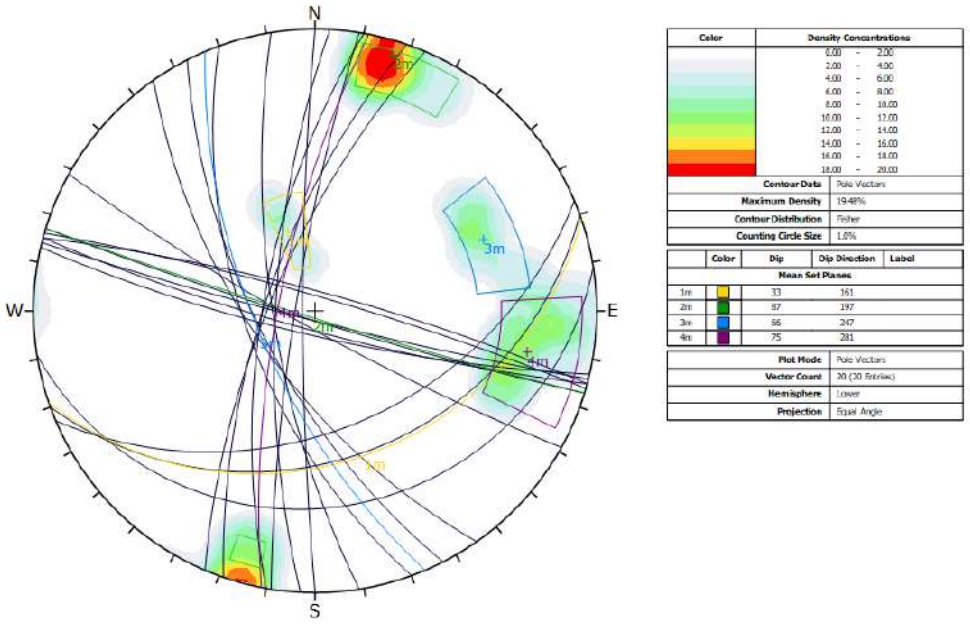


Imagen 24: Proyección estereográfica de la zona de estudio 3.2 con todos los puntos de proyección

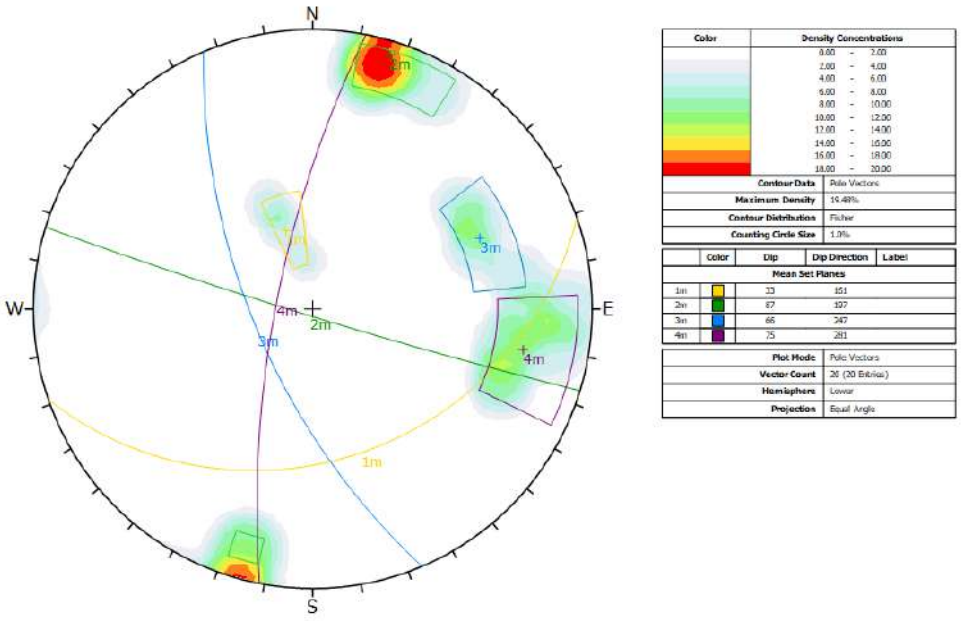


Imagen 25: Proyección estereográfica de la zona de estudio 1.1

Donde los valores de los planos de las familias representadas son:

Familia	Dirección de buzamiento	Buzamiento
1m	161	33
3m	247	66
4m	281	75
Talud	197	87

Tabla 1: Buzamientos y direcciones de buzamiento de la zona de estudio 3.2

Teniendo en cuenta las relaciones espaciales de las discontinuidades encontradas con el talud se puede distinguir tres tipos de posible inestabilidad.

Rotura planar

En primer lugar, se ha detectado la posibilidad de formación de deslizamientos planares de la zona estudiada. Para que este tipo de deslizamientos tenga lugar se deben cumplir los siguientes condicionantes:

- La dirección de la discontinuidad debe estar a menos de 20º de la dirección de la superficie del talud
- El buzamiento de la discontinuidad debe ser menor al del talud
- El buzamiento de la discontinuidad debe ser mayor al de su ángulo de fricción de las fracturas

En la siguiente figura se representa en proyección estereográfica la dirección y buzamiento del talud y las 3 familias.

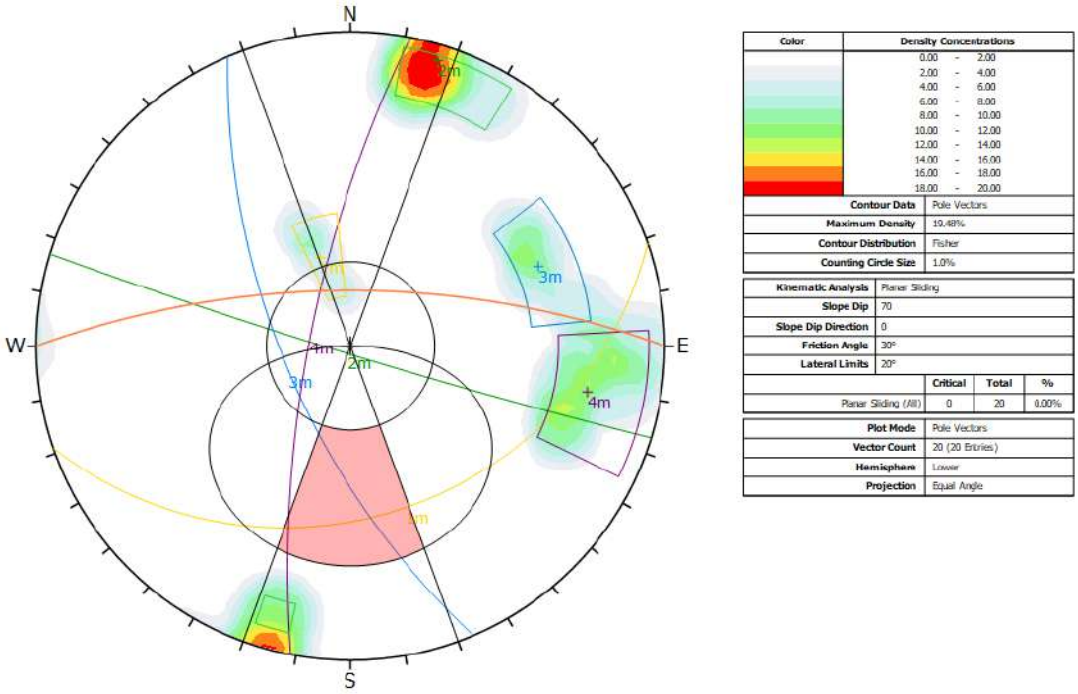
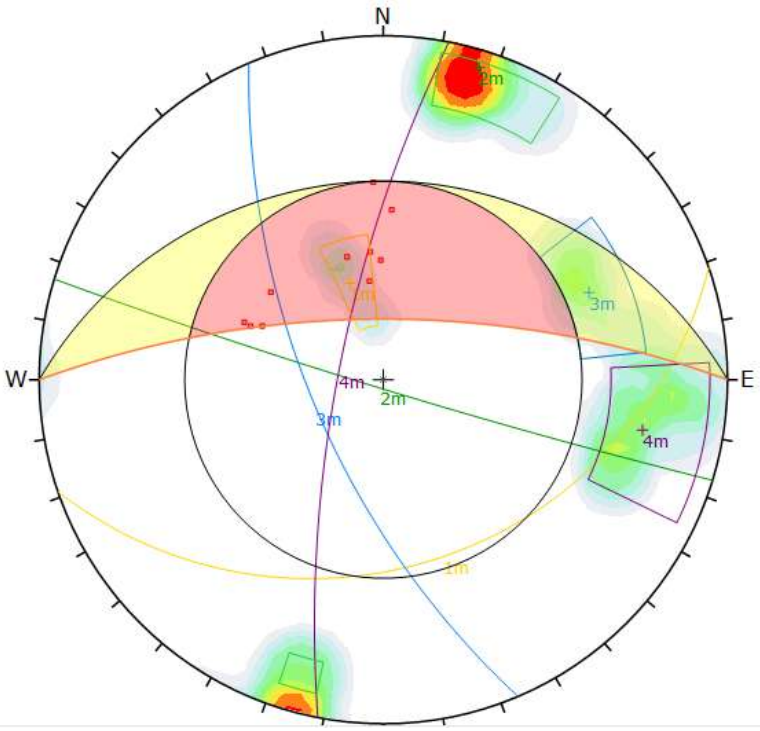


Imagen 26: Proyección estereográfica de la zona de estudio 3.2, posible rotura planar

Rotura en cuña

Otro tipo de inestabilidad detectada en el análisis espacial es la cuña formada por intersección de dos familias de diaclasas. Para que este tipo de deslizamientos se produzcan se debe cumplir que la dirección de la línea de intersección entre las dos juntas sea cercana a la del buzamiento del talud. Además, su buzamiento debe ser menor al del talud y mayor que el ángulo de fricción de las fracturas.



Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.00
	2.00 - 4.00
	4.00 - 6.00
	6.00 - 8.00
	8.00 - 10.00
	10.00 - 12.00
	12.00 - 14.00
	14.00 - 16.00
	16.00 - 18.00
	18.00 - 20.00
Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	19.48%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	0
Friction Angle	30°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	10	190	5.26%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	20 (20 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	190
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Imagen 27: Proyección estereográfica de la zona de estudio 1.1, posible rotura por cuña

En este caso, se evalúa la posibilidad de que se produzca una rotura por cuña en el macizo rocoso. Aunque la probabilidad asociada a este tipo de fallo estructural se considera baja, no puede descartarse por completo debido a las características geomecánicas del entorno.

Rotura por vuelco

El último tipo de deslizamientos son los denominados deslizamientos/roturas por vuelco. Este tipo de desestabilizaciones tienen lugar cuando los rumbos de la familia de juntas implicada y de la superficie del talud son parecidos, no difiriendo más de 20 grados. Además, el sentido del buzamiento de las diaclasas debe ser el contrario al del talud y se tiene que cumplir la siguiente condición:

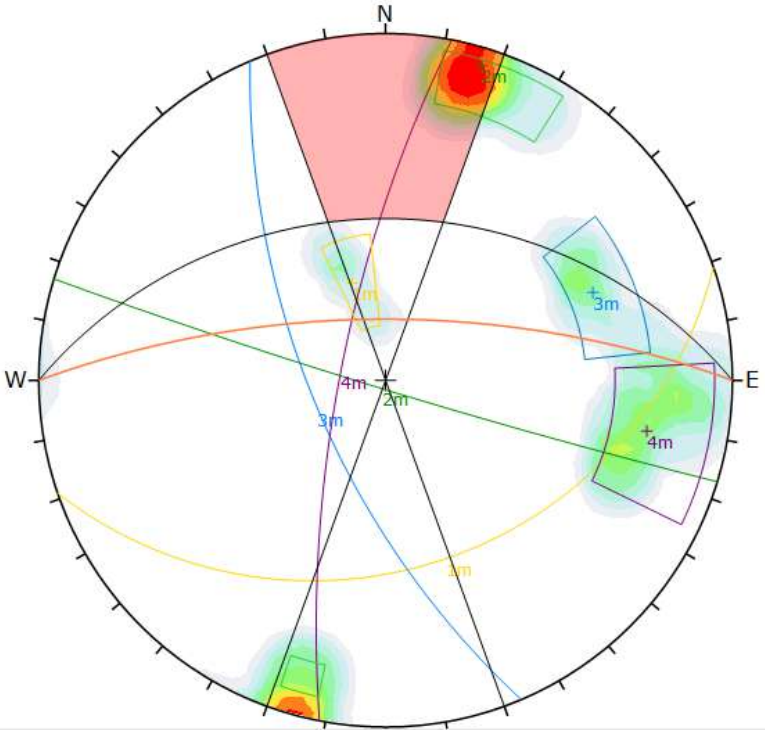
$$(90^{o}- \psi_P) \leq (\psi_F-\Phi_P)$$

Donde,

ψ_P : Buzamiento de la familia de juntas

ψ_F : Buzamiento de la superficie del talud

Φ_P : Ángulo de fricción de las fracturas



Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.00
	2.00 - 4.00
	4.00 - 6.00
	6.00 - 8.00
	8.00 - 10.00
	10.00 - 12.00
	12.00 - 14.00
	14.00 - 16.00
	16.00 - 18.00
	18.00 - 20.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	19.48%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	0
Friction Angle	30°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	4	20	20.00%
Flexural Toppling (Set 2)	4	7	57.14%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	20 (20 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Imagen 28: Proyección estereográfica de la zona de estudio 3.2, posible rotura por vuelco

La primera condición de que los rumbos de las familias implicadas y de la superficie del talud difieren menos de 20 grados no se cumple, pero sí que la última condición de (90º- ψP) ≤ (ψF-ΦP) se cumple. En este caso la probabilidad de que dicha rotura por vuelco ocurra es mínima.

2. ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN

Una vez realizado el análisis de estabilidad de las distintas zonas de actuación, se procede a definir y justificar las soluciones de estabilización y protección más adecuadas para cada una de ellas. La propuesta de actuación se plantea de forma sectorizada, manteniendo la misma división empleada en el análisis geológico-geotécnico y de estabilidad, con el fin de adaptar las medidas a la problemática específica identificada en cada zona.

El proyecto se estructura en tres zonas principales. La Zona 1 corresponde al talud aislado situado en el sector occidental. La Zona 2 se asocia al primer túnel y se divide en las subzonas 2.1 y 2.2, correspondientes a sus emboquilles y taludes asociados. La Zona 3 corresponde al túnel situado más al este, igualmente dividida en las subzonas 3.1 y 3.2.

Las soluciones propuestas se han definido a partir de los resultados obtenidos en el análisis de estabilidad, de la inspección de campo y del modelo fotogramétrico generado mediante vuelo de dron. En cada caso se han tenido en cuenta la geometría de los taludes, la naturaleza de los materiales, el grado de fracturación y alteración del macizo, la presencia de bloques o cuñas potencialmente inestables, la existencia de recubrimientos superficiales, los posibles procesos de erosión o lavado de finos y la relación de los taludes con los emboquilles de los túneles.

El criterio general adoptado consiste en diferenciar entre mecanismos de inestabilidad global y mecanismos locales. En aquellos sectores en los que los análisis mediante equilibrio límite no evidencian problemas significativos de deslizamiento global, las actuaciones se orientan principalmente al control de inestabilidades locales, tales como caída de bloques, vuelco de fragmentos rocosos, desprendimiento de pequeños paños o degradación superficial del frente. Por el contrario, en las zonas donde la estabilidad del conjunto pueda verse condicionada por la geometría del talud, por materiales alterados o por la presencia de superficies de rotura potenciales, se valoran medidas de estabilización más generales.

Las actuaciones consideradas incluyen, según el caso, saneo de bloques inestables, retirada de materiales sueltos, instalación de malla de triple torsión, colocación de redes de cable de acero, colocación de malla volumétrica, bulonado puntual, cunetas de coronación, protección frente a erosión y medidas específicas de estabilización en emboquilles.

La solución final de cada zona se desarrolla en los apartados siguientes, diferenciando las actuaciones previstas en la Zona 1, Zona 2 y Zona 3, así como en sus respectivas subzonas.

2.1. Zona 1

En la Zona 1 se propone una solución diferenciada en función de la problemática observada en cada sector del talud. En los extremos izquierdo y derecho predominan los afloramientos rocosos fracturados, con presencia de bloques y fragmentos susceptibles de desprendimiento puntual. En la zona central, por el contrario, se identifica un frente más degradado, asociado al desprendimiento previo existente.

En los extremos del talud se va a colocar malla de triple torsión, destinada a contener y guiar desprendimientos superficiales de pequeña y mediana entidad. La malla se debe fijar al macizo mediante bulones de 2,0 m de longitud, dispuestos en una cuadrícula de 5,0 × 5,0 m. Se dispondrán además los elementos auxiliares necesarios para garantizar el correcto funcionamiento del sistema,

incluyendo cable de coronación, cable perimetral, cable de cosido entre paños, anclajes de borde, solapes y elementos de unión y tensado.

En los bloques y paños rocosos de mayor entidad identificados en el análisis de estabilidad se va a colocar red de cable de acero, con el objetivo de confinar los elementos localmente inestables y limitar su posible movilización.

En la zona central del talud se coloca geomanta reforzada tipo MacMat o similar, orientada al control de la erosión, la retención de material suelto y la protección superficial del frente afectado por el desprendimiento previo. Esta geomanta se fija al terreno mediante los anclajes y elementos de unión necesarios, adaptándose a la geometría irregular del escarpe

Previamente a la instalación de cualquiera de los sistemas previstos, se debe realizar un saneo general del talud, retirando los fragmentos sueltos o claramente inestables. De este modo, la solución adoptada combina malla de triple torsión en los extremos, red de cable en los bloques de mayor entidad y geomanta reforzada tipo MacMat en la zona central degradada.

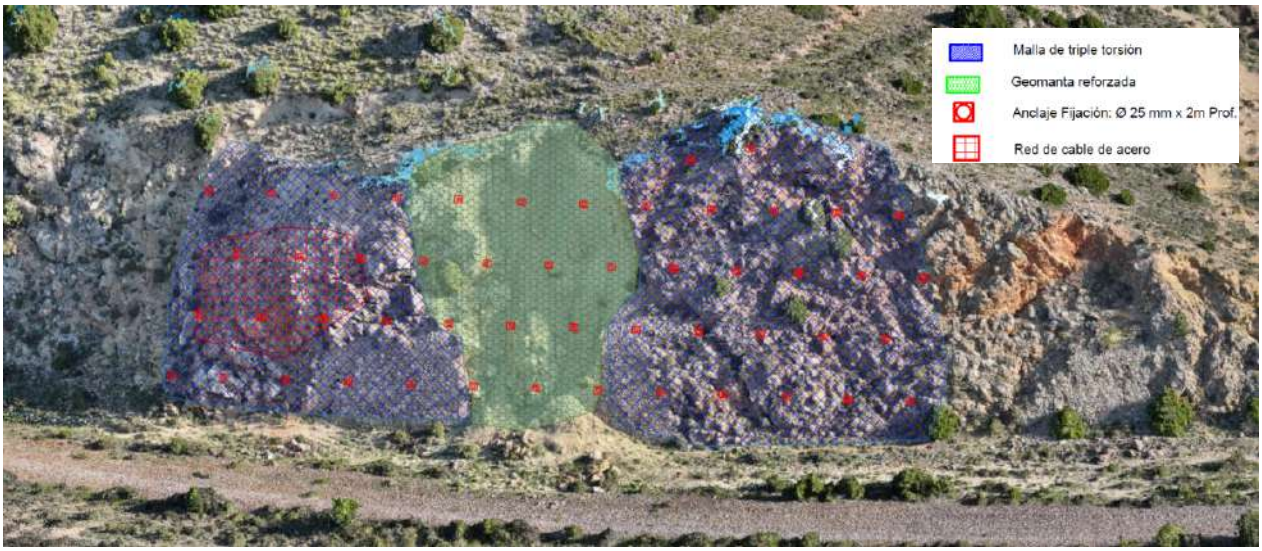


Imagen 29: Solución adoptada de la zona 1

2.2. Zona 2

En la Zona 2 se propone una solución diferenciada para las subzonas 2.1 y 2.2, en función de las condiciones observadas en cada emboquille y en los taludes asociados.

Zona 2.1

En la Zona 2.1 se coloca geomanta reforzada en los taludes próximos al emboquille, con el objetivo de contener desprendimientos superficiales y evitar la caída libre de fragmentos rocosos o material suelto. La malla se va a fijar mediante bulones de 2,0 m de longitud, dispuestos en una cuadrícula de 5,0 × 5,0 m.



Imagen 30: Solución adoptada de la zona 2.1

El sistema incorpora los elementos auxiliares necesarios para garantizar su correcto funcionamiento, incluyendo cable de coronación, cable perimetral, cable de cosido entre paños, anclajes de borde, solapes y elementos de unión y tensado. Antes de su instalación se debe realizar un saneo del frente, retirando bloques sueltos o fragmentos claramente inestables.

Adicionalmente, se prevé el refuerzo del emboquille del túnel mediante pletinas, con el fin de mejorar el confinamiento del frente y asegurar la estabilidad local del entorno inmediato de la boca. Este refuerzo se dispondrá en las zonas donde el macizo presente mayor fracturación, desconfinamiento o riesgo de desprendimiento localizado. Se proyecta la ejecución de drenes en el túnel para favorecer la evacuación del agua infiltrada, reduciendo las presiones intersticiales y minimizando los empujes hidráulicos sobre el revestimiento.

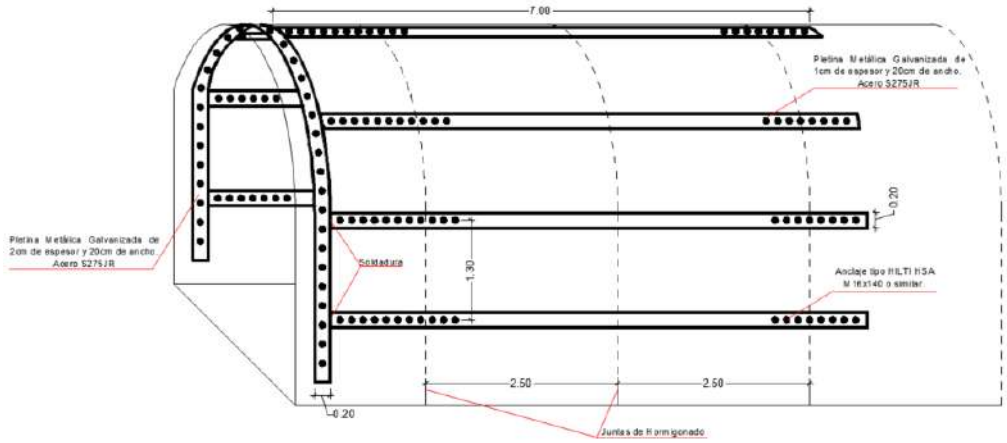


Imagen 31: Solución adoptada tipo de emboquille

Zona 2.2

En la Zona 2.2 se coloca igualmente geomanta reforzada en los taludes asociados al emboquille, con la misma configuración prevista para la Zona 2.1: bulones de 2,0 m en cuadrícula 5,0 × 5,0 m, cable de coronación, cable perimetral, cable de cosido, anclajes de borde, solapes y elementos de unión y tensado.

Como actuación complementaria, se proyecta la ejecución de una cuneta en la parte superior o coronación del talud, con el objetivo de recoger y conducir las aguas de escorrentía superficial, evitando que circulen directamente sobre el frente. Esta medida permite reducir procesos de erosión, lavado de finos, degradación superficial y posible pérdida de resistencia en los materiales del talud.



Imagen 32: Solución adoptada de la zona 2.2

También se debe ejecutar el refuerzo del emboquille del túnel mediante pletinas, destinado a mejorar la estabilidad local del frente y de los paños rocosos próximos a la boca del túnel. Esta actuación se plantea como medida de confinamiento y refuerzo en el entorno inmediato del portal.

Previamente a la ejecución de las soluciones previstas en ambas subzonas, se realiza un saneo general de los frentes y una revisión de los bloques o fragmentos potencialmente inestables, ajustando en obra la disposición final de los elementos de protección y refuerzo.

2.3. Zona 3

En la Zona 3 se plantean actuaciones diferenciadas para las subzonas 3.1 y 3.2, en función de la problemática identificada en cada emboquille y en los taludes próximos.

Zona 3.1

En la Zona 3.1 se va a colocar malla de triple torsión en los taludes aledaños al emboquille, destinada a contener desprendimientos superficiales y caída de fragmentos rocosos. La malla se fija

al macizo mediante bulones de 2,0 m de longitud, dispuestos en una cuadrícula de 5,0 × 5,0 m, incorporando cable de coronación, cable perimetral, cable de cosido entre paños, anclajes de borde, solapes y elementos de unión y tensado.

En los bloques rocosos analizados en el estudio de estabilidad se va a colocar red de cable de acero, con el objetivo de confinar los elementos de mayor entidad y limitar su posible movilización. Esta actuación se aplica de forma localizada sobre los bloques previamente identificados, especialmente en aquellos que presentan posición sobresaliente, apoyo irregular, apertura de discontinuidades o exposición directa hacia la cara libre.

Adicionalmente, dado que el túnel existente se desarrolla en macizo rocoso y presenta zonas con posible fracturación y degradación localizada del contorno, se propone la ejecución de un sostenimiento interior del túnel. Esta actuación tiene como finalidad mejorar el confinamiento del macizo, limitar la caída de lajas o bloques desde la clave y hastiales, y garantizar una mayor seguridad durante la vida útil de la infraestructura. Por lo que se va a colocar red de cable de acero en la cara interior del muro a lo largo de los primeros 18 metros del túnel, adaptada a la geometría de la sección del túnel. Esto va a ir reforzado con la instalación de bulones de acero de Ø25 mm, colocados en perforación previa e inyectados con resina química tipo Mapefix o equivalente.

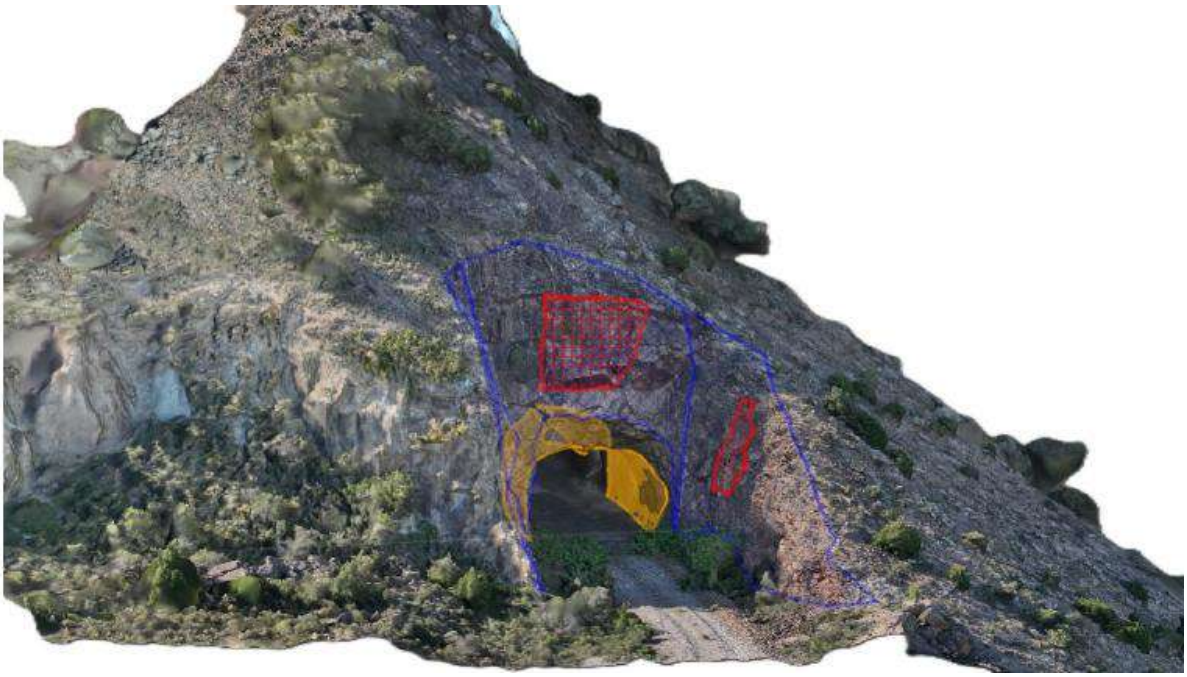


Imagen 33: Solución adoptada de la zona 3.1

Zona 3.2

En la Zona 3.2 se colocará igualmente malla de triple torsión en los taludes y paños rocosos próximos al emboquille, con la misma configuración general prevista: bulones de 2,0 m en cuadrícula 5,0 × 5,0 m, cable de coronación, cable perimetral, cable de cosido, anclajes de borde, solapes y elementos de unión y tensado.

En los bloques y paños rocosos identificados durante el análisis se dispondrá red de cable de acero, especialmente en aquellos sectores donde se han reconocido elementos de mayor volumen, exposición directa al frente o posible descalce. La red tendrá como finalidad contener y confinar los

bloques potencialmente inestables, reduciendo el riesgo de desprendimiento hacia el entorno del emboquille.

Además, en las grandes cuñas rocosas analizadas junto al emboquille se ejecutarán bulones de cosido, destinados a mejorar la estabilidad de los paquetes estratificados y limitar la apertura o movilización de las discontinuidades que los delimitan. Esta actuación se considera especialmente adecuada en aquellas cuñas donde la disposición de la estratificación y las juntas pueda favorecer mecanismos de vuelco, rotura planar o desprendimiento localizado. Estos bulones van a ir cosidos entre cuñas, y van a ser de 9 metros de profundidad. Con carácter previo a la ejecución del cosido de bloques, se procederá a la estabilización y aseguramiento de la zona mediante el sellado de fisuras y grietas con mortero compatible, así como mediante la posterior inyección de lechada, garantizando la adecuada consolidación del soporte.



Imagen 34: Solución adoptada de la zona 3.1

Antes de la instalación de los sistemas previstos se realizará un saneo general de los frentes, retirando bloques sueltos, fragmentos inestables y material degradado. La disposición definitiva de la malla, la red de cable y los bulones de cosido deberá ajustarse en obra a la geometría real del talud, al estado del macizo tras el saneo y a la posición final de los bloques y cuñas a estabilizar.

A continuación, se muestran imágenes de la medición de la cuña de mayor tamaño, en la que se basa el estudio de la colocación de anclajes y el cálculo de los mismos.

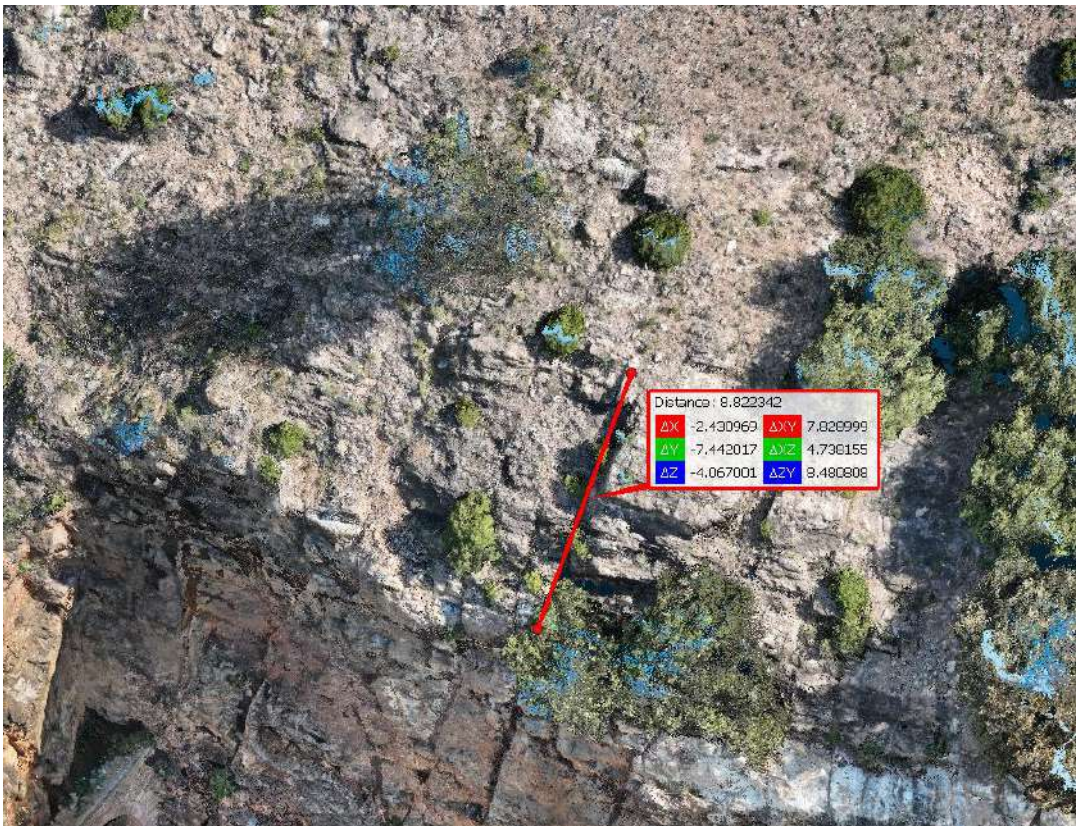


Imagen 35: Medición cuña zona 3.2

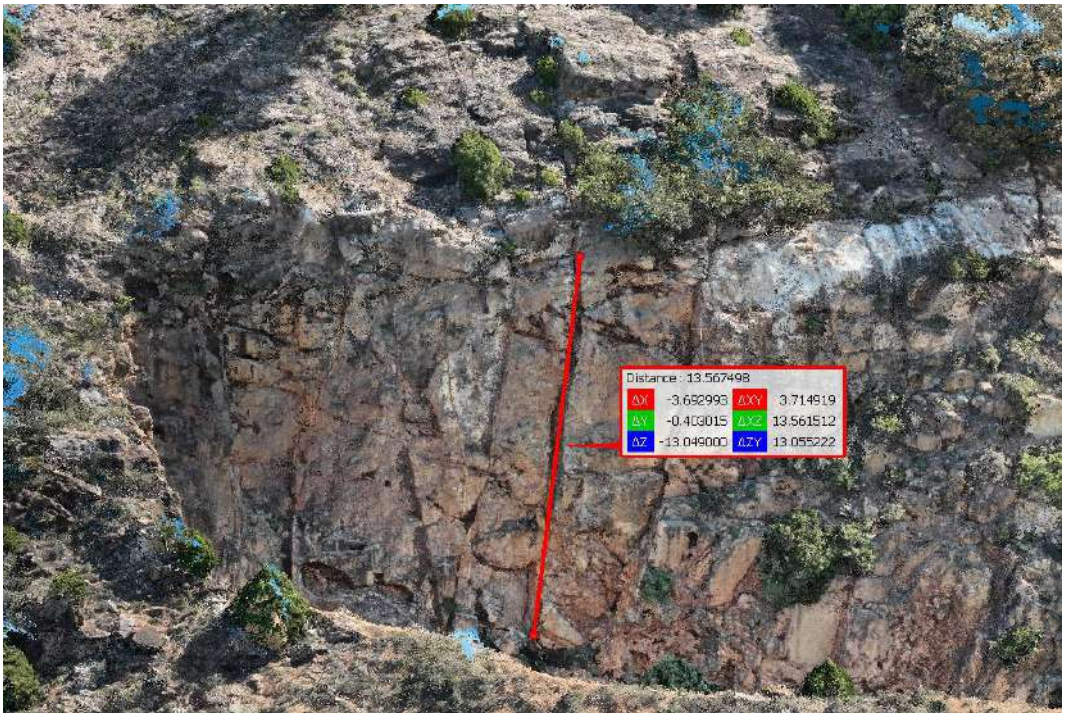


Imagen 36: Medición cuña zona 3.2

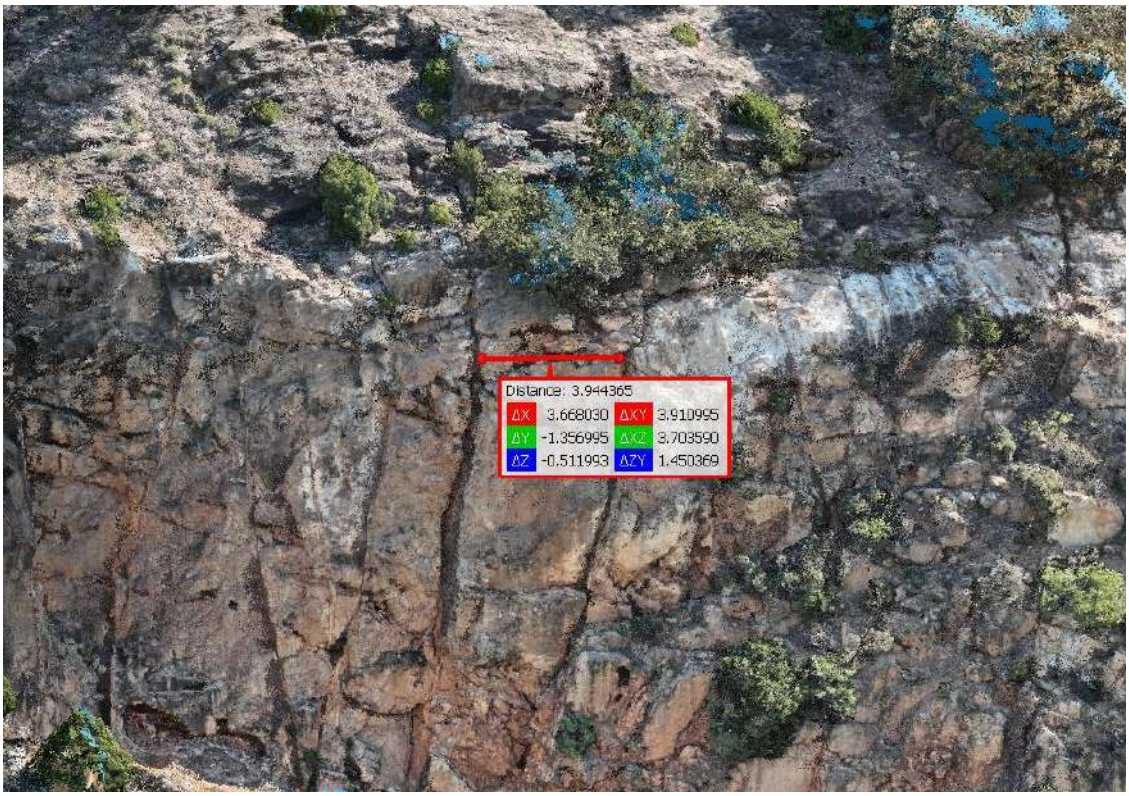


Imagen 37: Medición cuña zona 3.2

2.3.1. Bulones de anclaje

Para asegurar el comportamiento individual de cada componente de los bulones, se han utilizado las recomendaciones del Ministerio de Fomento (Abril 2001) para el diseño de los mismos.

Si bien es cierto que esta Norma está dirigida principalmente a bulones activos (anclajes), al comienzo de la misma hace referencia a anclajes pasivos como aquellos que se les deja con una carga inicial baja (10 % de la de proyecto), adquiriendo esta última por los movimientos de la estructura.

Los bulones pasivos reciben una cierta tensión al ser apretados en su instalación, trabajando posteriormente la adherencia entre la inyección de la longitud útil del mismo y la roca los movimientos de la hipoteca cuña inestable.

Se van a realizar los cálculos para los anclajes a colocar en las diferentes zonas estudiadas.

Se procede a realizar las 3 comprobaciones definidas por la “Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno” para esta zona.

Comprobación de la tensión admisible del bulón

Para la comprobación de la tensión admisible del acero del tirante se minorará la tensión admisible en el tirante de forma que se cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

Para anclajes permanentes:

$$P_{Nd} / A_T \leq f_{pk} / 1{,}30$$

$$P_{Nd} / A_T \leq f_{yk} / 1{,}15$$

Siendo:

- P_{Nd} = carga nominal mayorada de cada anclaje.
- A_T = sección del tirante.
- f_{pk} = límite de rotura del acero del tirante.
- f_{yk} = límite elástico del acero del tirante.

Para bulones de Ø=32 mm:

- AT =804,247 mm2
- fpk = 550 N/mm2
- fyk = 500 N/mm2

Por lo que:

$$P_{Nd} / A_T \leq 423{,}077$$

$$P_{Nd} / A_T \leq 434{,}78$$

De esta forma, se obtienen los siguientes valores de carga nominal mayorada de cada anclaje en cuanto a la tensión admisible del acero estas características:

Pnd I=340,258 kN

Pnd II=349,672 kN

Teniendo en cuenta el tipo de terreno y el tamaño del bloque, se obtiene la carga nominal mayorada que va a tener que soportar cada anclaje, y se verifica que la comprobación analizada es correcta:

PNd/AT	fpk/1,30
411,067462	423,076923
411,067462	434,782609

Comprobación del arrancamiento del bulbo

Para la comprobación de la seguridad frente al arrancamiento del bulbo se minorará la adherencia límite del terreno que rodea al bulbo del anclaje para obtener la adherencia admisible aadm. Se comprobará:

$$\frac{P_{nd}}{\pi * D_n * Lb} \leq a_{adm}$$

Siendo:

- Pnd = carga nominal mayorada
- alim = 1 Mpa. Se considera este valor de adherencia límite para poder estar del lado de la seguridad.
- aadm = alim / Fad = 0,7 / 1,65 = 0,606060606 MPa. (adherencia admisible frente al deslizamiento o arrancamiento del terreno que rodea al bulbo).
- Fad = 1,65 factor de minoración de la adherencia para anclajes permanentes.
- Dn = Diámetro del bulbo = 74 mm.
- Lb = 3 m de longitud de bulbo.

Se comprueba que se cumple la comprobación:

PNd /(π . Dn . L b)	aadm
0,47402374	0,60606061

Comprobación al deslizamiento del tirante con la lechada

Para la comprobación de la seguridad frente al deslizamiento del tirante en la lechada, dentro del bulbo se minorará la adherencia límite entre el tirante y la lechada que lo rodea en el bulbo, por el coeficiente 1,2.

Se deberá verificar:

$$1)\ \frac{P_{nd}}{L_b * P_t} \leq \frac{\tau_{lim}}{1{,}20}$$

Siendo:

- Pnd = carga nominal de cada anclaje
- Diámetro del tirante: 32 mm.
- Perímetro nominal del tirante.
- $P_t = 2 * \sqrt{\pi * a_t}$ = 100,5309 mm.
- $\tau_{lim} = 6.9 * \left(\frac{f_{ck}}{22{,}5}\right)^{\frac{2}{3}}$ = 4,02 N/mm2. Siendo fck la resistencia característica de la lechada, siendo en este caso de 10 Mpa.
- Lb = Longitud del bulbo = 3,0 m.

Por lo que, se comprueba que la comprobación es correcta:

PNd / (Lb . pT)	τlim / 1,2
1,096179899	3,34872511

Por lo que, en esta zona, a lo largo de las cuñas, se van a colocar anclajes en una cuadrícula de 2x2m de diámetro de barra de 32 mm y de diámetro de perforación 74 mm y 9 m de profundidad.

ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES PARA LA ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DEL ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO COMO CAMINO NATURAL, ALBA (TERUEL, ARAGÓN)

ANEJO 4

Informe fotogramétrico

ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO

TÚNEL 2 TALUD 2
Informe de procesamiento
09 June 2026



Datos del levantamiento

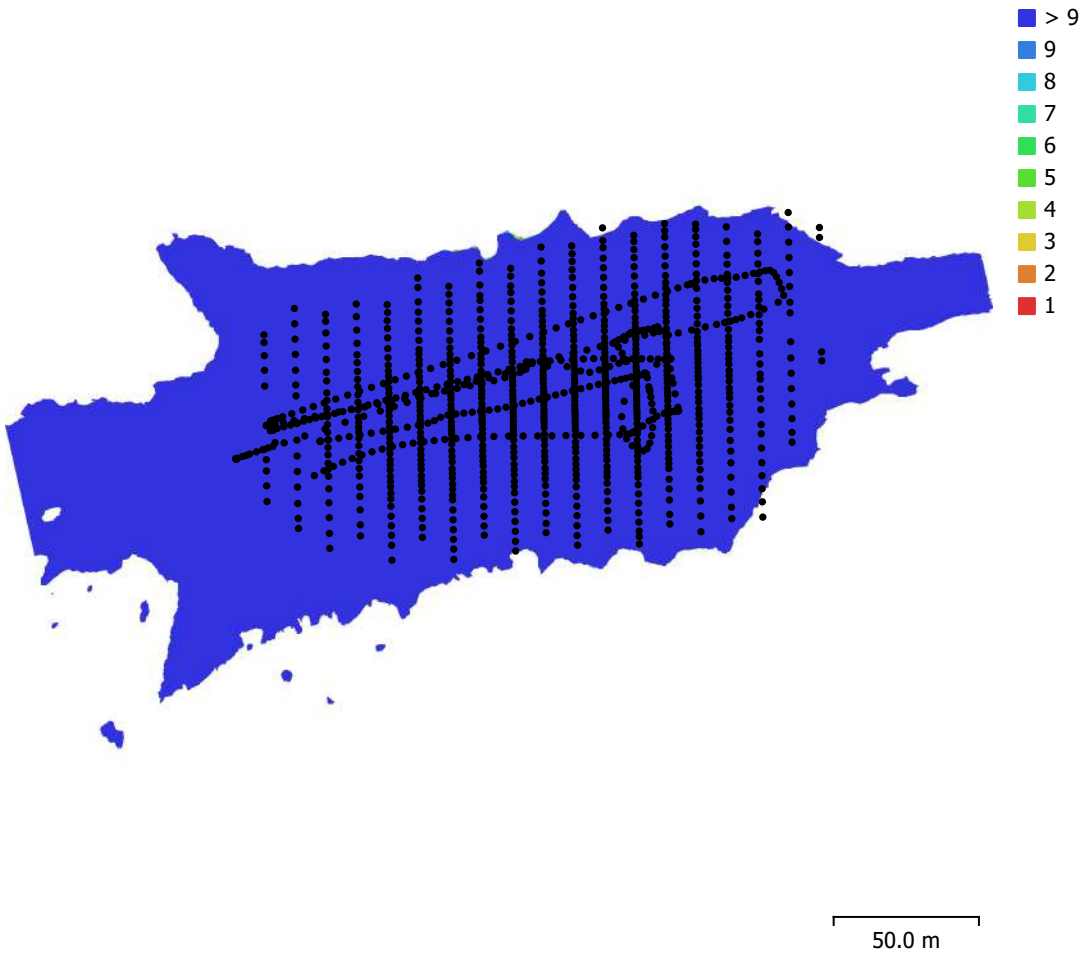


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes:	1,066	Imágenes alineadas:	1,066
Altitud media de vuelo:	33.1 m	Puntos de paso:	13,181,106
Resolución en terreno:	1.01 cm/pix	Proyecciones:	43,942,200
Área cubierta:	0.0309 km^2	Error de reproyección:	0.836 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
M4E (12.29mm)	5280 x 3956	12.29 mm	3.36 x 3.36 micras	Sí

Tabla 1. Cámaras.

Calibración de cámara

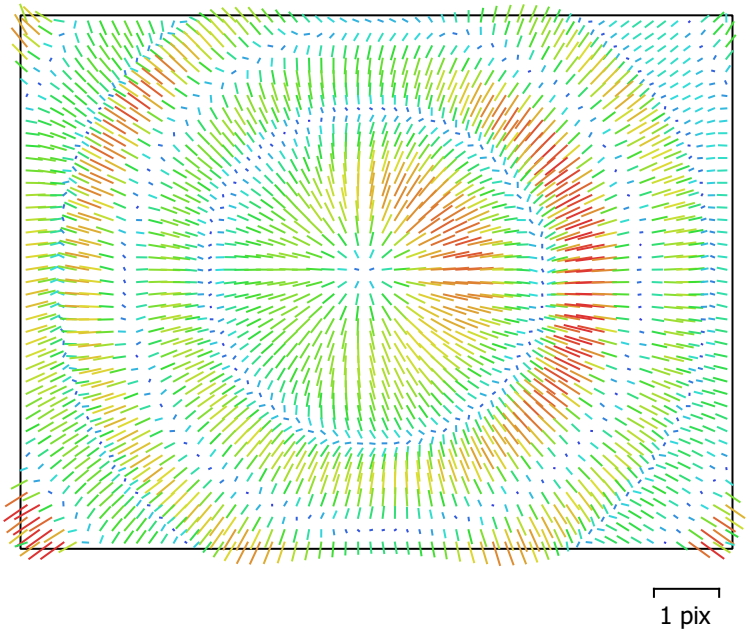


Fig. 2. Gráfico de residuales para M4E (12.29mm).

M4E (12.29mm)

1066 imágenes, precalibrada

Tipo	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel
Cuadro	**5280 x 3956**	**12.29 mm**	**3.36 x 3.36 micras**

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	**3714.1**	0.0036	1.00	0.03	-0.18	-0.45	0.41	-0.39	0.00	-0.04
Cx	**15.4504**	0.0033		1.00	-0.01	-0.01	0.01	-0.01	0.71	-0.01
Cy	**-26.0426**	0.0028			1.00	0.01	-0.00	0.00	-0.00	0.51
K1	**-0.110102**	3.9e-06				1.00	-0.97	0.91	-0.00	-0.02
K2	**0.00694671**	9.4e-06					1.00	-0.98	0.01	0.01
K3	**-0.0228258**	6.7e-06						1.00	-0.01	-0.01
P1	**-0.000264656**	1.5e-07							1.00	-0.02
P2	**5.60387e-05**	1.5e-07								1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Posiciones de cámaras

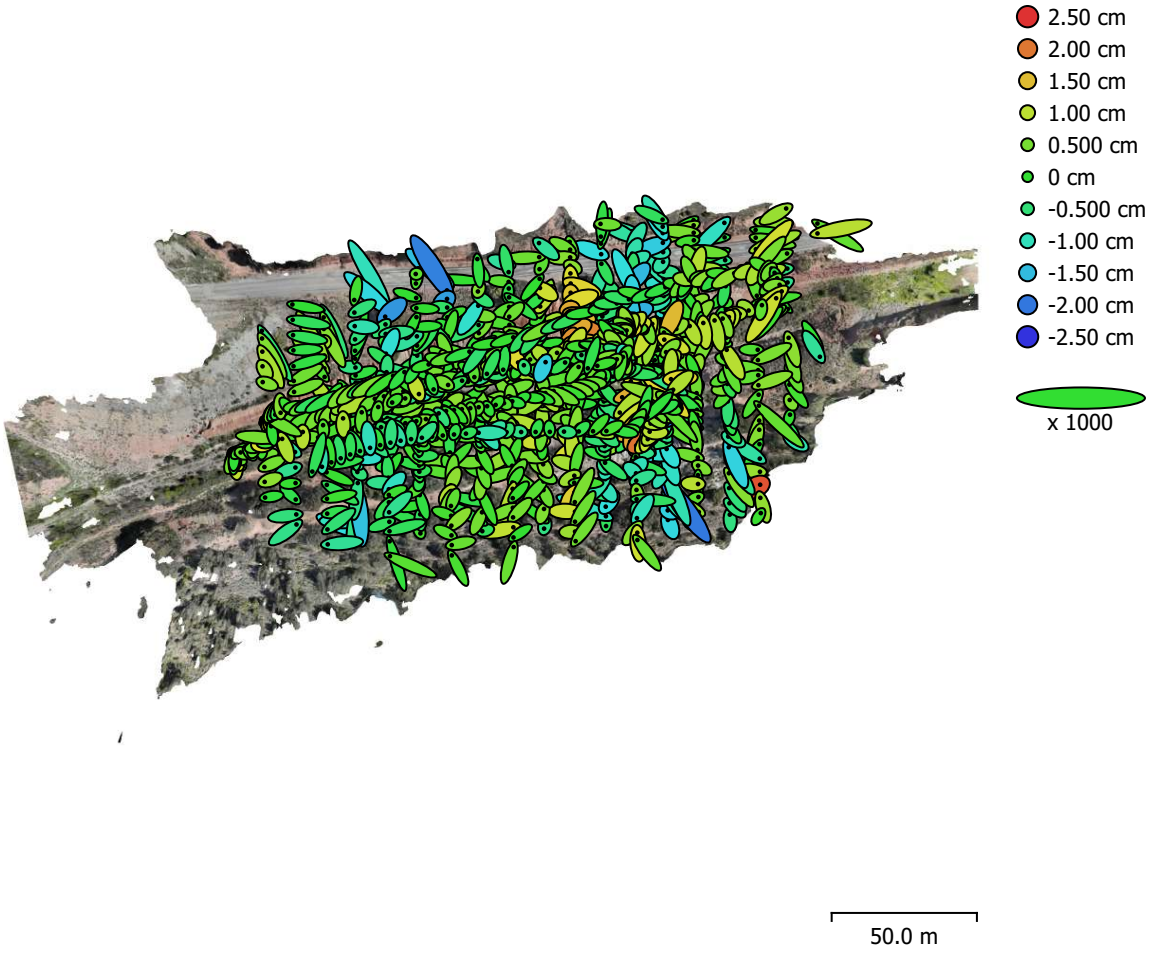


Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimadores de error.
El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.
Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Error en X (mm)	Error en Y (mm)	Error en Z (mm)	Error en XY (mm)	Error combinado (mm)
5.11579	4.42017	6.18544	6.76086	9.16346

Tabla 3. Errores medios de las posiciones de cámaras.
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Modelo digital de elevaciones

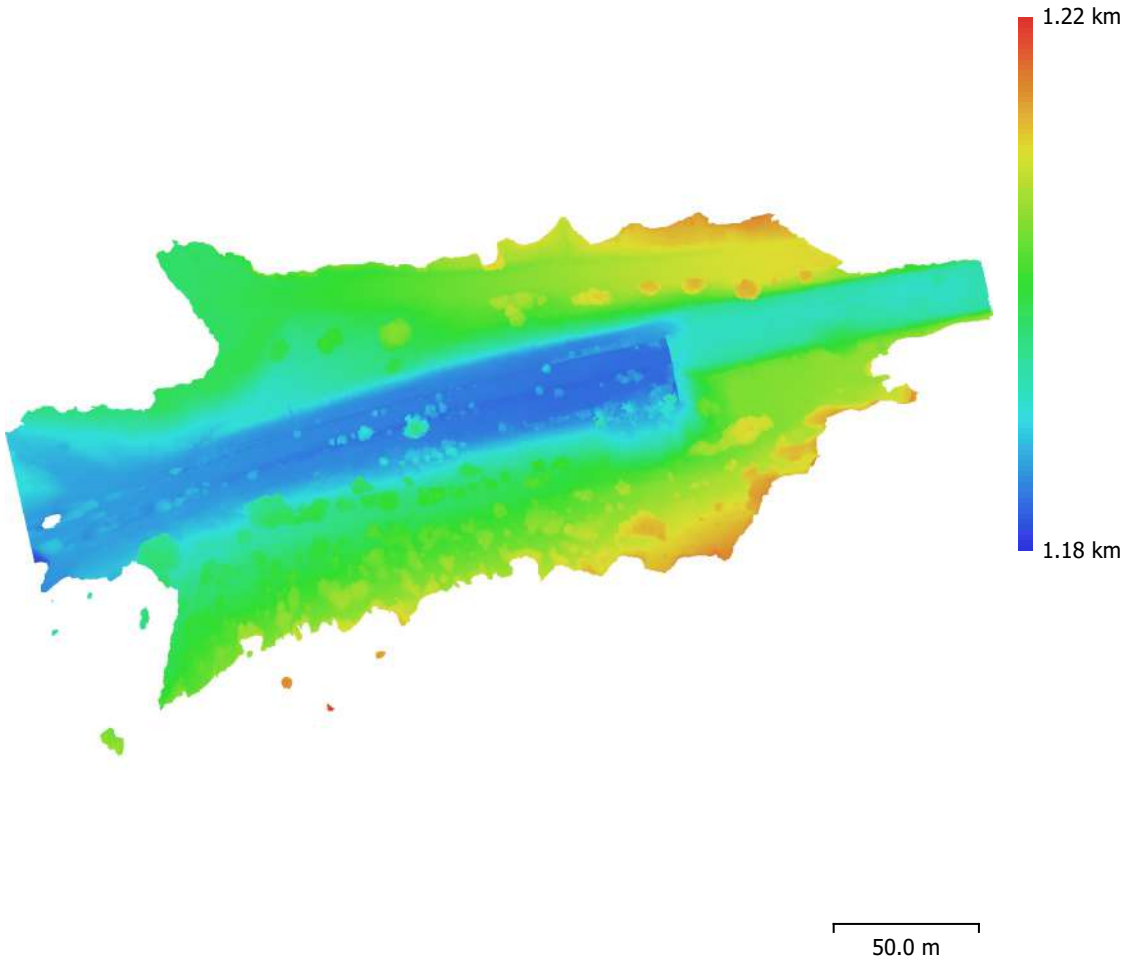


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución:	1.98 cm/pix
Densidad de puntos:	0.256 puntos/cm^2

Parámetros de procesamiento

Generales	
Imágenes	1066
Imágenes alineadas	1066
Sistema de coordenadas	ETRS89 / UTM zone 30N (EPSG::25830)
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo
Puntos de paso	
Puntos	13,181,106 de 16,234,483
RMS error de reproyección	0.203756 (0.836306 pix)
Error de reproyección máximo	0.621827 (69.284 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	3.54906 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos clave	11.52 GB
Multiplicidad media de puntos de paso	4.25873
Parámetros de orientación	
Precisión	Alta
Preselección genérica	Sí
Preselección de referencia	Origen
Puntos clave por foto	0
Límite de puntos clave por megapixel	0
Puntos de paso por foto	0
Excluir puntos de paso inmóviles	Sí
Emparejamiento guiado	Sí
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	Sí
Tiempo búsqueda de emparejamientos	26 minutos 53 segundos
Uso de memoria durante el emparejamiento	6.71 GB
Tiempo de orientación	2 horas 28 minutos
Uso de memoria durante el alineamiento	7.88 GB
Fecha de creación	2026:06:05 10:04:22
Versión del programa	2.3.0.21463
Tamaño de archivo	13.14 GB
Mapas de profundidad	
Número	1066
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Alta
Modo de filtrado	Agresivo
Límite máximo de redundancias	16
Tiempo de procesamiento	2 horas 38 minutos
Uso de memoria	8.49 GB
Fecha de creación	2026:06:06 11:04:48
Versión del programa	2.3.0.21463
Tamaño de archivo	7.75 GB
Nube de puntos	
Puntos	34,393,090
Precisión de las coordenadas	1.01 cm
Atributos de los puntos	
Color	3 bandas, uint8
Normal	
Confianza	1 - 255
Clases de puntos	
Creado (nunca clasificado)	34,393,090

Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Media
Modo de filtrado	Agresivo
Límite máximo de redundancias	16
Tiempo de procesamiento	48 minutos 0 segundos
Uso de memoria	4.82 GB
Parámetros de generación de la nube de puntos	
Origen de datos	Mapas de profundidad
Tiempo de procesamiento	1 hora 57 minutos
Uso de memoria	9.45 GB
Fecha de creación	2026:06:05 23:40:42
Versión del programa	2.3.0.21463
Tamaño de archivo	495.56 MB
Modelo	
Caras	34,045,462
Vértices	17,026,210
Colores de vértices	3 bandas, uint8
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Alta
Modo de filtrado	Agresivo
Límite máximo de redundancias	16
Tiempo de procesamiento	2 horas 38 minutos
Uso de memoria	8.49 GB
Parámetros de reconstrucción	
Tipo de superficie	Arbitrario
Origen de datos	Mapas de profundidad
Interpolación	Habilitada
Máscaras volumétricas estrictas	No
Tiempo de procesamiento	1 hora 29 minutos
Uso de memoria	9.99 GB
Fecha de creación	2026:06:06 19:43:11
Versión del programa	2.3.0.21463
Tamaño de archivo	730.60 MB
Ortomosaico	
Tamaño	33,502 x 18,409
Resolución	1.01 cm/pix
Sistema de coordenadas	ETRS89 / UTM zone 30N (EPSG::25830)
Colores	3 bandas, uint8
Ortofotos individuales	13.14 GB
Parámetros de reconstrucción	
Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	Modelo
Permitir el cierre de agujeros	Sí
Habilitar el filtro de efecto fantasma	No
Tiempo de procesamiento	2 horas 49 minutos
Uso de memoria	9.69 GB
Fecha de creación	2026:06:07 17:09:25
Versión del programa	2.3.0.21463
Tamaño de archivo	13.63 GB
Sistema	
Nombre del programa	Agisoft Metashape Professional
Versión del programa	2.3.0 build 21463
OS	Windows 64 bit
RAM	15.85 GB
CPU	11th Gen Intel(R) Core(TM) i7-11800H @ 2.30GHz
GPU(s)	NVIDIA GeForce RTX 3060 Laptop GPU

ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO

TÚNEL 1 NORTE 2
Informe de procesamiento
09 June 2026



Datos del levantamiento

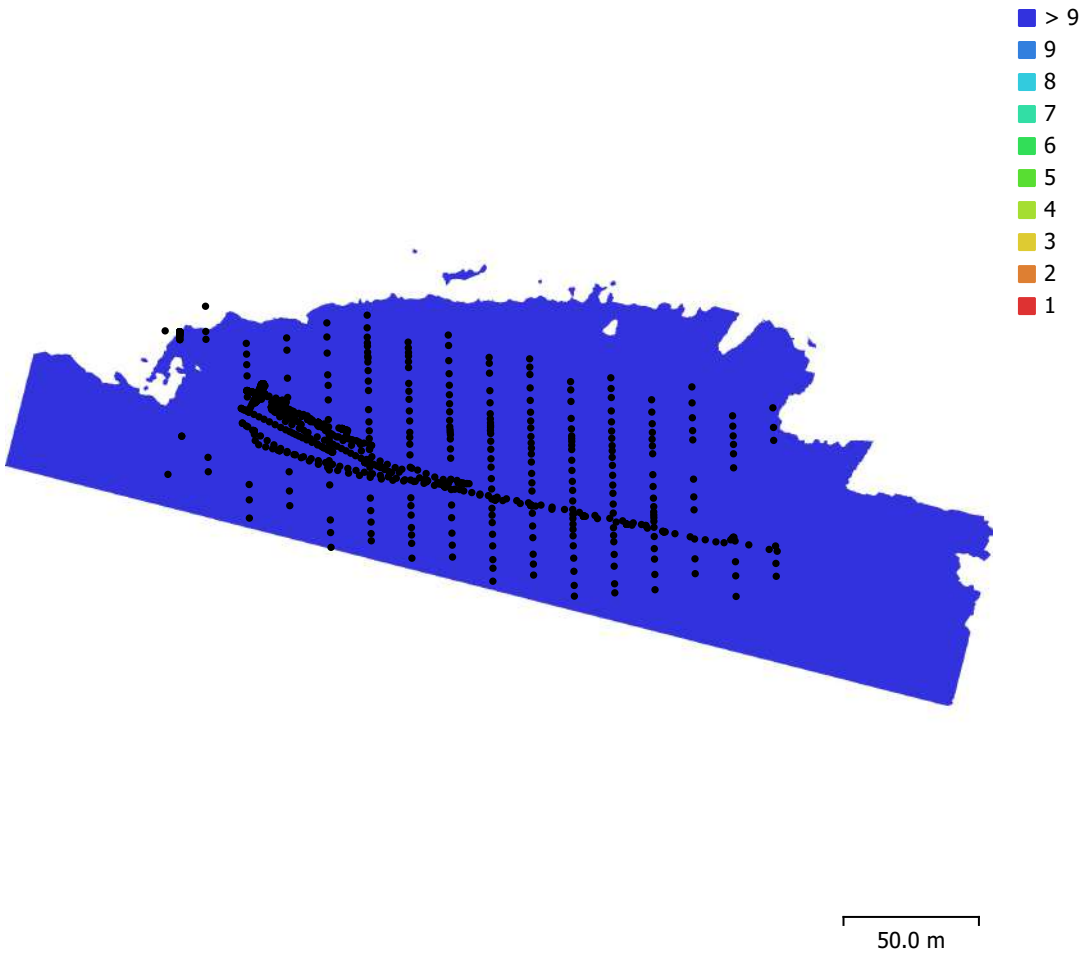


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes:	1,126	Imágenes alineadas:	1,119
Altitud media de vuelo:	13.9 m	Puntos de paso:	14,970,565
Resolución en terreno:	5.52 mm/pix	Proyecciones:	52,996,410
Área cubierta:	0.0310 km^2	Error de reproyección:	0.822 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
M4E (12.29mm)	5280 x 3956	12.29 mm	3.36 x 3.36 micras	Sí

Tabla 1. Cámaras.

Calibración de cámara

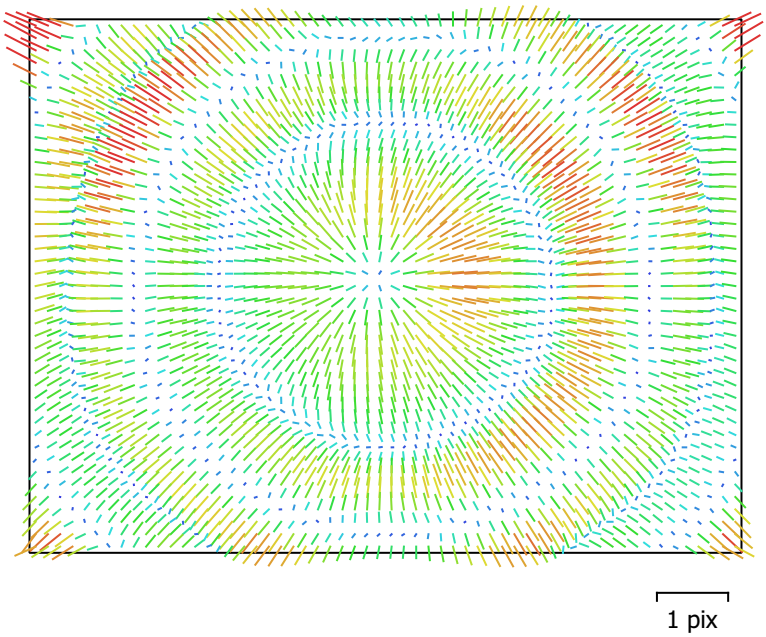


Fig. 2. Gráfico de residuales para M4E (12.29mm).

M4E (12.29mm)

1126 imágenes, precalibrada

Tipo	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel
Cuadro	**5280 x 3956**	**12.29 mm**	**3.36 x 3.36 micras**

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	**3711.26**	0.0045	1.00	0.04	-0.16	-0.35	0.28	-0.27	-0.03	-0.00
Cx	**14.7679**	0.0045		1.00	-0.00	-0.01	0.01	-0.01	0.52	0.01
Cy	**-25.7789**	0.0044			1.00	0.02	-0.03	0.04	0.04	0.28
K1	**-0.107081**	3.7e-06				1.00	-0.96	0.90	0.00	0.01
K2	**-0.000481127**	9.3e-06					1.00	-0.98	0.00	-0.03
K3	**-0.0172785**	7e-06						1.00	-0.00	0.03
P1	**-0.000280713**	2e-07							1.00	-0.03
P2	**5.21867e-05**	2e-07								1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Posiciones de cámaras

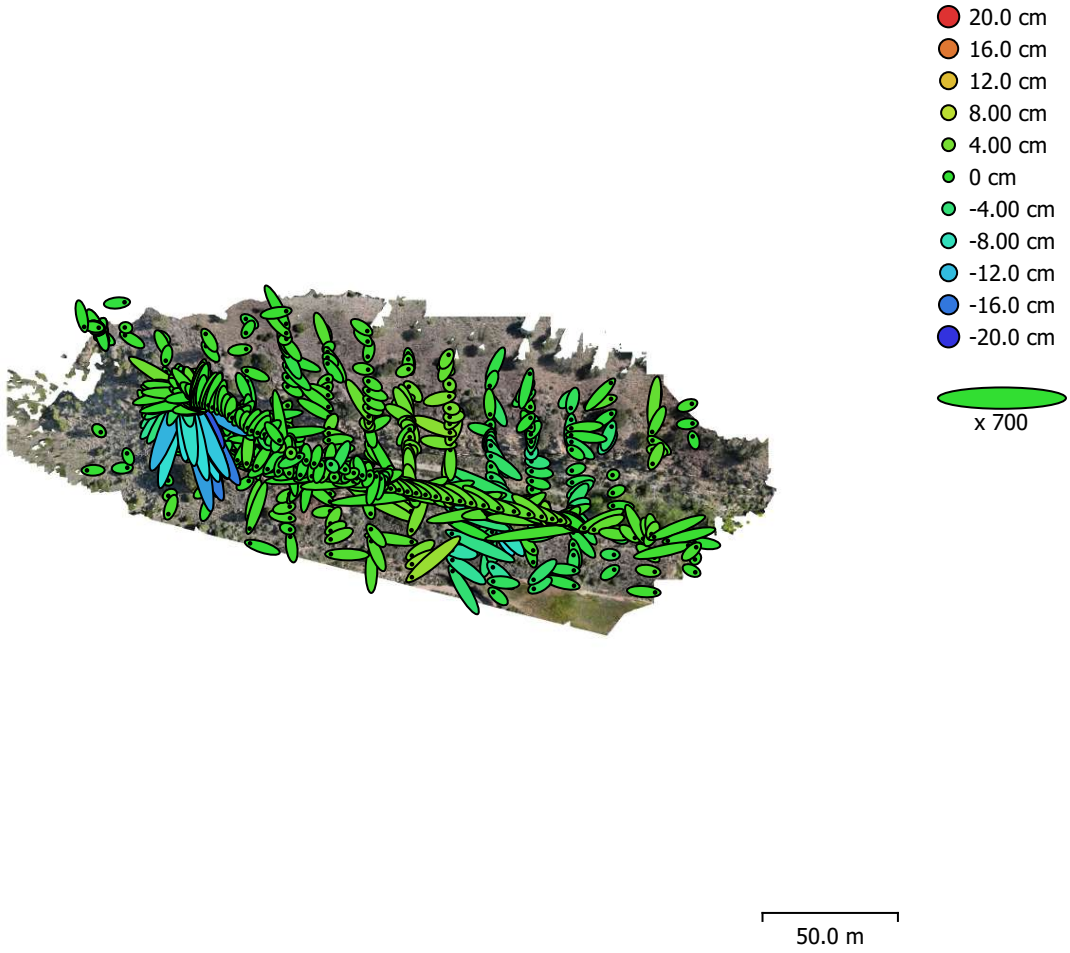


Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimadores de error.
El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.
Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Error en XY (cm)	Error combinado (cm)
0.869133	0.820167	2.26816	1.19502	2.56371

Tabla 3. Errores medios de las posiciones de cámaras.
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Modelo digital de elevaciones

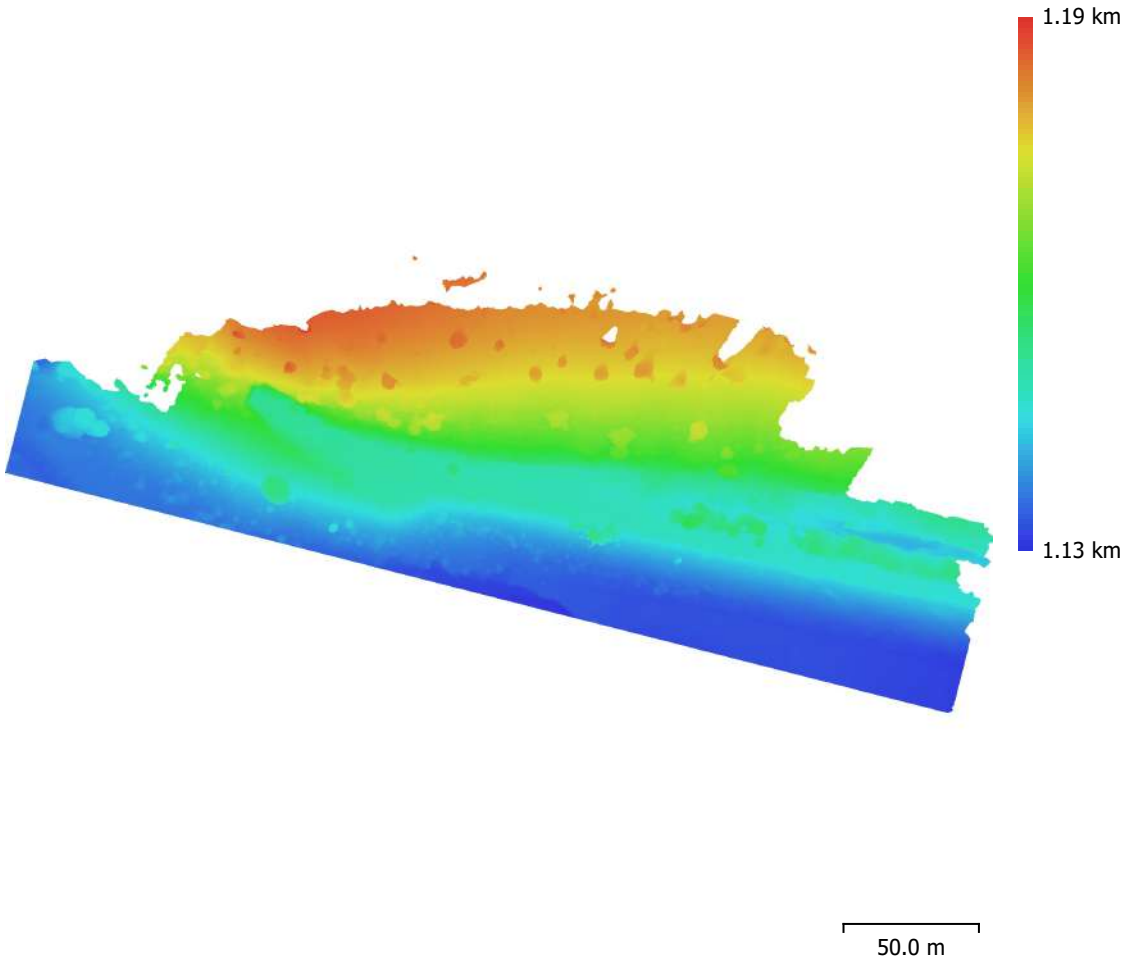


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución:	6.56 mm/pix
Densidad de puntos:	2.32 puntos/cm^2

Parámetros de procesamiento

Generales	
Imágenes	1126
Imágenes alineadas	1119
Sistema de coordenadas	ETRS89 / UTM zone 30N (EPSG::25830)
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo
Puntos de paso	
Puntos	14,970,565 de 19,694,643
RMS error de reproyección	0.193621 (0.821508 pix)
Error de reproyección máximo	0.588888 (64.5748 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	3.71534 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos clave	12.49 GB
Multiplicidad media de puntos de paso	3.90181
Parámetros de orientación	
Precisión	Alta
Preselección genérica	Sí
Preselección de referencia	Origen
Puntos clave por foto	0
Límite de puntos clave por megapixel	0
Puntos de paso por foto	0
Excluir puntos de paso inmóviles	Sí
Emparejamiento guiado	Sí
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	Sí
Tiempo búsqueda de emparejamientos	26 minutos 16 segundos
Uso de memoria durante el emparejamiento	6.41 GB
Tiempo de orientación	2 horas 30 minutos
Uso de memoria durante el alineamiento	9.18 GB
Fecha de creación	2026:06:05 10:44:43
Versión del programa	2.3.0.21463
Tamaño de archivo	14.31 GB
Mapas de profundidad	
Número	1119
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Alta
Modo de filtrado	Agresivo
Límite máximo de redundancias	16
Tiempo de procesamiento	2 horas 41 minutos
Uso de memoria	6.18 GB
Fecha de creación	2026:06:06 15:14:03
Versión del programa	2.3.0.21463
Tamaño de archivo	7.80 GB
Nube de puntos	
Puntos	91,575,793
Precisión de las coordenadas	5.52 mm
Atributos de los puntos	
Color	3 bandas, uint8
Normal	
Confianza	1 - 186
Clases de puntos	
Creado (nunca clasificado)	91,575,793

Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Media
Modo de filtrado	Agresivo
Límite máximo de redundancias	16
Tiempo de procesamiento	47 minutos 5 segundos
Uso de memoria	4.89 GB
Parámetros de generación de la nube de puntos	
Origen de datos	Mapas de profundidad
Tiempo de procesamiento	1 hora 46 minutos
Uso de memoria	8.24 GB
Fecha de creación	2026:06:06 02:30:47
Versión del programa	2.3.0.21463
Tamaño de archivo	1.31 GB
Modelo	
Caras	57,741,473
Vértices	28,879,966
Colores de vértices	3 bandas, uint8
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Alta
Modo de filtrado	Agresivo
Límite máximo de redundancias	16
Tiempo de procesamiento	2 horas 41 minutos
Uso de memoria	6.18 GB
Parámetros de reconstrucción	
Tipo de superficie	Arbitrario
Origen de datos	Mapas de profundidad
Interpolación	Habilitada
Máscaras volumétricas estrictas	No
Tiempo de procesamiento	3 horas 43 minutos
Uso de memoria	10.03 GB
Fecha de creación	2026:06:07 01:17:48
Versión del programa	2.3.0.21463
Tamaño de archivo	1.21 GB
Ortomosaico	
Tamaño	66,041 x 30,585
Resolución	5.52 mm/pix
Sistema de coordenadas	ETRS89 / UTM zone 30N (EPSG::25830)
Colores	3 bandas, uint8
Ortofotos individuales	11.14 GB
Parámetros de reconstrucción	
Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	Modelo
Permitir el cierre de agujeros	Sí
Habilitar el filtro de efecto fantasma	No
Tiempo de procesamiento	7 horas 51 minutos
Uso de memoria	10.01 GB
Fecha de creación	2026:06:07 22:19:16
Versión del programa	2.3.0.21463
Tamaño de archivo	12.15 GB
Sistema	
Nombre del programa	Agisoft Metashape Professional
Versión del programa	2.3.0 build 21463
OS	Windows 64 bit
RAM	15.85 GB
CPU	11th Gen Intel(R) Core(TM) i7-11800H @ 2.30GHz
GPU(s)	NVIDIA GeForce RTX 3060 Laptop GPU

ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO

TÚNEL 2 TALUD 1
Informe de procesamiento
09 June 2026



Datos del levantamiento

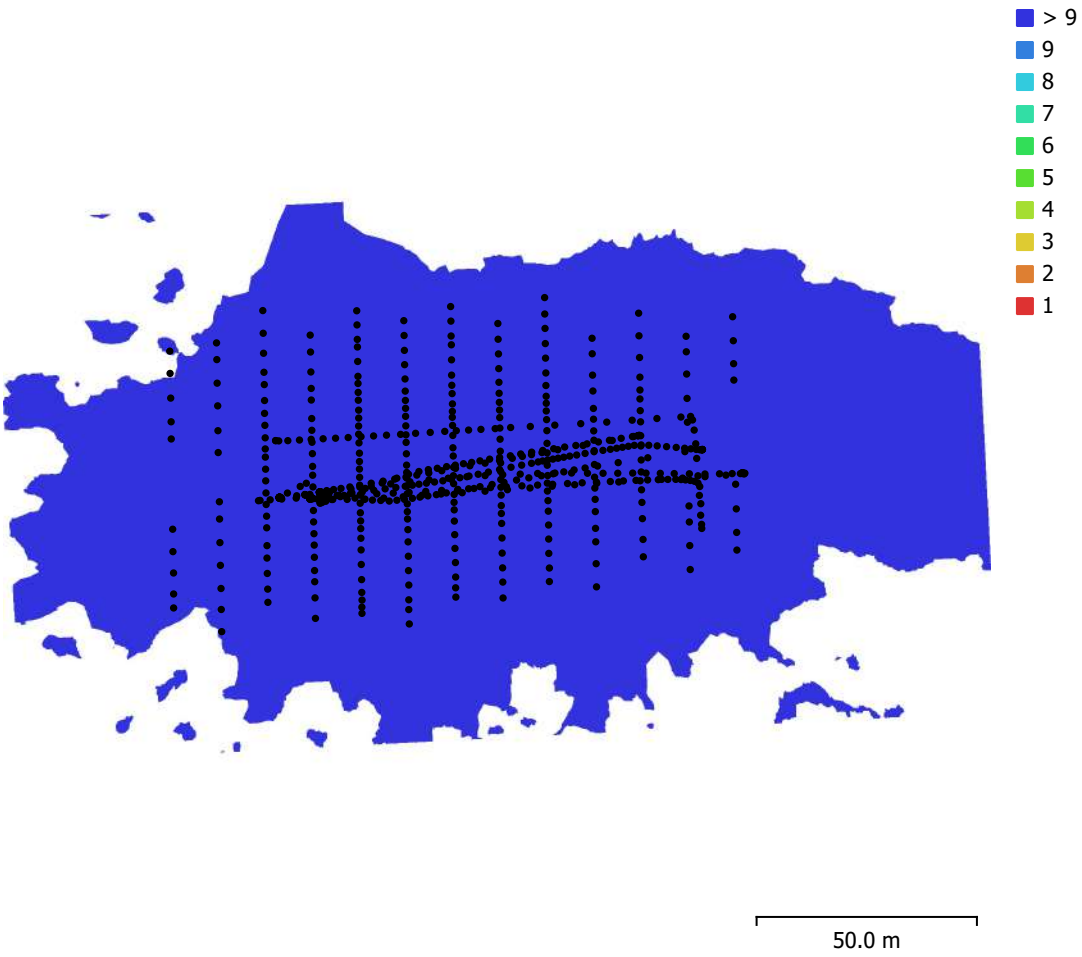


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes:	599	Imágenes alineadas:	599
Altitud media de vuelo:	24.1 m	Puntos de paso:	7,044,840
Resolución en terreno:	8.27 mm/pix	Proyecciones:	24,146,752
Área cubierta:	0.0185 km^2	Error de reproyección:	0.856 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
M4E (12.29mm)	5280 x 3956	12.29 mm	3.36 x 3.36 micras	Sí

Tabla 1. Cámaras.

Calibración de cámara

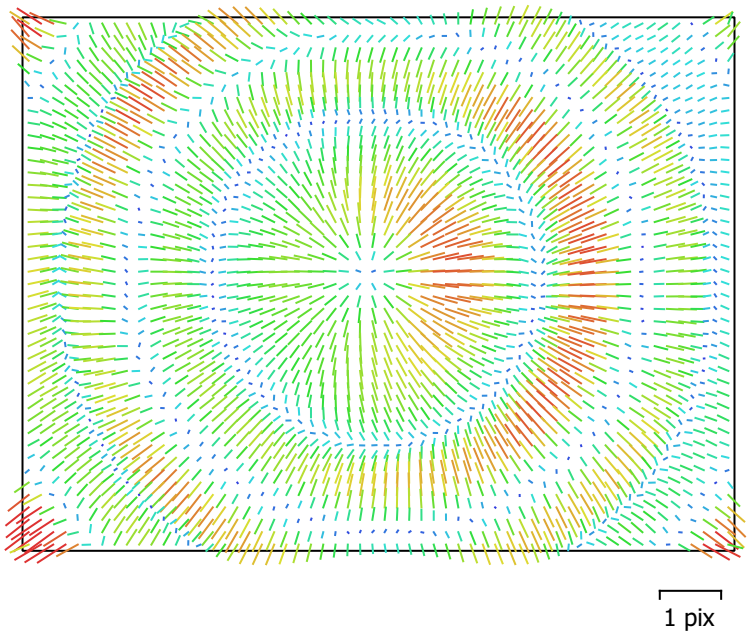


Fig. 2. Gráfico de residuales para M4E (12.29mm).

M4E (12.29mm)

599 imágenes, precalibrada

Tipo	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel
Cuadro	**5280 x 3956**	**12.29 mm**	**3.36 x 3.36 micras**

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	**3709.61**	0.0047	1.00	0.04	-0.16	-0.44	0.39	-0.36	-0.01	-0.02
Cx	**14.8007**	0.0048		1.00	-0.03	-0.01	0.02	-0.02	0.69	-0.02
Cy	**-26.2895**	0.0044			1.00	-0.01	-0.00	0.00	-0.01	0.49
K1	**-0.108296**	5.1e-06				1.00	-0.97	0.91	-0.01	-0.03
K2	**0.00337743**	1.3e-05					1.00	-0.98	0.02	0.00
K3	**-0.0203224**	9.2e-06						1.00	-0.02	-0.00
P1	**-0.000265163**	2.2e-07							1.00	-0.04
P2	**6.47643e-05**	2.2e-07								1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Posiciones de cámaras

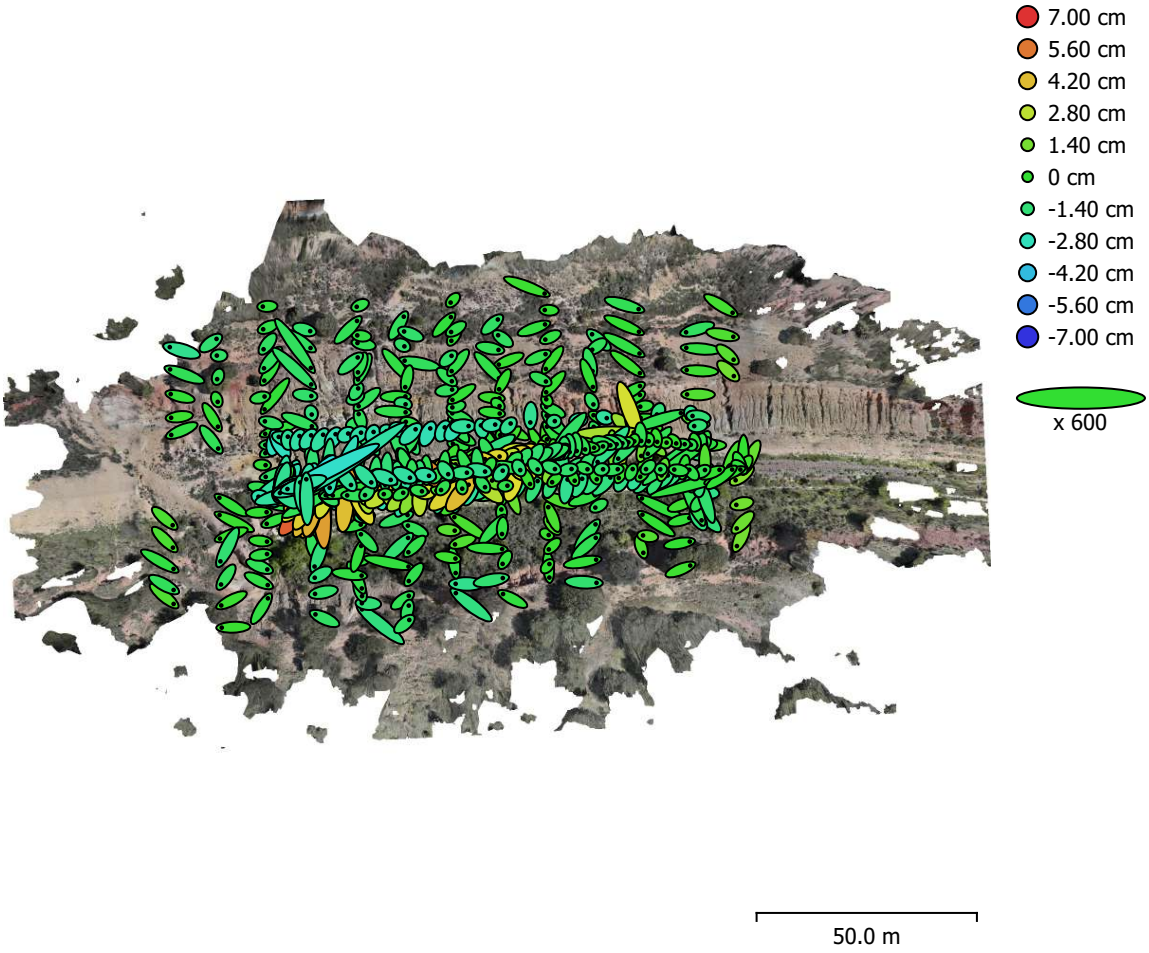


Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimadores de error.
El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.
Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Error en XY (cm)	Error combinado (cm)
0.596856	0.53886	1.64563	0.804118	1.83158

Tabla 3. Errores medios de las posiciones de cámaras.
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Modelo digital de elevaciones

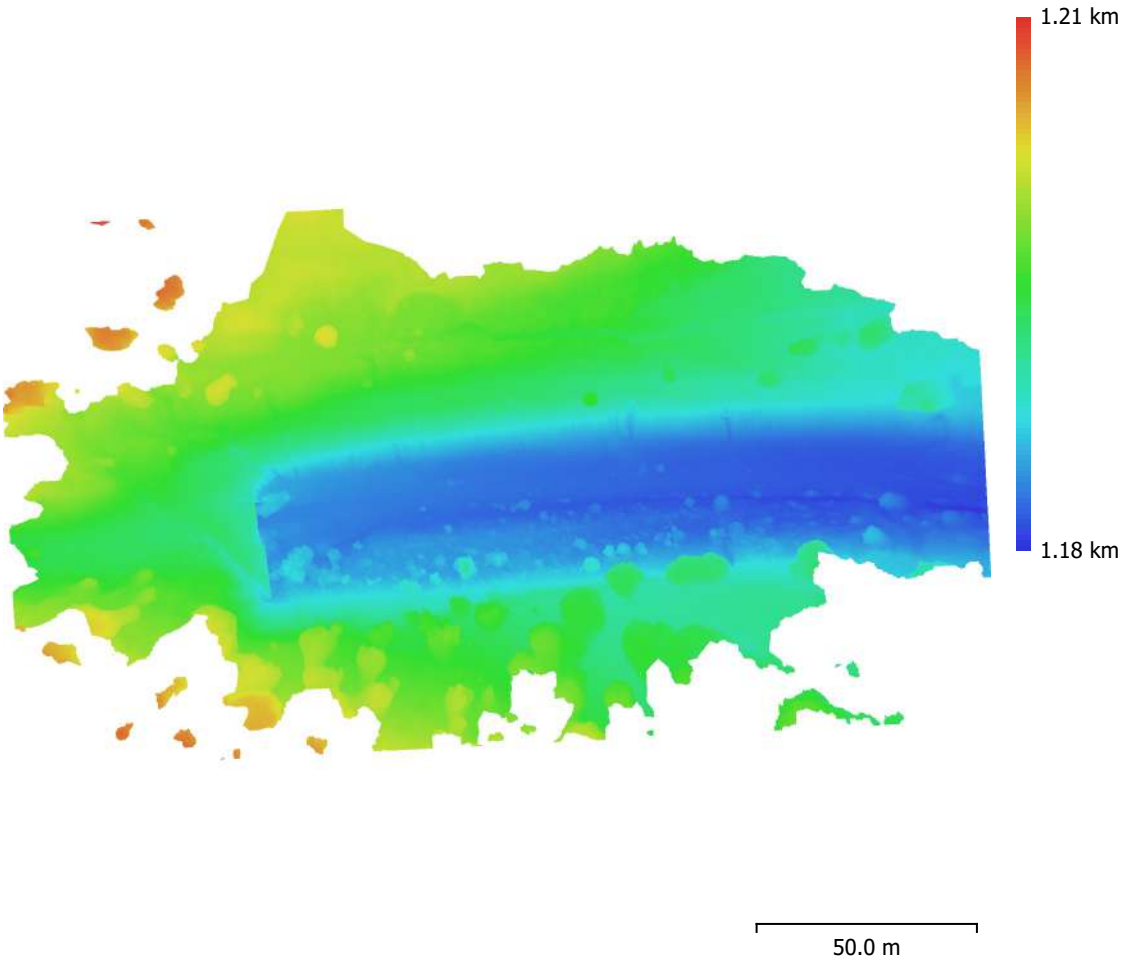


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución:	1.26 cm/pix
Densidad de puntos:	0.630 puntos/cm^2

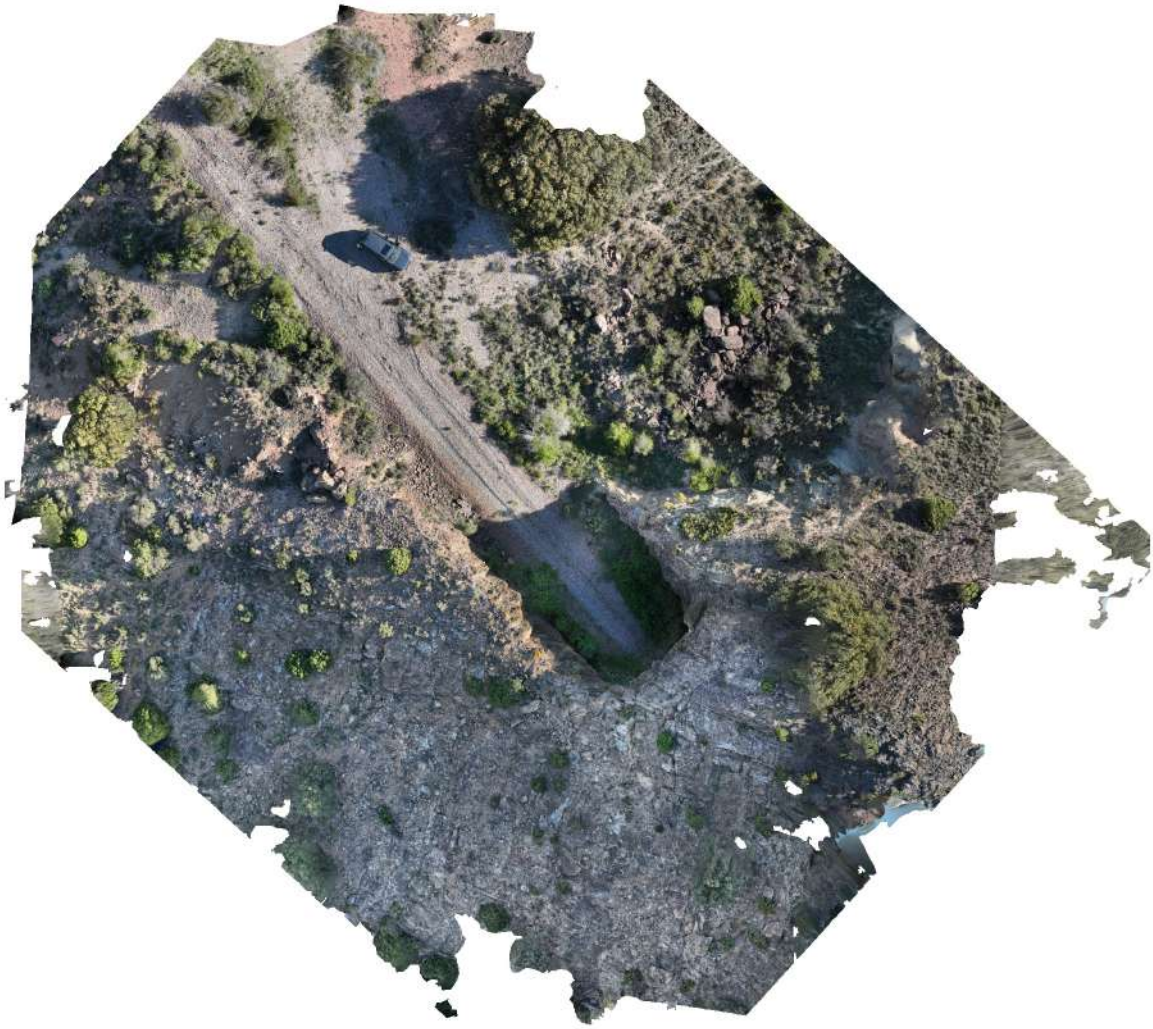
Parámetros de procesamiento

Generales	
Imágenes	599
Imágenes alineadas	599
Sistema de coordenadas	ETRS89 / UTM zone 30N (EPSG::25830)
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo
Puntos de paso	
Puntos	7,044,840 de 8,967,590
RMS error de reproyección	0.202147 (0.8563 pix)
Error de reproyección máximo	0.614889 (64.0907 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	3.71377 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos clave	6.01 GB
Multiplicidad media de puntos de paso	4.07212
Parámetros de orientación	
Precisión	Alta
Preselección genérica	Sí
Preselección de referencia	Origen
Puntos clave por foto	0
Límite de puntos clave por megapixel	0
Puntos de paso por foto	0
Excluir puntos de paso inmóviles	Sí
Emparejamiento guiado	Sí
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	Sí
Tiempo búsqueda de emparejamientos	13 minutos 10 segundos
Uso de memoria durante el emparejamiento	2.20 GB
Tiempo de orientación	59 minutos 41 segundos
Uso de memoria durante el alineamiento	6.40 GB
Fecha de creación	2026:06:05 10:19:40
Versión del programa	2.3.0.21463
Tamaño de archivo	6.87 GB
Mapas de profundidad	
Número	599
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Alta
Modo de filtrado	Agresivo
Límite máximo de redundancias	16
Tiempo de procesamiento	1 hora 27 minutos
Uso de memoria	6.12 GB
Fecha de creación	2026:06:06 12:32:02
Versión del programa	2.3.0.21463
Tamaño de archivo	3.88 GB
Nube de puntos	
Puntos	25,140,677
Precisión de las coordenadas	8.27 mm
Atributos de los puntos	
Color	3 bandas, uint8
Normal	
Confianza	1 - 192
Clases de puntos	
Creado (nunca clasificado)	25,140,677

Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Media
Modo de filtrado	Agresivo
Límite máximo de redundancias	16
Tiempo de procesamiento	24 minutos 29 segundos
Uso de memoria	2.58 GB
Parámetros de generación de la nube de puntos	
Origen de datos	Mapas de profundidad
Tiempo de procesamiento	1 hora 3 minutos
Uso de memoria	6.39 GB
Fecha de creación	2026:06:06 00:44:32
Versión del programa	2.3.0.21463
Tamaño de archivo	361.82 MB
Modelo	
Caras	25,769,923
Vértices	12,888,232
Colores de vértices	3 bandas, uint8
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Alta
Modo de filtrado	Agresivo
Límite máximo de redundancias	16
Tiempo de procesamiento	1 hora 27 minutos
Uso de memoria	6.12 GB
Parámetros de reconstrucción	
Tipo de superficie	Arbitrario
Origen de datos	Mapas de profundidad
Interpolación	Habilitada
Máscaras volumétricas estrictas	No
Tiempo de procesamiento	1 hora 40 minutos
Uso de memoria	7.94 GB
Fecha de creación	2026:06:06 21:31:47
Versión del programa	2.3.0.21463
Tamaño de archivo	553.02 MB
Ortomosaico	
Tamaño	27,068 x 15,082
Resolución	8.27 mm/pix
Sistema de coordenadas	ETRS89 / UTM zone 30N (EPSG::25830)
Colores	3 bandas, uint8
Ortofotos individuales	7.46 GB
Parámetros de reconstrucción	
Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	Modelo
Permitir el cierre de agujeros	Sí
Habilitar el filtro de efecto fantasma	No
Tiempo de procesamiento	1 hora 52 minutos
Uso de memoria	9.61 GB
Fecha de creación	2026:06:07 19:16:25
Versión del programa	2.3.0.21463
Tamaño de archivo	7.86 GB
Sistema	
Nombre del programa	Agisoft Metashape Professional
Versión del programa	2.3.0 build 21463
OS	Windows 64 bit
RAM	15.85 GB
CPU	11th Gen Intel(R) Core(TM) i7-11800H @ 2.30GHz
GPU(s)	NVIDIA GeForce RTX 3060 Laptop GPU

ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO

TÚNEL 1 NORTE 1
Informe de procesamiento
09 June 2026



Datos del levantamiento

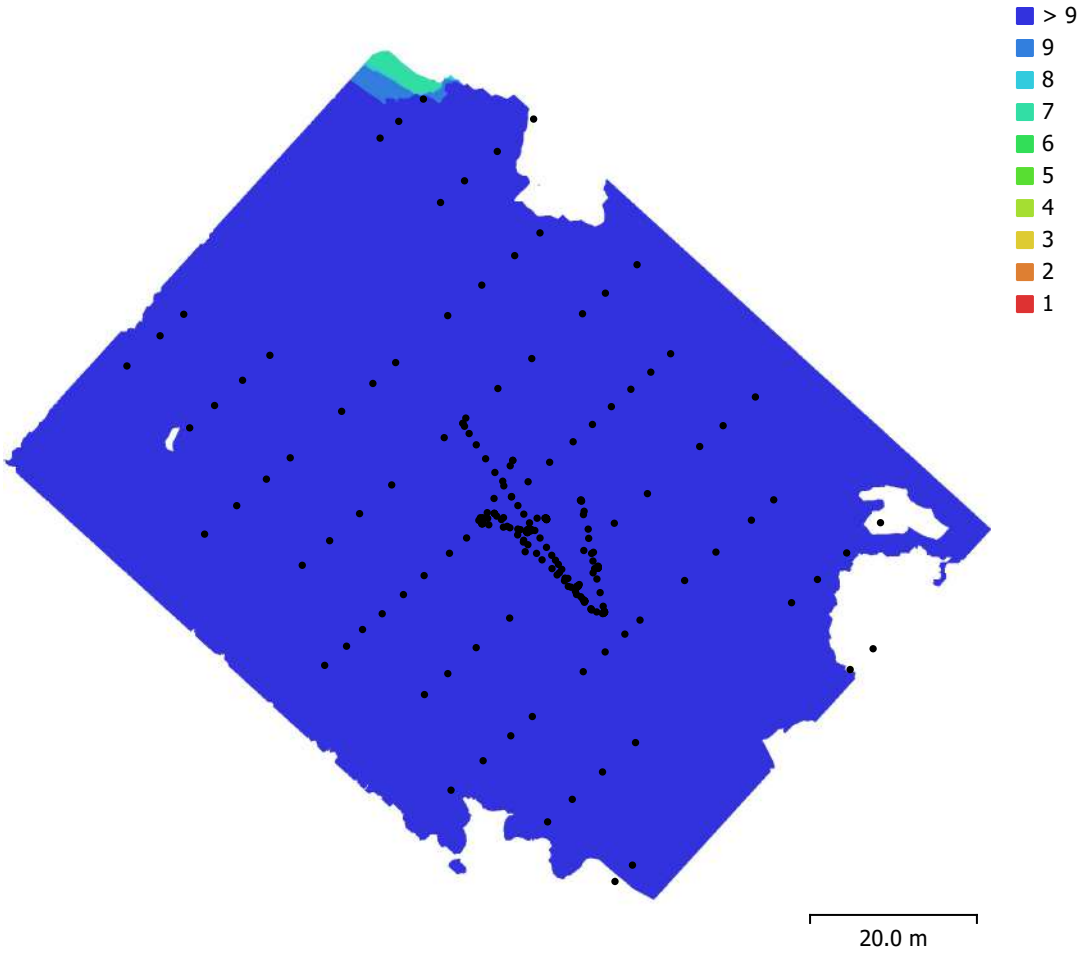


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes:	350	Imágenes alineadas:	350
Altitud media de vuelo:	11.4 m	Puntos de paso:	4,523,136
Resolución en terreno:	4.16 mm/pix	Proyecciones:	16,933,888
Área cubierta:	6260 m^2	Error de reproyección:	0.875 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
M4E (12.29mm)	5280 x 3956	12.29 mm	3.36 x 3.36 micras	Sí

Tabla 1. Cámaras.

Calibración de cámara

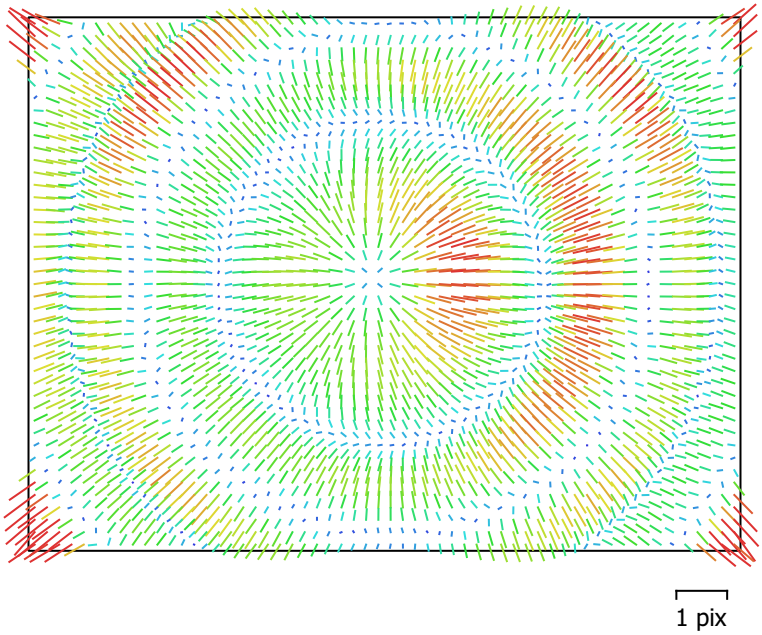


Fig. 2. Gráfico de residuales para M4E (12.29mm).

M4E (12.29mm)

350 imágenes, precalibrada

Tipo	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel
Cuadro	**5280 x 3956**	**12.29 mm**	**3.36 x 3.36 micras**

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	**3709.05**	0.0058	1.00	0.02	-0.21	-0.36	0.35	-0.34	0.03	-0.05
Cx	**13.673**	0.0076		1.00	-0.01	-0.04	0.04	-0.05	0.64	0.01
Cy	**-25.627**	0.0075			1.00	-0.01	0.00	0.00	0.01	0.37
K1	**-0.10603**	5.7e-06				1.00	-0.97	0.91	-0.02	-0.03
K2	**-0.00230232**	1.4e-05					1.00	-0.98	0.03	0.01
K3	**-0.0162141**	1.1e-05						1.00	-0.04	-0.00
P1	**-0.000306776**	2.8e-07							1.00	-0.01
P2	**9.35992e-05**	2.8e-07								1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Posiciones de cámaras

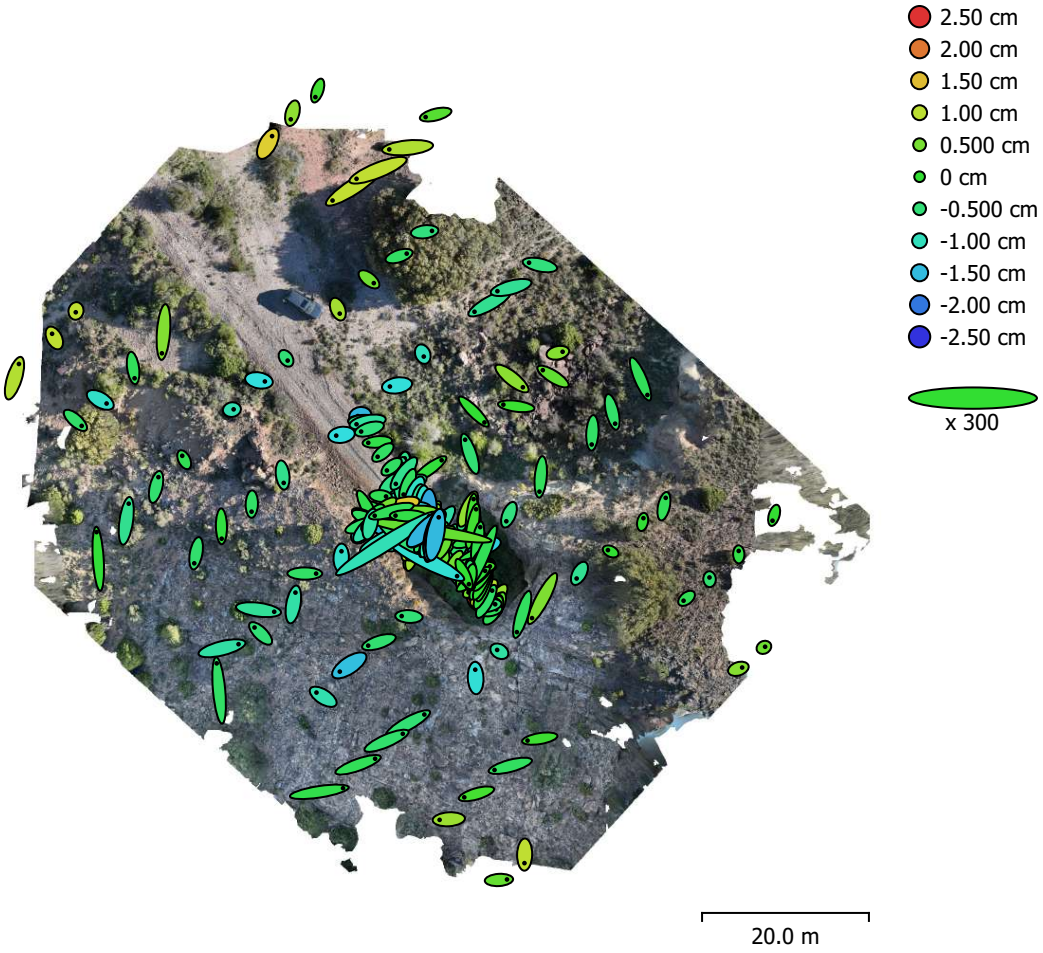


Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimadores de error.
El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.
Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Error en XY (cm)	Error combinado (cm)
0.652378	0.680636	0.717259	0.942795	1.18462

Tabla 3. Errores medios de las posiciones de cámaras.
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Modelo digital de elevaciones

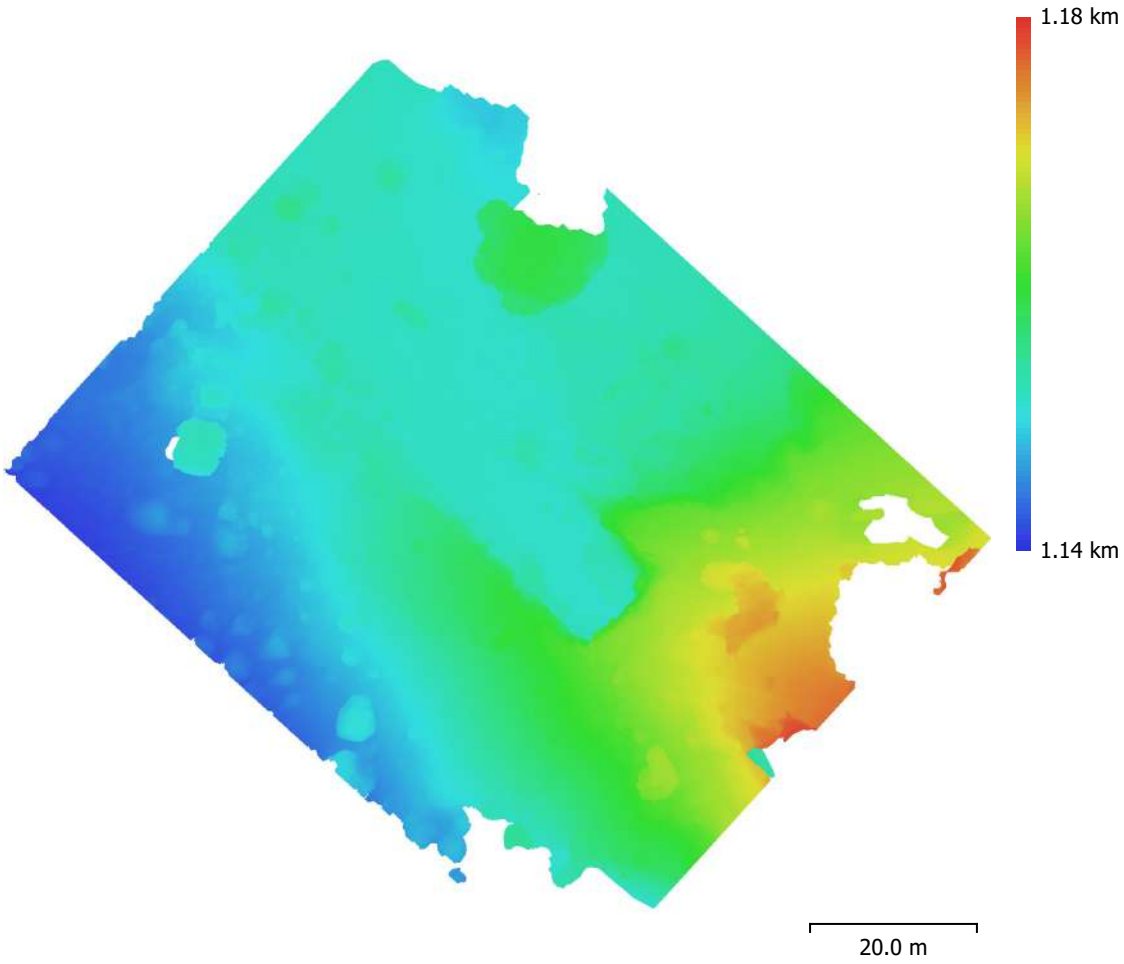


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución:	8.63 mm/pix
Densidad de puntos:	1.34 puntos/cm^2

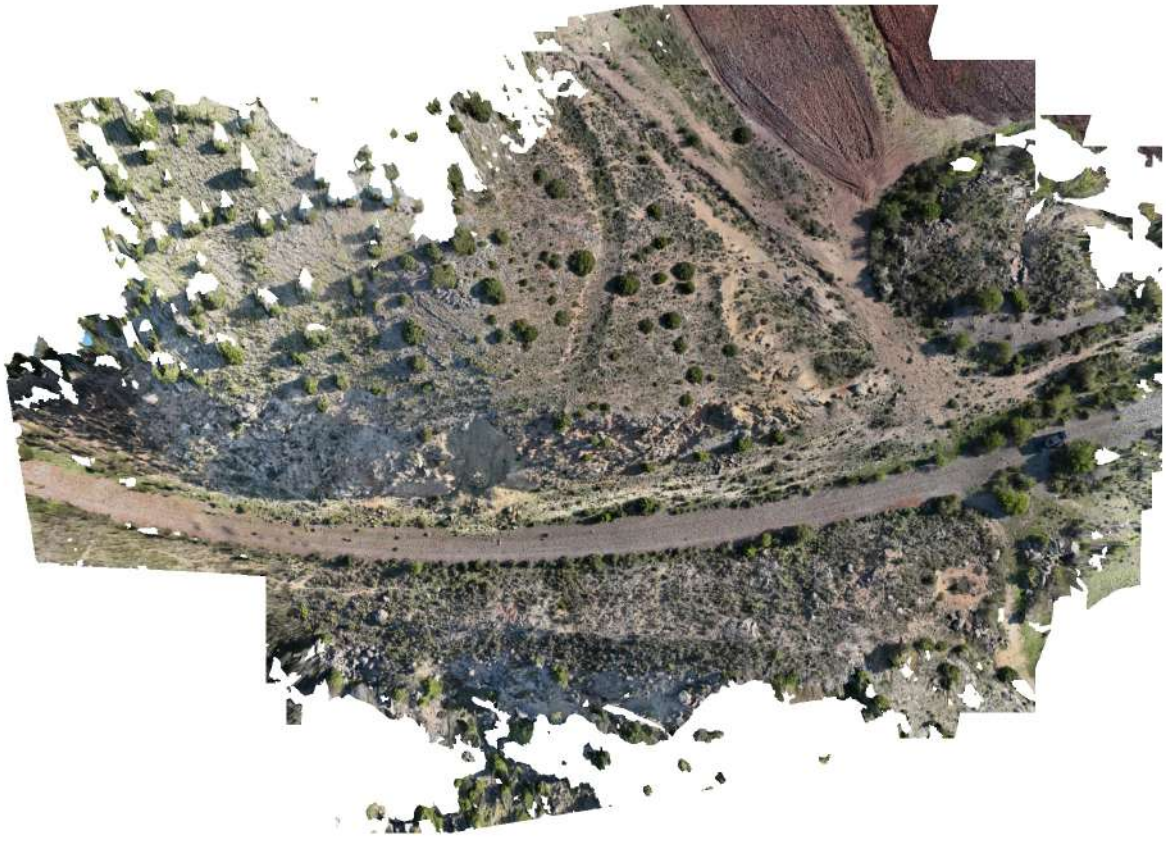
Parámetros de procesamiento

Generales	
Imágenes	350
Imágenes alineadas	350
Sistema de coordenadas	ETRS89 / UTM zone 30N (EPSG::25830)
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo
Puntos de paso	
Puntos	4,523,136 de 6,373,099
RMS error de reproyección	0.217157 (0.875401 pix)
Error de reproyección máximo	0.654963 (58.6889 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	3.7419 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos clave	3.96 GB
Multiplicidad media de puntos de paso	3.84424
Parámetros de orientación	
Precisión	Alta
Preselección genérica	Sí
Preselección de referencia	Origen
Puntos clave por foto	0
Límite de puntos clave por megapixel	0
Puntos de paso por foto	0
Excluir puntos de paso inmóviles	Sí
Emparejamiento guiado	Sí
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	Sí
Tiempo búsqueda de emparejamientos	7 minutos 42 segundos
Uso de memoria durante el emparejamiento	2.03 GB
Tiempo de orientación	24 minutos 52 segundos
Uso de memoria durante el alineamiento	4.05 GB
Fecha de creación	2026:06:05 10:55:16
Versión del programa	2.3.0.21463
Tamaño de archivo	4.54 GB
Mapas de profundidad	
Número	350
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Alta
Modo de filtrado	Agresivo
Límite máximo de redundancias	16
Tiempo de procesamiento	49 minutos 49 segundos
Uso de memoria	5.70 GB
Fecha de creación	2026:06:06 16:03:56
Versión del programa	2.3.0.21463
Tamaño de archivo	2.38 GB
Nube de puntos	
Puntos	32,829,177
Precisión de las coordenadas	4.16 mm
Atributos de los puntos	
Color	3 bandas, uint8
Normal	
Confianza	1 - 107
Clases de puntos	
Creado (nunca clasificado)	32,829,177

Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Media
Modo de filtrado	Agresivo
Límite máximo de redundancias	16
Tiempo de procesamiento	14 minutos 30 segundos
Uso de memoria	1.75 GB
Parámetros de generación de la nube de puntos	
Origen de datos	Mapas de profundidad
Tiempo de procesamiento	28 minutos 26 segundos
Uso de memoria	6.56 GB
Fecha de creación	2026:06:06 02:59:17
Versión del programa	2.3.0.21463
Tamaño de archivo	472.05 MB
Modelo	
Caras	22,757,149
Vértices	11,382,893
Colores de vértices	3 bandas, uint8
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Alta
Modo de filtrado	Agresivo
Límite máximo de redundancias	16
Tiempo de procesamiento	49 minutos 49 segundos
Uso de memoria	5.70 GB
Parámetros de reconstrucción	
Tipo de superficie	Arbitrario
Origen de datos	Mapas de profundidad
Interpolación	Habilitada
Máscaras volumétricas estrictas	No
Tiempo de procesamiento	1 hora 4 minutos
Uso de memoria	7.97 GB
Fecha de creación	2026:06:07 11:05:43
Versión del programa	2.3.0.21463
Tamaño de archivo	488.39 MB
Ortomosaico	
Tamaño	28,421 x 24,422
Resolución	4.16 mm/pix
Sistema de coordenadas	ETRS89 / UTM zone 30N (EPSG::25830)
Colores	3 bandas, uint8
Ortofotos individuales	3.95 GB
Parámetros de reconstrucción	
Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	Modelo
Permitir el cierre de agujeros	Sí
Habilitar el filtro de efecto fantasma	No
Tiempo de procesamiento	1 hora 46 minutos
Uso de memoria	9.39 GB
Fecha de creación	2026:06:08 04:45:06
Versión del programa	2.3.0.21463
Tamaño de archivo	4.41 GB
Sistema	
Nombre del programa	Agisoft Metashape Professional
Versión del programa	2.3.0 build 21463
OS	Windows 64 bit
RAM	15.85 GB
CPU	11th Gen Intel(R) Core(TM) i7-11800H @ 2.30GHz
GPU(s)	NVIDIA GeForce RTX 3060 Laptop GPU

ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO

TALUD AISLADO
Informe de procesamiento
09 June 2026



Datos del levantamiento

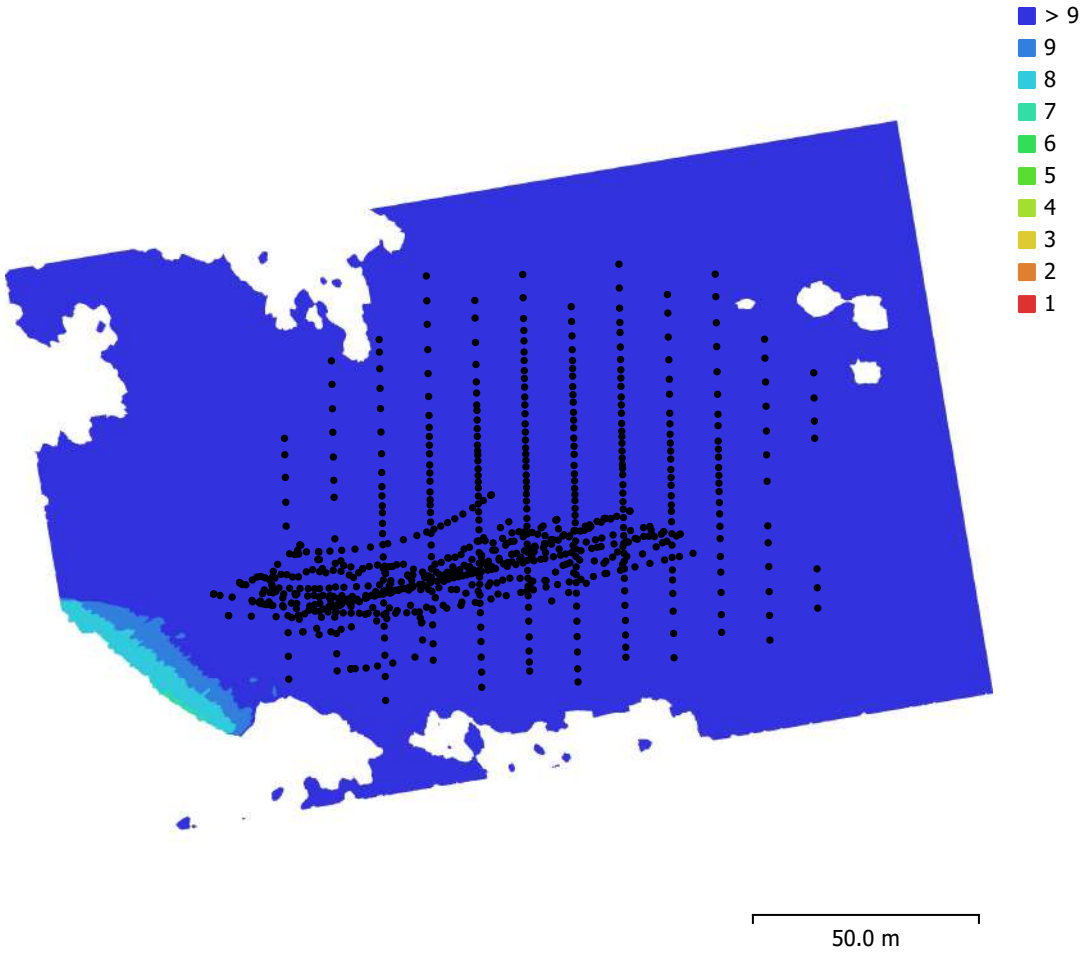


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes:	790	Imágenes alineadas:	790
Altitud media de vuelo:	20.4 m	Puntos de paso:	11,142,298
Resolución en terreno:	6.29 mm/pix	Proyecciones:	38,551,761
Área cubierta:	0.0221 km^2	Error de reproyección:	0.895 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
M4E (12.29mm)	5280 x 3956	12.29 mm	3.36 x 3.36 micras	Sí

Tabla 1. Cámaras.

Calibración de cámara

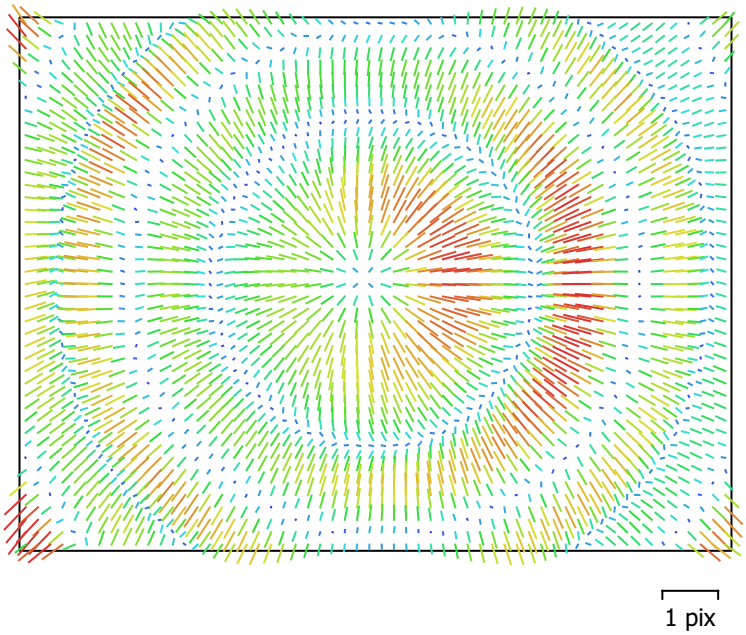


Fig. 2. Gráfico de residuales para M4E (12.29mm).

M4E (12.29mm)

790 imágenes, precalibrada

Tipo	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel
Cuadro	**5280 x 3956**	**12.29 mm**	**3.36 x 3.36 micras**

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	**3712.58**	0.0044	1.00	0.03	-0.19	-0.37	0.31	-0.29	0.00	0.02
Cx	**15.1348**	0.0044		1.00	-0.03	-0.00	0.00	0.00	0.60	-0.01
Cy	**-26.0492**	0.004			1.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.33
K1	**-0.107157**	4.1e-06				1.00	-0.97	0.91	-0.00	-0.04
K2	**0.00128263**	1e-05					1.00	-0.98	0.00	0.01
K3	**-0.0194728**	7.4e-06						1.00	-0.00	-0.01
P1	**-0.000261571**	1.9e-07							1.00	-0.01
P2	**4.53722e-05**	2e-07								1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Posiciones de cámaras

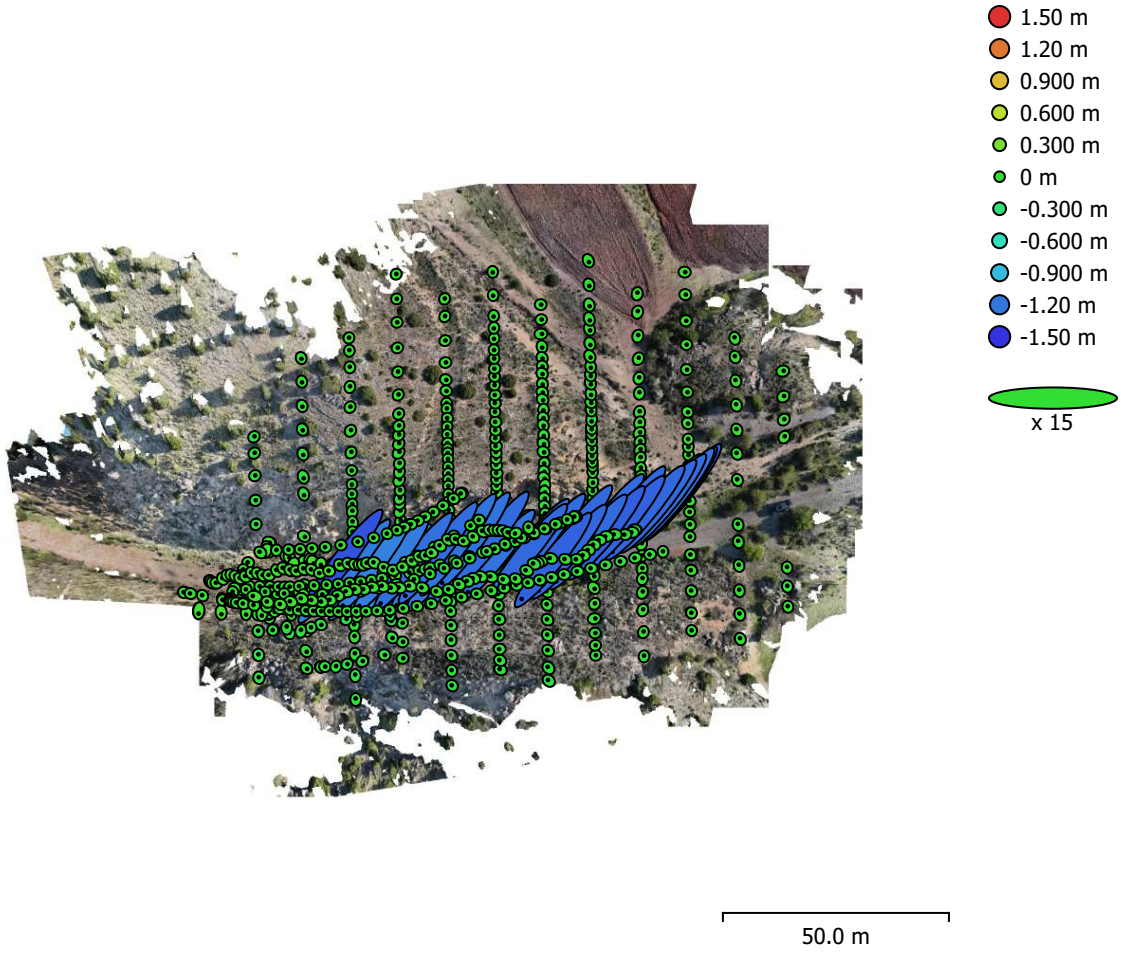


Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimadores de error.
El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.
Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Error en XY (cm)	Error combinado (cm)
19.0958	24.1604	25.8335	30.7957	40.1964

Tabla 3. Errores medios de las posiciones de cámaras.
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Modelo digital de elevaciones

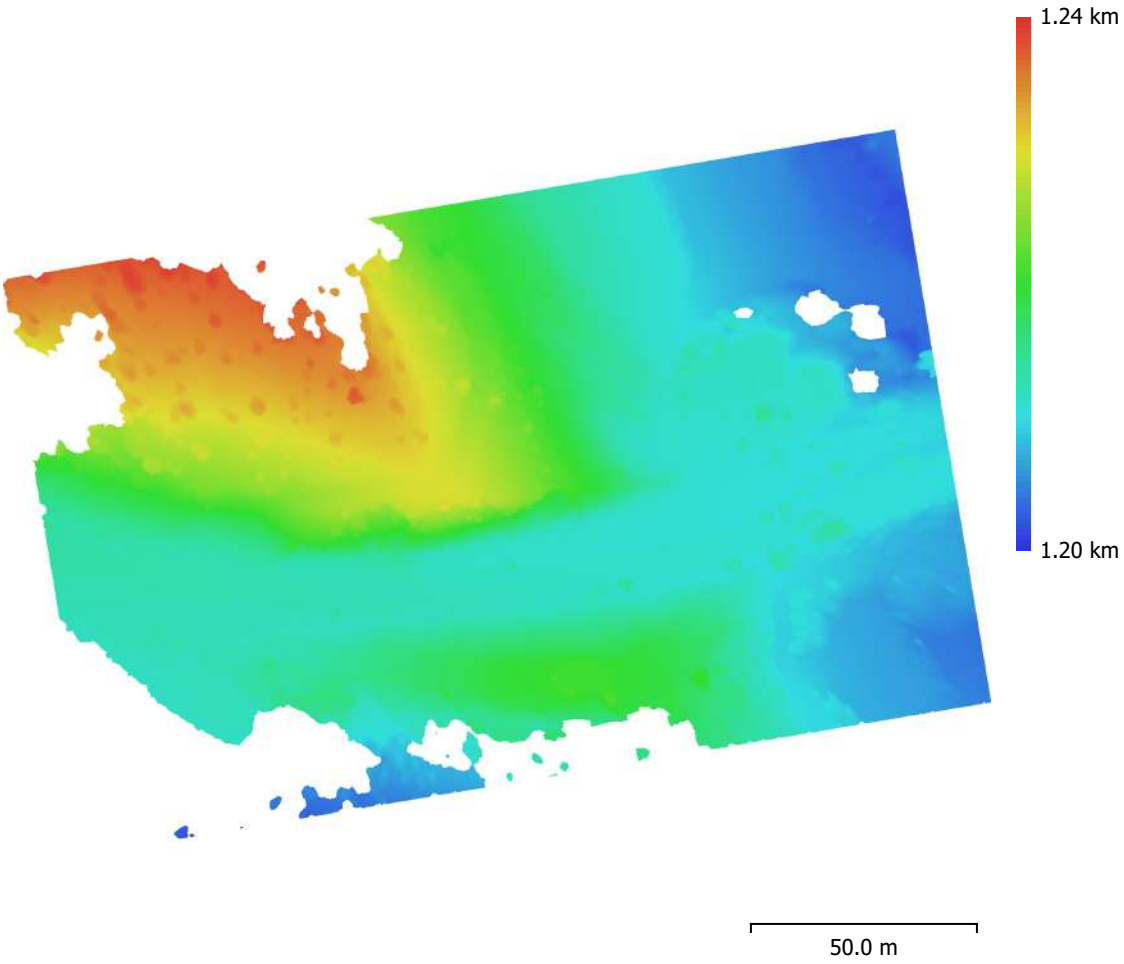


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución:	1.29 cm/pix
Densidad de puntos:	0.600 puntos/cm^2

Parámetros de procesamiento

Generales	
Imágenes	790
Imágenes alineadas	790
Sistema de coordenadas	ETRS89 / UTM zone 30N (EPSG::25830)
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo
Puntos de paso	
Puntos	11,142,298 de 12,958,643
RMS error de reproyección	0.219569 (0.89483 pix)
Error de reproyección máximo	0.66551 (71.1217 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	3.57502 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos clave	8.73 GB
Multiplicidad media de puntos de paso	4.32233
Parámetros de orientación	
Precisión	Alta
Preselección genérica	Sí
Preselección de referencia	Origen
Puntos clave por foto	0
Límite de puntos clave por megapixel	0
Puntos de paso por foto	0
Excluir puntos de paso inmóviles	Sí
Emparejamiento guiado	Sí
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	Sí
Tiempo búsqueda de emparejamientos	19 minutos 39 segundos
Uso de memoria durante el emparejamiento	4.47 GB
Tiempo de orientación	1 hora 7 minutos
Uso de memoria durante el alineamiento	7.78 GB
Fecha de creación	2026:06:05 11:14:03
Versión del programa	2.3.0.21463
Tamaño de archivo	10.06 GB
Mapas de profundidad	
Número	790
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Alta
Modo de filtrado	Agresivo
Límite máximo de redundancias	16
Tiempo de procesamiento	2 horas 10 minutos
Uso de memoria	7.05 GB
Fecha de creación	2026:06:06 18:14:35
Versión del programa	2.3.0.21463
Tamaño de archivo	6.10 GB
Nube de puntos	
Puntos	39,947,627
Precisión de las coordenadas	6.29 mm
Atributos de los puntos	
Color	3 bandas, uint8
Normal	
Confianza	1 - 210
Clases de puntos	
Creado (nunca clasificado)	39,947,627

Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Media
Modo de filtrado	Agresivo
Límite máximo de redundancias	16
Tiempo de procesamiento	37 minutos 33 segundos
Uso de memoria	3.53 GB
Parámetros de generación de la nube de puntos	
Origen de datos	Mapas de profundidad
Tiempo de procesamiento	1 hora 27 minutos
Uso de memoria	8.47 GB
Fecha de creación	2026:06:06 04:27:10
Versión del programa	2.3.0.21463
Tamaño de archivo	581.84 MB
Modelo	
Caras	36,556,875
Vértices	18,283,075
Colores de vértices	3 bandas, uint8
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Alta
Modo de filtrado	Agresivo
Límite máximo de redundancias	16
Tiempo de procesamiento	2 horas 10 minutos
Uso de memoria	7.05 GB
Parámetros de reconstrucción	
Tipo de superficie	Arbitrario
Origen de datos	Mapas de profundidad
Interpolación	Habilitada
Máscaras volumétricas estrictas	No
Tiempo de procesamiento	2 horas 31 minutos
Uso de memoria	10.00 GB
Fecha de creación	2026:06:07 13:40:23
Versión del programa	2.3.0.21463
Tamaño de archivo	784.51 MB
Ortomosaico	
Tamaño	34,711 x 24,918
Resolución	6.29 mm/pix
Sistema de coordenadas	ETRS89 / UTM zone 30N (EPSG::25830)
Colores	3 bandas, uint8
Ortofotos individuales	10.19 GB
Parámetros de reconstrucción	
Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	Modelo
Permitir el cierre de agujeros	Sí
Habilitar el filtro de efecto fantasma	No
Tiempo de procesamiento	3 horas 16 minutos
Uso de memoria	9.98 GB
Fecha de creación	2026:06:08 07:15:31
Versión del programa	2.3.0.21463
Tamaño de archivo	10.84 GB
Sistema	
Nombre del programa	Agisoft Metashape Professional
Versión del programa	2.3.0 build 21463
OS	Windows 64 bit
RAM	15.85 GB
CPU	11th Gen Intel(R) Core(TM) i7-11800H @ 2.30GHz
GPU(s)	NVIDIA GeForce RTX 3060 Laptop GPU

ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES PARA LA ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DEL ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO COMO CAMINO NATURAL, ALBA (TERUEL, ARAGÓN)

ANEJO 5

Justificación de precios

LISTADO DE MANO DE OBRA (Pres)

CÓDIGO	UD	RESUMEN	PRECIO
MO0002	h	Oficial	28,00
MO0003	h	Peón	24,50

LISTADO DE MAQUINARIA (Pres)

CÓDIGO	UD	RESUMEN	PRECIO
M09	h	Polipastos	35,00
M10	h	Camión volquete 20 Tm.	48,90
M11	h	Retro 20 tn	52,00
MA2136	ud	Grapas cable de acero	0,85
MA2727	ud	Sirga galv.8mm 6x18+1	2,50
MAQ01	h	cesta elevadora o similar	30,00
MAT12	ud	Obturador para resina	9,45
MAT13	kg	Mortero ensacado	2,50
MAT17	ml	Varilla roscada fi25mm	8,40
Q030002F01	h	Equipos con martillo en fondo.	52,92

LISTADO DE MATERIALES (Pres)

CÓDIGO	UD	RESUMEN	PRECIO
CNP01A04	t	Cemento CEM I 42,5 SR en sacos (p.o.)	135,50
M25	ud	Medios auxiliares	11,55
MA02	ml	Bulón Ø32 mm	6,95
MA03	m	Cable de acero para sujeción de mallas	2,15
MA04	m³	Lechada de cemento CEM II/A-P 42,5R (p.o.)	83,57
MA05	m²	Malla de triple torsión. Paso de malla 80mm y diametro 2,4mm	4,89
MA08	m2	Red de cable de acero RCA	28,50
MAG02	m²	Geomanta reforzada con estructura tridimensional	9,25
MAT11	kg	Resina de inyeccion	6,52
MAT15	ml	Bulón fi25 mm	6,50
MAT16	Kg	Resina de inyeccion de anclajes tipo mapefix	4,79
MAT18	kg	Pletina metálica	2,50
MAT19	ml	dren tipo californiano	2,90
P02H021	m3	HM-20/P/20 IIa a pie de obra	90,00
P04E004	m2	Madera para enconfrado	7,65
Q030603A01	Hr	Inyectadoras hidráulicas (con grupo). De 120 Litros/minuto.	91,25

CUADRO DE DESCOMPUESTOS

CÓDIGO	CANTIDAD	UD	RESUMEN	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
01.02		**m2**	**DESBROCE SUPERFICIE DE TALUD**			
			Desbroce en superficie de talud por medios manuales incluso mediante trabajos verticales para posterior ejecución de trabajos. Mediciones según documento de planos.			
MO0002	0,100	h	Oficial	28,00	2,80	
MO0003	0,100	h	Peon	24,50	2,45	
M10	0,020	h	Camión volquete 20 Tm.	48,90	0,98	
M25	0,015	ud	Medios auxiliares	11,55	0,17	
M09	0,050	h	Polipastos	35,00	1,75	
% 6	6,000		Costes Indirectos	8,20	0,49	
			TOTAL PARTIDA			**8,64**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de OCHO EUROS con SESENTA Y CUATRO CÉNTIMOS

01.03		**m2**	**SANEO SUPERFICIE DE TALUD**			
			Saneo mediante trabajos verticales de material suelto en el talud hasta tamaño máximo de 1 m con medios manuales o mecánicos ligeros. Mediciones según documento de planos.			
MO0002	0,100	h	Oficial	28,00	2,80	
MO0003	0,400	h	Peon	24,50	9,80	
M10	0,015	h	Camión volquete 20 Tm.	48,90	0,73	
M25	0,015	ud	Medios auxiliares	11,55	0,17	
M09	0,100	h	Polipastos	35,00	3,50	
% 6	6,000		Costes Indirectos	17,00	1,02	
			TOTAL PARTIDA			**18,02**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DIECIOCHO EUROS con DOS CÉNTIMOS

02.01		**m2**	**MALLA DE TRIPLE TORSIÓN**			
			Enrejado de triple torsión con alambre galvanizado reforzado de 2,7 mm. de diámetro, de malla hexagonal 8x10-16, para protección de taludes, incluyendo piquetes de acero . separados 2 m en cabecera de talud y p.p. de elementos auxiliares. Tensado de la cabecera con cable de acero de 12 mm. Despliegue de los rollos hasta la parte inferior del talud. Cosido de los bordes de cada rollo entre sí. Terminación del borde inferior mediante, cable de acero 12 mm actuando como contrapeso del conjunto. Totalmente terminado			
MO0002	0,190	h	Oficial	28,00	5,32	
MO0003	0,200	h	Peon	24,50	4,90	
M10	0,050	h	Camión volquete 20 Tm.	48,90	2,45	
MA03	0,495	m	Cable de acero para sujeción de mallas	2,15	1,06	
MA04	0,001	m³	Lechada de cemento CEM II/A-P 42,5R (p.o.)	83,57	0,08	
MA05	1,050	m²	Malla de triple torsión. Paso de malla 80mm y diametro 2,4mm	4,89	5,13	
% 6	6,000		Costes Indirectos	18,90	1,13	
			TOTAL PARTIDA			**20,07**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de VEINTE EUROS con SIETE CÉNTIMOS

02.02		**m2**	**RED DE CABLE DE ACERO**			
			Red de cable de acero tipo RCA con abertura de rombo 300x300 mm con cable de acero inoxidable de 8 mm de diámetro y grapa G1. Dimensión de paneles 6 x 4 m; o con resistencia superficial mínima de 45 kN/m2.			
MO0002	0,400	h	Oficial	28,00	11,20	
MO0003	0,600	h	Peon	24,50	14,70	
M10	0,050	h	Camión volquete 20 Tm.	48,90	2,45	
MA08	1,050	m2	Red de cable de acero RCA	28,50	29,93	
MA2136	1,000	ud	Grapas cable de acero	0,85	0,85	
MA2727	0,850	ud	Sirga galv.8mm 6x18+1	2,50	2,13	
M25	0,100	ud	Medios auxiliares	11,55	1,16	
% 6	6,000		Costes Indirectos	62,40	3,74	
			TOTAL PARTIDA			**66,16**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SESENTA Y SEIS EUROS con DIECISEIS CÉNTIMOS

CUADRO DE DESCOMPUESTOS

CÓDIGO	CANTIDAD	UD	RESUMEN	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
02.03		**ml**	**BULÓN Ø32 MM. SOSTENIMIENTO**			
			Suministro y colocación de Bulón. Ø =32 mm, L hasta 9 m. tipo Gewi, Incluso perforación e inyección de lechada de cemento, placa de reparto 150x 150 x 6. Incluso suministro de material y personal especializado, totalmente instalado. Diámetro de perforación 74 mm. Mediciones según documento de planos.			
MO0002	0,450	h	Oficial	28,00	12,60	
MO0003	0,840	h	Peon	24,50	20,58	
M10	0,050	h	Camión volquete 20 Tm.	48,90	2,45	
MA02	1,000	ml	Bulón Ø32 mm	6,95	6,95	
Q030002F01	0,200	h	Equipos con martillo en fondo.	52,92	10,58	
Q030603A01	0,150	Hr	Inyectadoras hidráulicas (con grupo). De 120 Litros/minuto.	91,25	13,69	
CNP01A04	0,100	t	Cemento CEM I 42,5 SR en sacos (p.o.)	135,50	13,55	
% 6	6,000		Costes Indirectos	80,40	4,82	
			TOTAL PARTIDA			**85,22**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de OCHENTA Y CINCO EUROS con VEINTIDOS CÉNTIMOS

02.04		**ml**	**BULÓN PASIVO EN MALLA TT**			
			Suministro y colocación de Bulón. Ø =25 mm en la malla de triple torsión, red de cable y geomalla reforzada, L=2 m. tipo Gewi, Incluso perforación e inyección teórica de lechada de cemento, placa de reparto 150x150x6. Incluso suministro de material y personal especializado, totalmente instalado. Diámetro de perforación 42 mm.			
MO0002	0,300	h	Oficial	28,00	8,40	
MO0003	0,800	h	Peon	24,50	19,60	
M10	0,050	h	Camión volquete 20 Tm.	48,90	2,45	
MA02	1,000	ml	Bulón Ø32 mm	6,95	6,95	
Q030002F01	0,100	h	Equipos con martillo en fondo.	52,92	5,29	
Q030603A01	0,200	Hr	Inyectadoras hidráulicas (con grupo). De 120 Litros/minuto.	91,25	18,25	
CNP01A04	0,100	t	Cemento CEM I 42,5 SR en sacos (p.o.)	135,50	13,55	
% 6	6,000		Costes Indirectos	74,50	4,47	
			TOTAL PARTIDA			**78,96**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SETENTA Y OCHO EUROS con NOVENTA Y SEIS CÉNTIMOS

02.05		**m2**	**GEOMANTA REFORZADA**			
			Suministro y colocación de geomanta reforzada tipo MacMat o similar. Geomanta con estructura tridimensional, a base de polipropileno y polietileno de alta densidad (HDPE), estable a los rayos UV, de 25 mm de espesor, de 10x10 mm de luz de malla y de 280 g/m² de masa superficial, elongación hasta rotura 20% y 3 N/cm² de resistencia a tracción, suministrada en rollos de 2x25 m.			
MO0002	0,200	h	Oficial	28,00	5,60	
MO0003	0,900	h	Peon	24,50	22,05	
M10	0,050	h	Camión volquete 20 Tm.	48,90	2,45	
MA03	0,495	m	Cable de acero para sujeción de mallas	2,15	1,06	
MA04	0,001	m³	Lechada de cemento CEM II/A-P 42,5R (p.o.)	83,57	0,08	
MAG02	1,150	m²	Geomanta reforzada con estructura tridimensional	9,25	10,64	
% 6	6,000		Costes Indirectos	41,90	2,51	
			TOTAL PARTIDA			**44,39**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CUARENTA Y CUATRO EUROS con TREINTA Y NUEVE CÉNTIMOS

02.06		**ml**	**CABLE Ø6 mm DE REFUERZO**			
			Cable 6 mm en refuerzo de malla de triple torsión y geomalla reforzada. Incluso cosido entrelazado sobe los bulones			
MO0002	0,100	h	Oficial	28,00	2,80	
MO0003	0,210	h	Peon	24,50	5,15	
M10	0,050	h	Camión volquete 20 Tm.	48,90	2,45	
MA03	1,050	m	Cable de acero para sujeción de mallas	2,15	2,26	
% 6	6,000		Costes Indirectos	12,70	0,76	
			TOTAL PARTIDA			**13,42**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de TRECE EUROS con CUARENTA Y DOS CÉNTIMOS

CUADRO DE DESCOMPUESTOS

CÓDIGO	CANTIDAD	UD	RESUMEN	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
02.07		**ml**	**EJECUCIÓN CUNETA**			
			Ejecución de cuneta en coronación de talud para recoger y conducir aguas de escorrentía superficial y evitar la circulación de agua sobre frente de talud.			
MO0002	0,500	h	Oficial	28,00	14,00	
MO0003	1,000	h	Peon	24,50	24,50	
M11	0,150	h	Retro 20 tn	52,00	7,80	
M10	0,080	h	Camión volquete 20 Tm.	48,90	3,91	
M25	0,080	ud	Medios auxiliares	11,55	0,92	
P02H021	0,400	m3	HM-20/P/20 IIa a pie de obra	90,00	36,00	
P04E004	0,330	m2	Madera para enconfrado	7,65	2,52	
% 6	6,000		Costes Indirectos	89,70	5,38	
			TOTAL PARTIDA			**95,03**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de NOVENTA Y CINCO EUROS con TRES CÉNTIMOS

02.08		**Kg**	**RESINA PARA RELLENO DE GRIETAS**			
			Suministro y aplicación de resina para el relleno de grietas y fisuras en el bloque rocoso. Incluye la perforación y colocación de obturadores cuando sea necesario, inyección a baja presión, sellado superficial posterior con todos los medios auxiliares necesarios.			
MO0002	0,100	h	Oficial	28,00	2,80	
MO0003	0,500	h	Peon	24,50	12,25	
Q030002F01	0,100	h	Equipos con martillo en fondo.	52,92	5,29	
MAT12	1,000	ud	Obturador para resina	9,45	9,45	
MAT11	1,050	kg	Resina de inyeccion	6,52	6,85	
Q030603A01	0,100	Hr	Inyectadoras hidráulicas (con grupo). De 120 Litros/minuto.	91,25	9,13	
% 6	6,000		Costes Indirectos	45,80	2,75	
			TOTAL PARTIDA			**48,52**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CUARENTA Y OCHO EUROS con CINCUENTA Y DOS CÉNTIMOS

02.09		**Kg**	**LECHADA PARA RELLENO DE GRIETAS**			
			Suministro y aplicación de lechada para el relleno de grietas y fisuras en la zona de bloques inestables. Incluye la colocación de boquillas de inyección cuando sea necesario, inyección a baja presión, sellado superficial posterior con todos los medios auxiliares necesarios.			
MO0002	0,003	h	Oficial	28,00	0,08	
MO0003	0,005	h	Peon	24,50	0,12	
Q030603A01	0,002	Hr	Inyectadoras hidráulicas (con grupo). De 120 Litros/minuto.	91,25	0,18	
CNP01A04	0,001	t	Cemento CEM I 42,5 SR en sacos (p.o.)	135,50	0,14	
% 6	6,000		Costes Indirectos	0,50	0,03	
			TOTAL PARTIDA			**0,55**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CERO EUROS con CINCUENTA Y CINCO CÉNTIMOS

03.01		**ml**	**SELLADO JUNTAS MORTERO**			
			Sellado de juntas existentes en el revestimiento del túnel mediante mortero de reparación compatible con el hormigón existente, aplicado tras la limpieza y saneo previo de las superficies. Incluye apertura y regularización de la junta si fuera necesario, humectación del soporte, aplicación del mortero, acabado superficial y curado, así como todos los medios auxiliares necesarios para su correcta ejecución.			
MO0002	0,500	h	Oficial	28,00	14,00	
MO0003	1,000	h	Peon	24,50	24,50	
Q030603A01	0,002	Hr	Inyectadoras hidráulicas (con grupo). De 120 Litros/minuto.	91,25	0,18	
MAT13	1,000	kg	Mortero ensacado	2,50	2,50	
% 6	6,000		Costes Indirectos	41,20	2,47	
			TOTAL PARTIDA			**43,65**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CUARENTA Y TRES EUROS con SESENTA Y CINCO CÉNTIMOS

CUADRO DE DESCOMPUESTOS

CÓDIGO	CANTIDAD	UD	RESUMEN	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
03.02		**Kg**	**RESINA PARA RELLENO DE GRIETAS**			
			Suministro y aplicación de resina para el relleno de grietas y fisuras en el revestimiento del túnel rocoso. Incluye la colocación de obturadores cuando sea necesario, inyección a baja presión, sellado superficial posterior con todos los medios auxiliares necesarios.			
MO0002	0,100	h	Oficial	28,00	2,80	
MO0003	0,500	h	Peon	24,50	12,25	
Q030002F01	0,100	h	Equipos con martillo en fondo.	52,92	5,29	
MAT12	1,000	ud	Obturador para resina	9,45	9,45	
MAT11	1,050	kg	Resina de inyeccion	6,52	6,85	
Q030603A01	0,100	Hr	Inyectadoras hidráulicas (con grupo). De 120 Litros/minuto.	91,25	9,13	
% 6	6,000		Costes Indirectos	45,80	2,75	
			TOTAL PARTIDA			**48,52**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CUARENTA Y OCHO EUROS con CINCUENTA Y DOS CÉNTIMOS

03.03		**Kg**	**LECHADA PARA RELLENO DE GRIETAS**			
			Suministro y aplicación de lechada para el relleno de grietas y fisuras en el revestimiento del túnel. Incluye la colocación de boquillas de inyección cuando sea necesario, inyección a baja presión, sellado superficial posterior con todos los medios auxiliares necesarios.			
MO0002	0,003	h	Oficial	28,00	0,08	
MO0003	0,005	h	Peon	24,50	0,12	
Q030603A01	0,002	Hr	Inyectadoras hidráulicas (con grupo). De 120 Litros/minuto.	91,25	0,18	
CNP01A04	0,001	t	Cemento CEM I 42,5 SR en sacos (p.o.)	135,50	0,14	
% 6	6,000		Costes Indirectos	0,50	0,03	
			TOTAL PARTIDA			**0,55**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CERO EUROS con CINCUENTA Y CINCO CÉNTIMOS

03.04		**Ud**	**PERFORACIÓN EN REVESTIMIENTO Y TERRENO**			
			Ejecución de perforaciones mediante medios mecánicos en el revestimiento existente del túnel y en el terreno trasdós, en diámetro necesario para anclajes de 25 mm de diámetro y hasta 4 m de profundidad ejecutados en cualquier sección del tunel, incluso en clave. Incluye limpieza de los taladros y medios auxiliares.			
MO0002	0,300	h	Oficial	28,00	8,40	
MO0003	0,300	h	Peon	24,50	7,35	
MAQ01	0,400	h	cesta elevadora o similar	30,00	12,00	
Q030002F01	0,500	h	Equipos con martillo en fondo.	52,92	26,46	
% 6	6,000		Costes Indirectos	54,20	3,25	
			TOTAL PARTIDA			**57,46**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CINCUENTA Y SIETE EUROS con CUARENTA Y SEIS CÉNTIMOS

03.05		**m**	**PLETINAS METÁLICAS DE REFUERZO**			
			Suministro y colocación de pletinas metálicas de acero estructural galvanizado, de 7,00 m de longitud, destinadas al refuerzo del emboquille del túnel. de 20 mm de ancho para pletina perimetral y 10 mm de ancho para pletinas longitudinales. Incluye replanteo, manipulación, colocación, alineación y ajuste de las pletinas, así como los medios auxiliares necesarios para su correcta instalación.			
MO0002	0,300	h	Oficial	28,00	8,40	
MO0003	0,500	h	Peon	24,50	12,25	
MAQ01	0,200	h	cesta elevadora o similar	30,00	6,00	
MAT18	4,000	kg	Pletina metálica	2,50	10,00	
% 6	6,000		Costes Indirectos	36,70	2,20	
			TOTAL PARTIDA			**38,85**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de TREINTA Y OCHO EUROS con OCHENTA Y CINCO CÉNTIMOS

CUADRO DE DESCOMPUESTOS

CÓDIGO	CANTIDAD	UD	RESUMEN	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
03.06		**Ud**	**VARILLA ROSCADA DE ANCLAJE DE ALTA RESISTENCIA**			
			Suministro y colocación de varilla roscada de 16 mm de diámetro y 1 metro de longitud, de alta resistencia para la fijación de las pletinas metálicas al revestimiento del túnel, incluyendo tuercas y arandelas, así como el apriete controlado y verificación de la correcta disposición de cada elemento.			
MO0002	0,200	h	Oficial	28,00	5,60	
MO0003	0,230	h	Peon	24,50	5,64	
MAQ01	0,200	h	cesta elevadora o similar	30,00	6,00	
MAT17	1,000	ml	Varilla roscada fi25mm	8,40	8,40	
Q030002F01	0,300	h	Equipos con martillo en fondo.	52,92	15,88	
MAT16	2,000	Kg	Resina de inyeccion de anclajes tipo mapefix	4,79	9,58	
Q030603A01	0,050	Hr	Inyectadoras hidráulicas (con grupo). De 120 Litros/minuto.	91,25	4,56	
% 6	6,000		Costes Indirectos	55,70	3,34	
			TOTAL PARTIDA			**59,00**
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CINCUENTA Y NUEVE EUROS						
03.07		**m2**	**RED DE CABLE DE ACERO**			
			Red de cable de acero tipo RCA con abertura de rombo 300x300 mm con cable de acero inoxidable de 8 mm de diámetro y grapa G1. Dimensión de paneles 6 x 4 m; o con resistencia superficial mínima de 45 kN/m2.			
MO0002	0,400	h	Oficial	28,00	11,20	
MO0003	0,600	h	Peon	24,50	14,70	
M10	0,050	h	Camión volquete 20 Tm.	48,90	2,45	
MA08	1,050	m2	Red de cable de acero RCA	28,50	29,93	
MA2136	1,000	ud	Grapas cable de acero	0,85	0,85	
MA2727	0,850	ud	Sirga galv.8mm 6x18+1	2,50	2,13	
M25	0,100	ud	Medios auxiliares	11,55	1,16	
% 6	6,000		Costes Indirectos	62,40	3,74	
			TOTAL PARTIDA			**66,16**
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SESENTA Y SEIS EUROS con DIECISEIS CÉNTIMOS						
03.08		**ml**	**BULONES FI 25 MM INYECTADOS CON RESINA TIPO MAPEFIX**			
			Suministro e instalación de bulones de acero de Ø25 mm, colocados en perforación previa e inyectados con resina química tipo Mapefix o equivalente, incluyendo replanteo, perforación, limpieza del taladro, colocación del bulón, inyección de resina, medios auxiliares y parte proporcional de accesorios, totalmente ejecutado.			
MO0002	0,500	h	Oficial	28,00	14,00	
MO0003	0,600	h	Peon	24,50	14,70	
MAQ01	0,400	h	cesta elevadora o similar	30,00	12,00	
Q030002F01	0,300	h	Equipos con martillo en fondo.	52,92	15,88	
MAT16	2,000	Kg	Resina de inyeccion de anclajes tipo mapefix	4,79	9,58	
MAT15	1,050	ml	Bulón fi25 mm	6,50	6,83	
Q030603A01	0,150	Hr	Inyectadoras hidráulicas (con grupo). De 120 Litros/minuto.	91,25	13,69	
% 6	6,000		Costes Indirectos	86,70	5,20	
			TOTAL PARTIDA			**91,88**
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de NOVENTA Y UN EUROS con OCHENTA Y OCHO CÉNTIMOS						
03.09		**ml**	**DREN TIPO CALIFORNIANO**			
			Suministro, colocación y ejecución de dren tipo californiano mediante perforación en el revestimiento del túnel, colocación de tubo drenante de PVC ranurado de 1 metro de profundidad			
MO0002	0,500	h	Oficial	28,00	14,00	
MO0003	0,700	h	Peon	24,50	17,15	
MAQ01	0,500	h	cesta elevadora o similar	30,00	15,00	
Q030002F01	0,300	h	Equipos con martillo en fondo.	52,92	15,88	
MAT19	1,100	ml	dren tipo californiano	2,90	3,19	
% 6	6,000		Costes Indirectos	65,20	3,91	
			TOTAL PARTIDA			**69,13**
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SESENTA Y NUEVE EUROS con TRECE CÉNTIMOS						

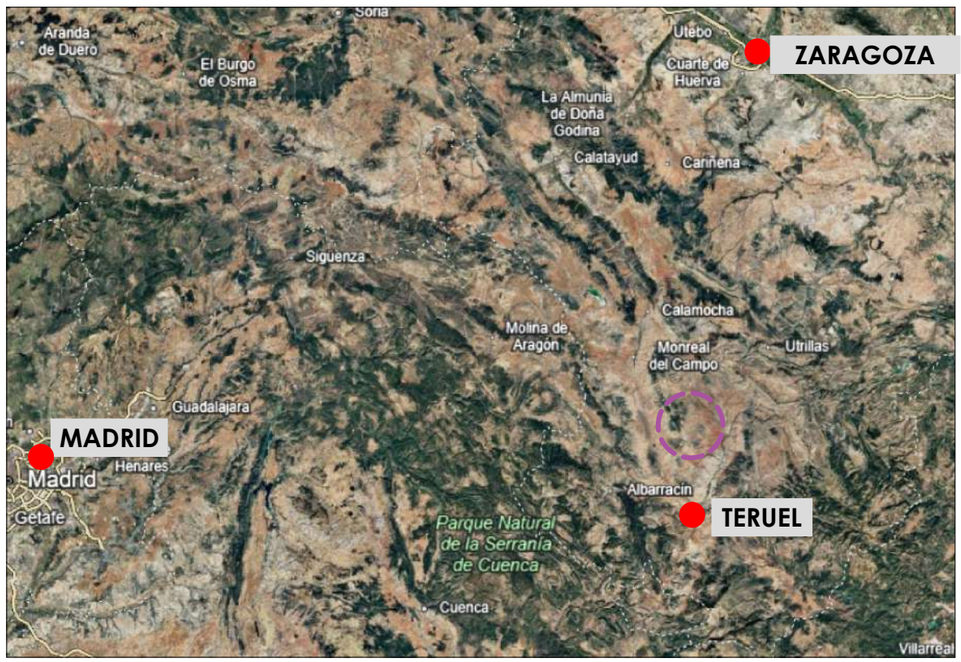
ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES PARA LA ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DEL ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO COMO CAMINO NATURAL, ALBA (TERUEL, ARAGÓN)

DOCUMENTO Nº 2

PLANOS



SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO DE ACTUACIÓN





TÍTULO DEL INFORME ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES PARA LA ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DEL ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO COMO CAMINO NATURAL, ALBA (TERUEL, ARAGÓN)	IDEA Ingeniería y nuevas tecnologías	AUTOR DEL INFORME EL Dr. I.C.C.P. D. Rubén Sancho Gómez-Zurdo	ESCALAS - ORIGINALES A3	FECHA JUNIO 2026 REVISIÓN rev0	DESIGNACIÓN DEL PLANO Situación y emplazamiento	Nº DE PLANO 1 PÁGINA 1 de 1



TÍTULO DEL INFORME ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES PARA LA ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DEL ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO COMO CAMINO NATURAL, ALBA (TERUEL, ARAGÓN)	IDEA Ingeniería y nuevas tecnologías	AUTOR DEL INFORME El Dr. I.C.C.P. D. Rubén Sancho Gómez-Zurdo	ESCALAS - ORIGINALES A3	FECHA JUNIO 2026 REVISIÓN rev0	DESIGNACIÓN DEL PLANO Zonificación	Nº DE PLANO 2 PÁGINA 1 de 1







TÍTULO DEL INFORME		AUTOR DEL INFORME	ESCALAS	FECHA	DESIGNACIÓN DEL PLANO	Nº DE PLANO
ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES PARA LA ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DEL ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO COMO CAMINO NATURAL, ALBA (TERUEL, ARAGÓN)	IDEA Ingeniería y nuevas tecnologías	El Dr. I.C.C.P. D. Rubén Sancho Gómez-Zurdo	-	JUNIO 2026	Estado Actual. Zona 1	3
			ORIGINALES A3	REVISIÓN rev0		PÁGINA 1 de 3

Zona 2.1





Zona 2.2





TÍTULO DEL INFORME ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES PARA LA ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DEL ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO COMO CAMINO NATURAL, ALBA (TERUEL, ARAGÓN)	IDEA Ingeniería y nuevas tecnologías	AUTOR DEL INFORME EL Dr. I.C.C.P. D. Rubén Sancho Gómez-Zurdo	ESCALAS - ORIGINALES A3	FECHA JUNIO 2026 REVISIÓN rev0	DESIGNACIÓN DEL PLANO Estado Actual. Zona 2	Nº DE PLANO 3 PÁGINA 2 de 3

Zona 3.1



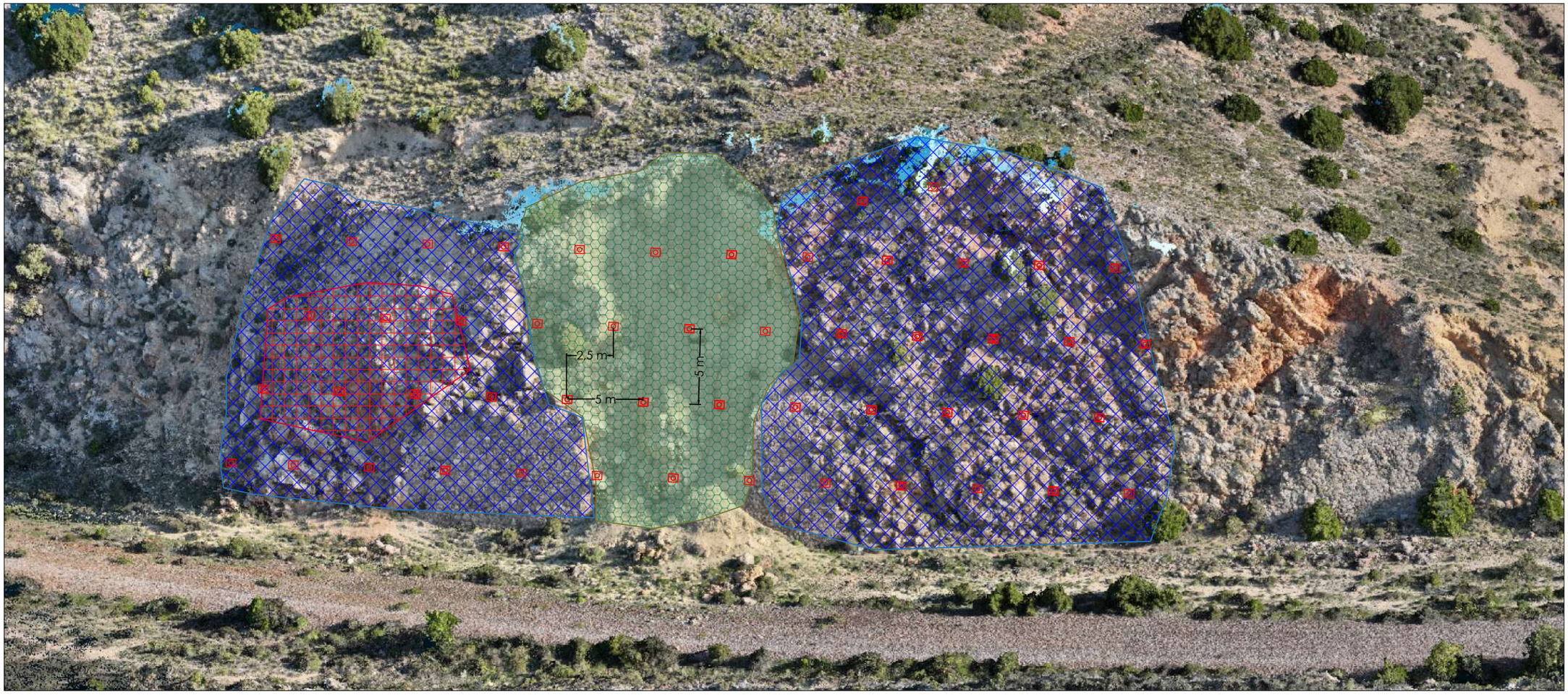


Zona 3.2





TÍTULO DEL INFORME ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES PARA LA ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DEL ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO COMO CAMINO NATURAL, ALBA (TERUEL, ARAGÓN)	IDEA Ingeniería y nuevas tecnologías	AUTOR DEL INFORME EL Dr. I.C.C.P. D. Rubén Sancho Gómez-Zurdo	ESCALAS - ORIGINALES A3	FECHA JUNIO 2026 REVISIÓN rev0	DESIGNACIÓN DEL PLANO Estado Actual. Zona 3	Nº DE PLANO 3 PÁGINA 3 de 3

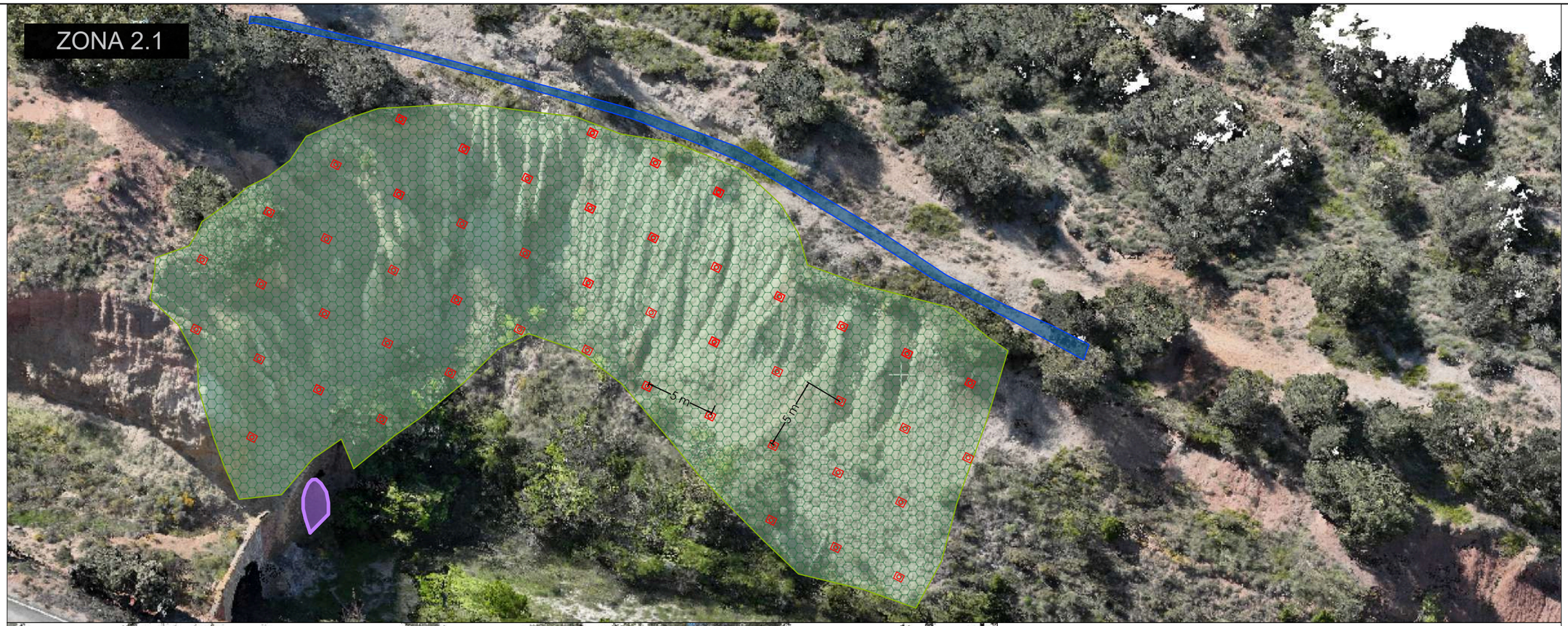


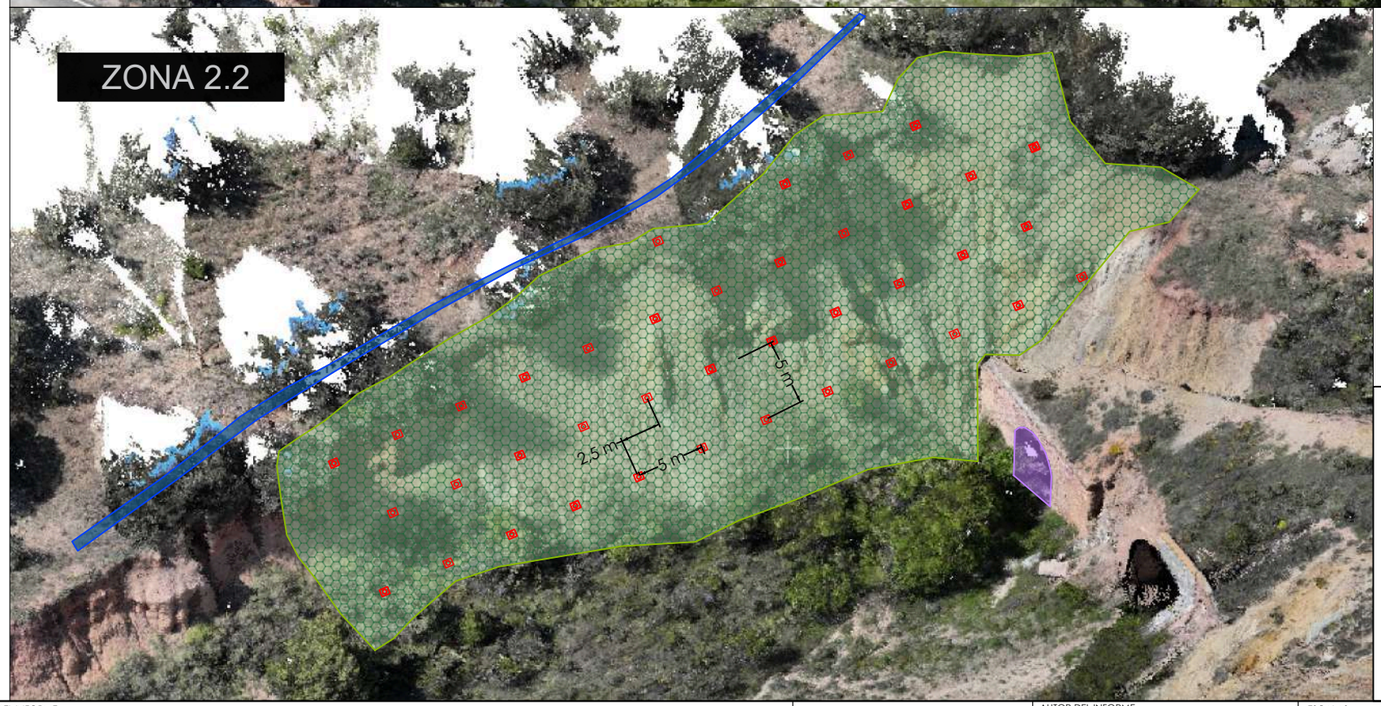
LEYENDA

- Malla de triple torsión
- Geomanta reforzada
- Anclaje Fijación: Ø 25 mm x 2m Prof. *
- Red de cable de acero

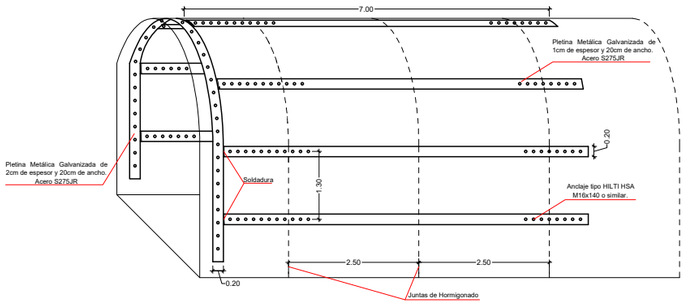
*Ubicación de anclajes orientativa. Se ajustarán a la superficie real del talud, manteniendo cuadrícula 2,00 x 2,00 m.

TÍTULO DEL INFORME: ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES PARA LA ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DEL ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO COMO CAMINO NATURAL, ALBA (TERUEL, ARAGÓN)	IDEA Ingeniería y nuevas tecnologías	AUTOR DEL INFORME: EL Dr. I.C.C.P. D. Rubén Sancho Gómez-Zurdo	ESCALAS: - / ORIGINALES: A3	FECHA: JUNIO 2026 / REVISIÓN: rev0	DESIGNACIÓN DEL PLANO: Solución propuesta. Zona 1	Nº DE PLANO: 4 / PÁGINA: 1 de 3





Sección tipo refuerzo emboquilles



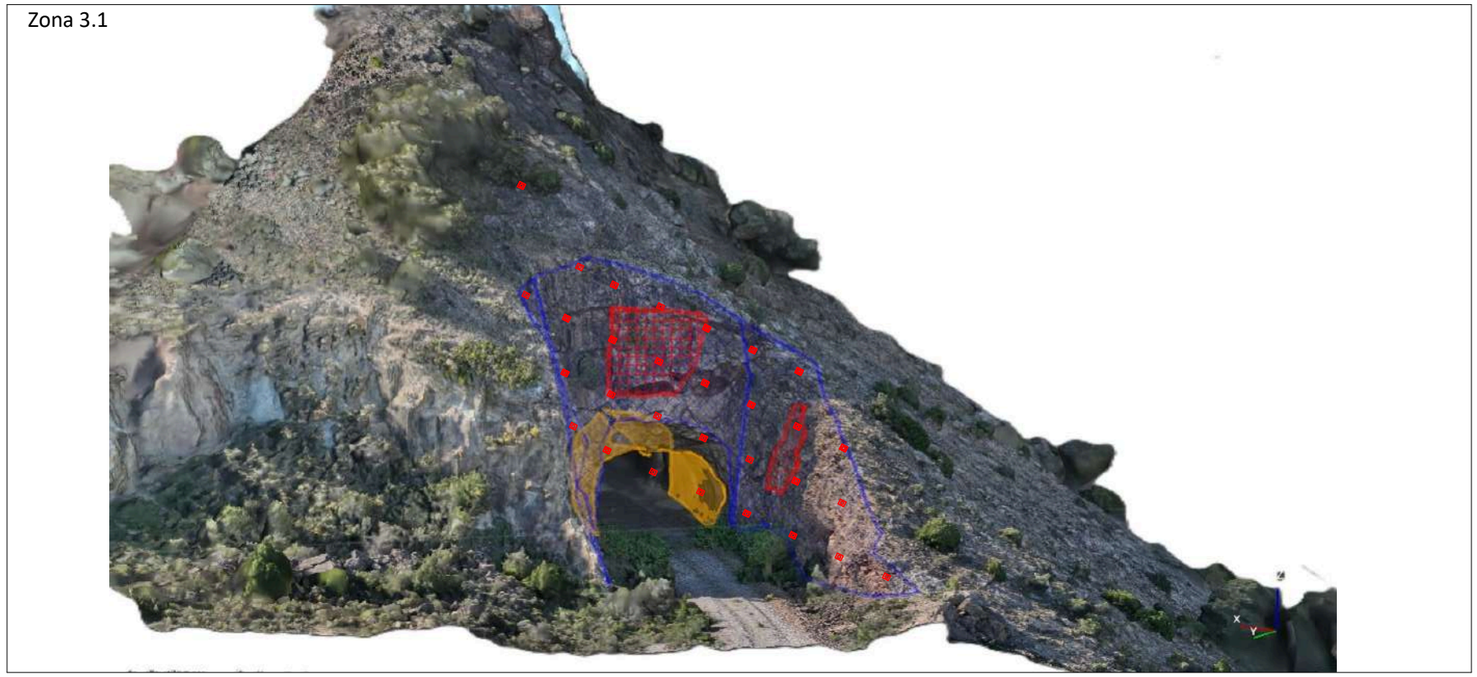
LEYENDA

- Ejecución cuneta
- Geomanta reforzada
- Anclaje Fijación: Ø 25 mm x 2m Prof. *
- Refuerzo de emboquille

*Ubicación de anclajes orientativa. Se ajustarán a la superficie real del talud, manteniendo cuadrícula 5,00 x 5,00 m.

TÍTULO DEL INFORME ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES PARA LA ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DEL ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO COMO CAMINO NATURAL, ALBA (TERUEL, ARAGÓN)	IDEA Ingeniería y nuevas tecnologías	AUTOR DEL INFORME EL Dr. I.C.C.P. D. Rubén Sancho Gómez-Zurdo	ESCALAS - ORIGINALES A3	FECHA JUNIO 2026 REVISIÓN rev0	DESIGNACIÓN DEL PLANO Solución propuesta. Zona 2	Nº DE PLANO 4 PÁGINA 2 de 3

Zona 3.1

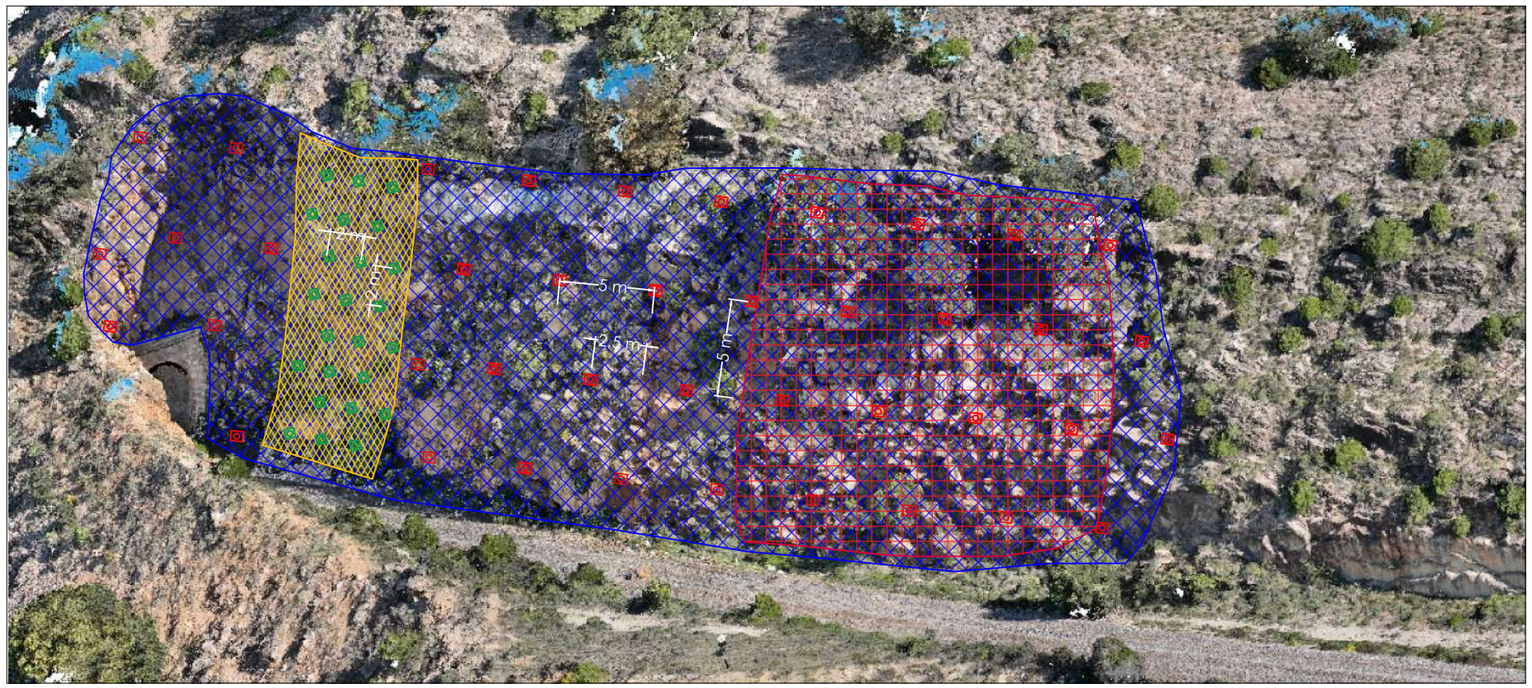


LEYENDA

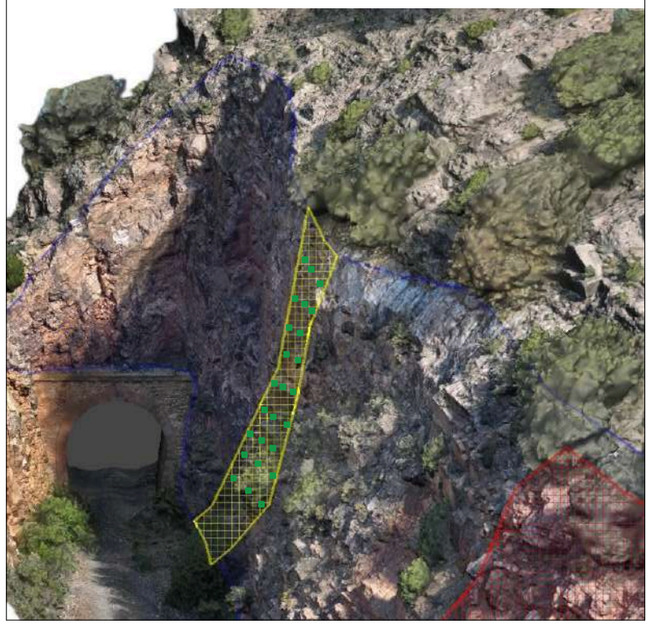
- Red de acero refuerzo interior del Túnel
- Malla de triple torsión
- Anclaje Sostenimiento: Ø 32 mm x 9m Prof. *
- Zona de anclajes de cosido
- Red de cable de acero
- Anclaje Fijación: Ø 25 mm x 2m Prof. *

*Ubicación de anclajes orientativa. Se ajustarán a la superficie real del talud, manteniendo cuadrícula 2,00 x 2,00 m.

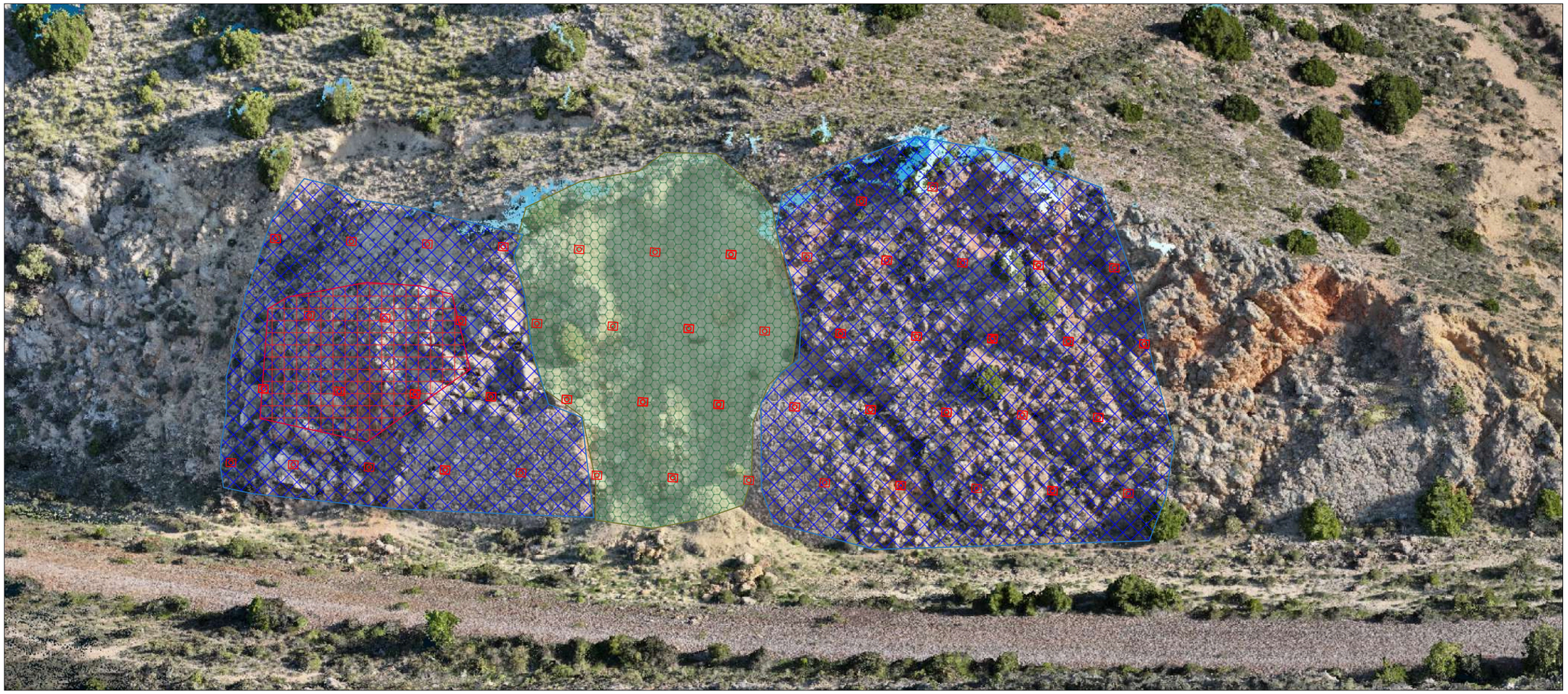
Zona 3.2



Detalle emboquille zona 3.2



TÍTULO DEL INFORME: ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES PARA LA ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DEL ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO COMO CAMINO NATURAL, ALBA (TERUEL, ARAGÓN)	IDEA Ingeniería y nuevas tecnologías	AUTOR DEL INFORME: EL Dr. I.C.C.P. D. Rubén Sancho Gómez-Zurdo	ESCALAS: - / ORIGINALES: A3	FECHA: JUNIO 2026 / REVISIÓN: rev0	DESIGNACIÓN DEL PLANO: Solución propuesta. Zona 3	Nº DE PLANO: 4 / PÁGINA: 3 de 3



ZONA 1	
Desbroce (m2)	110,41
Saneo (m2)	1104,09
Malla triple torsión (m2)	833,49
Anclajes de fijación. Prof. 2 m (ml)	90,00
Geomanta reforzada (m2)	270,60
Red de cable de acero (m2)	115,50

TÍTULO DEL INFORME

ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES PARA LA ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DEL ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO COMO CAMINO NATURAL, ALBA (TERUEL, ARAGÓN)

IDEA Ingeniería y nuevas tecnologías

AUTOR DEL INFORME

EL Dr. I.C.C.P. D. Rubén Sancho Gómez-Zurdo

ESCALAS: -

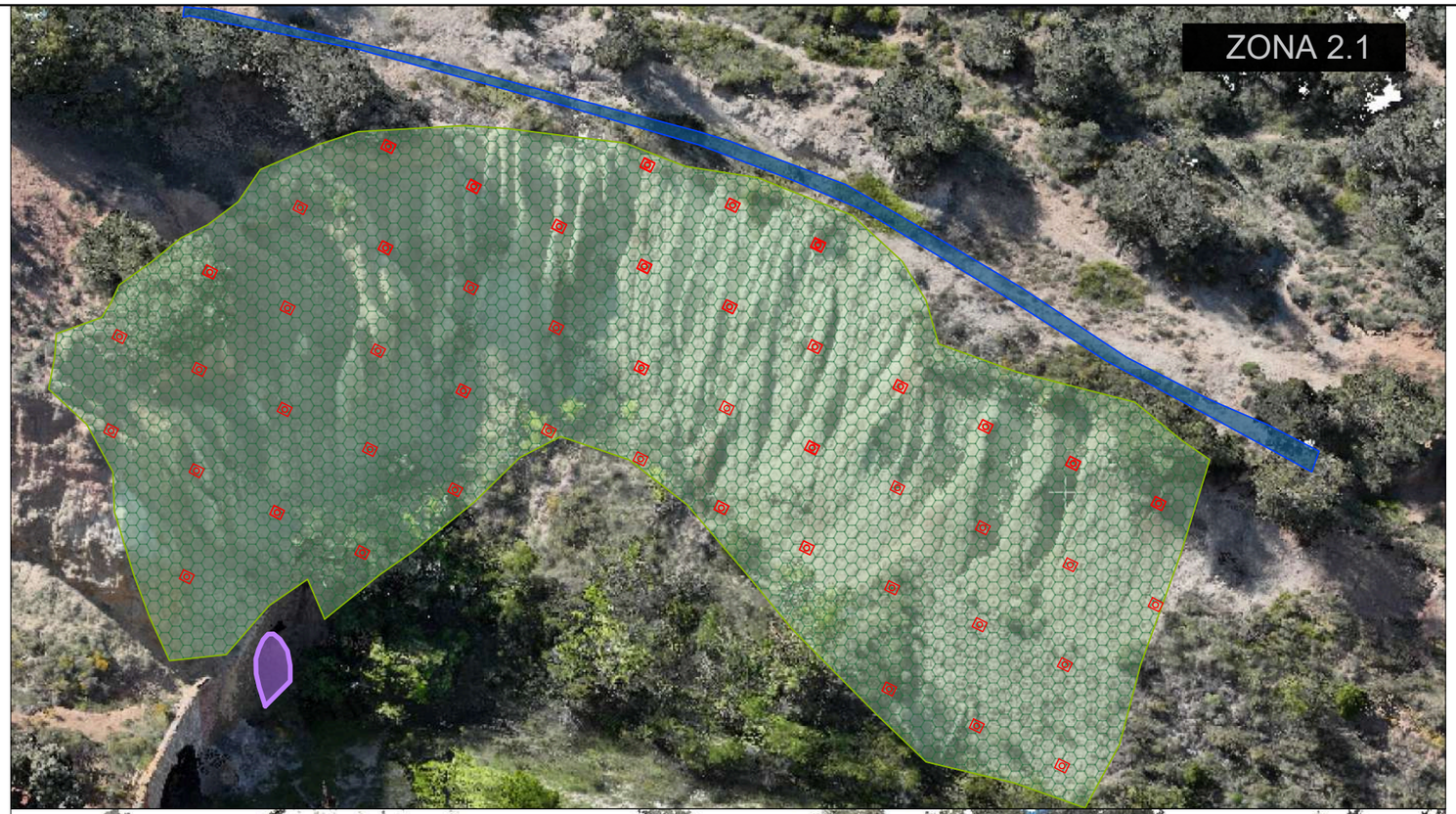
ORIGINALES: A3

FECHA: JUNIO 2026

REVISIÓN: rev0

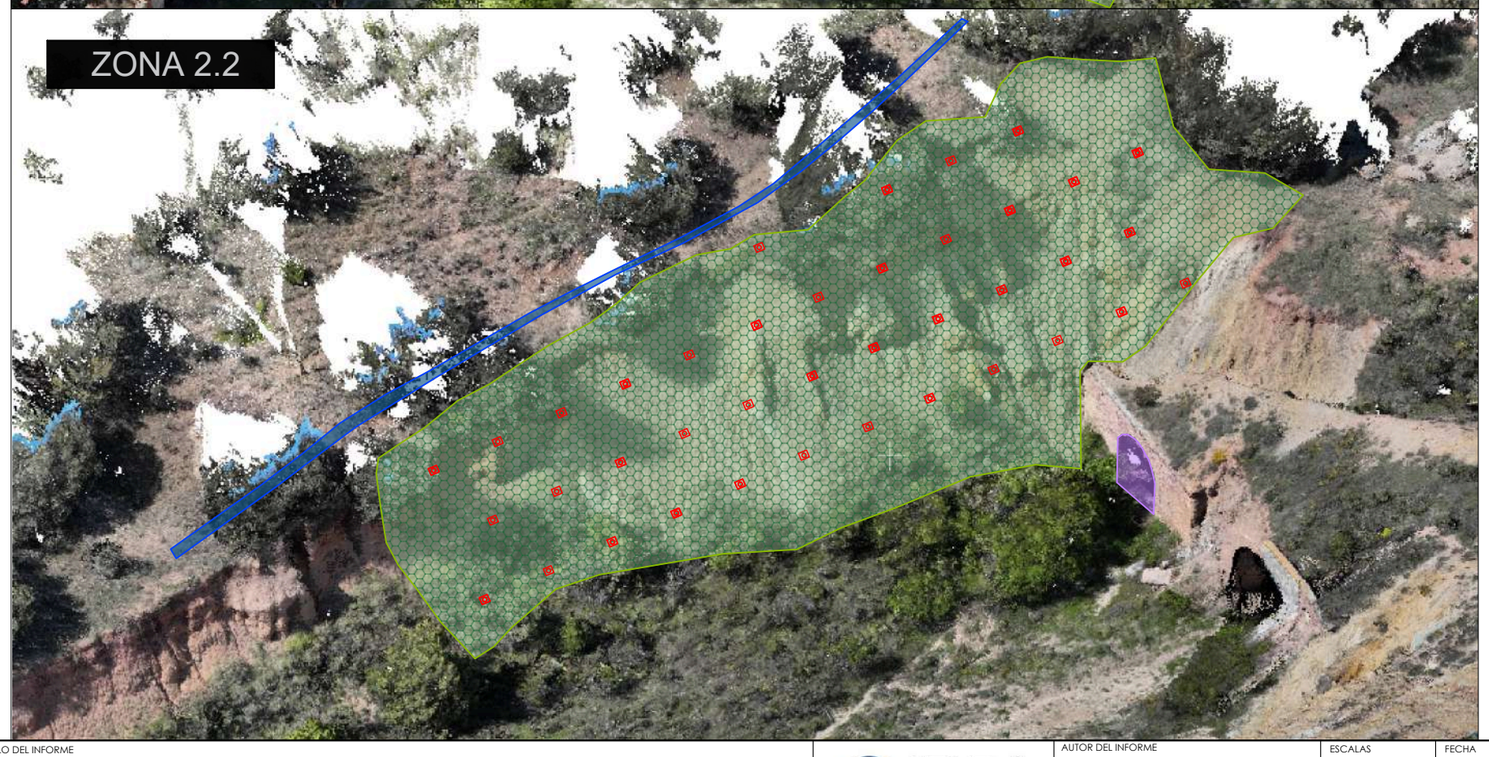
DESIGNACIÓN DEL PLANO: Mediciones. Zona 1

Nº DE PLANO: 5



ZONA 2.1 Talud	
Desbroce (m2)	499,19
Saneo (m2)	1247,98
Geomanta reforzada (m2)	1247,98
Anclajes de fijación. Prof. 2 m (ml)	100,00
Ejecución de cuneta (ml)	50,00

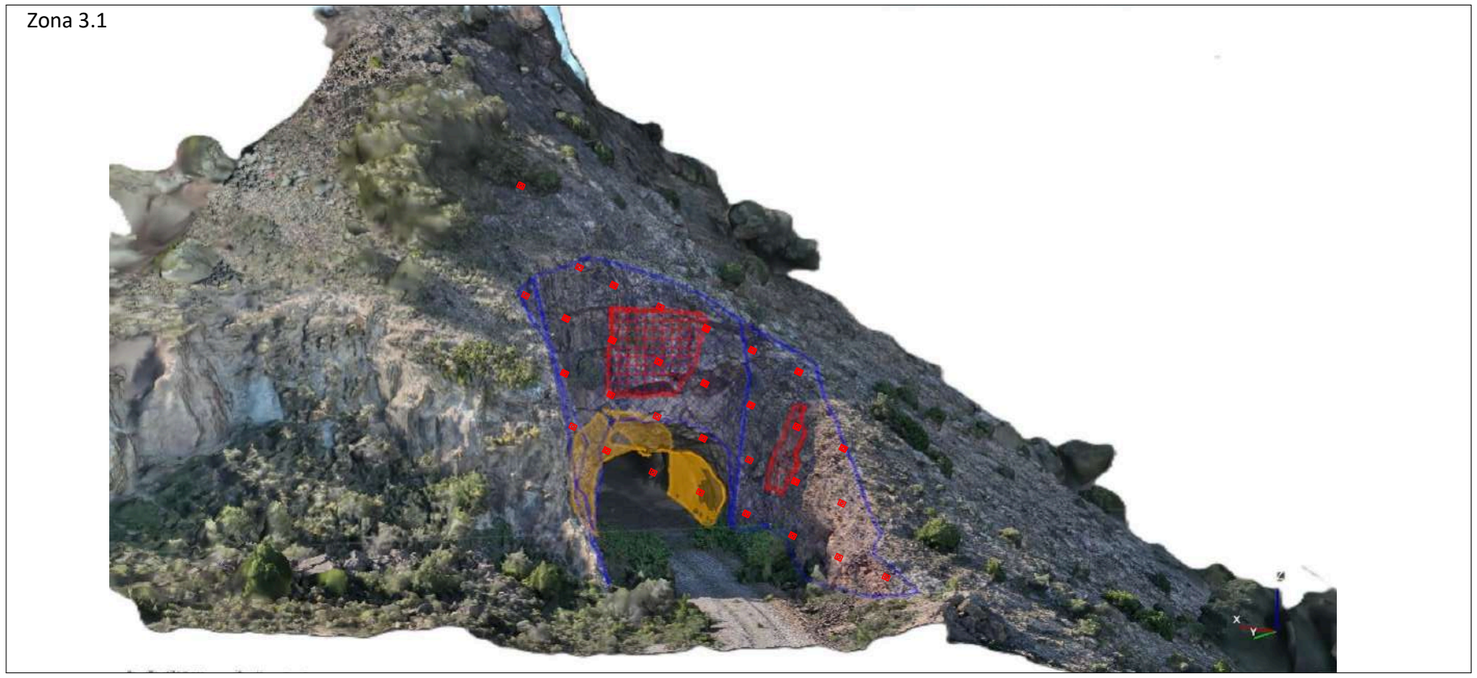
ZONA 2.1 Túnel	
Pletinas metálicas (ml)	60,06
Varilla roscada de anclaje (ud)	52,00
Dren tipo californiano (ml)	8,00



ZONA 2.2 Talud	
Desbroce (m2)	377,03
Saneo (m2)	754,05
Geomanta reforzada (m2)	754,05
Anclajes de fijación. Prof. 2 m (ml)	62,00
Ejecución de cuneta (ml)	50,00

ZONA 2.2 Túnel	
Pletinas metálicas (ml)	60,06
Varilla roscada de anclaje (ud)	52,00
Dren tipo californiano (ml)	8,00

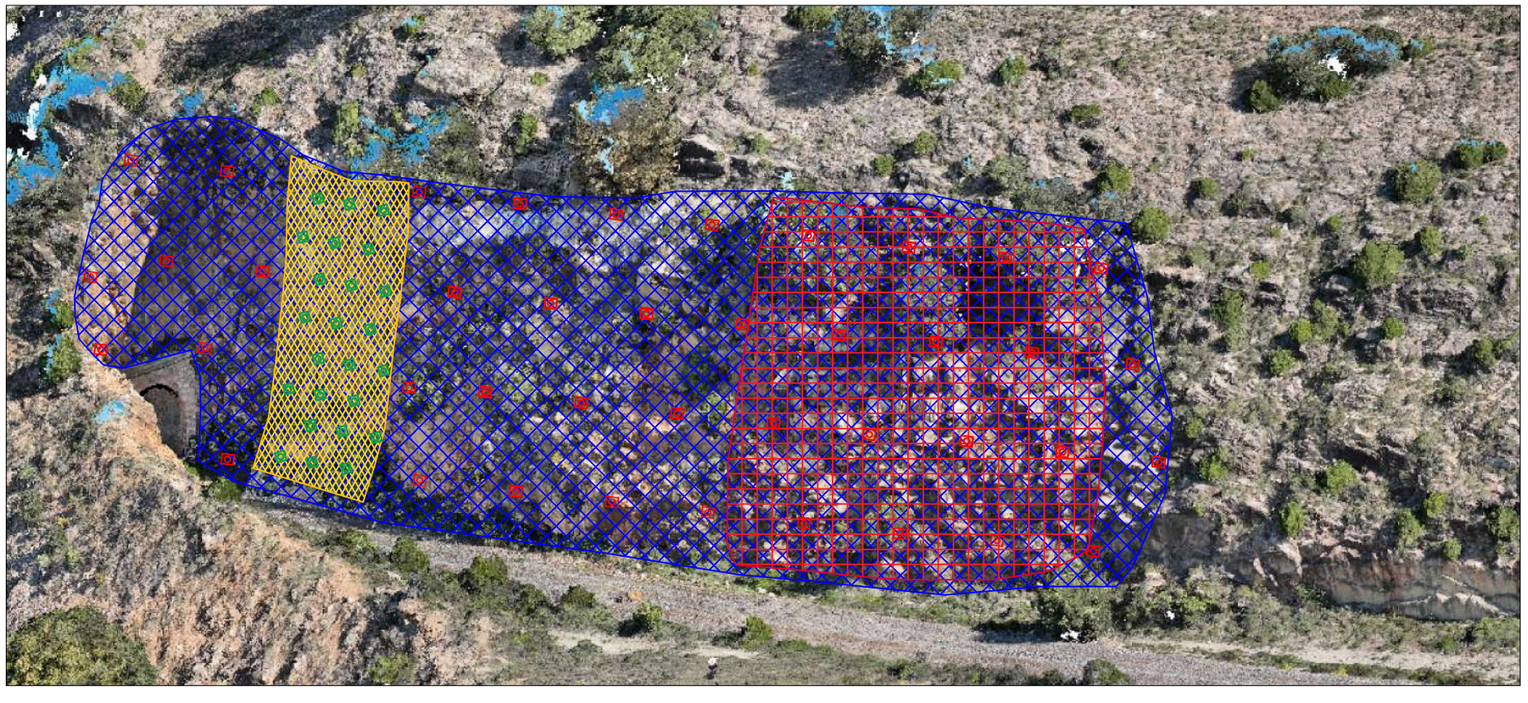
Zona 3.1



ZONA 3.1 Talud	
Desbroce (m2)	133,44
Saneo (m2)	667,18
Malla triple torsión (m2)	667,18
Anclajes de fijación. Prof. 2 m (ml)	54,00
Red de cable de acero (m2)	102,56

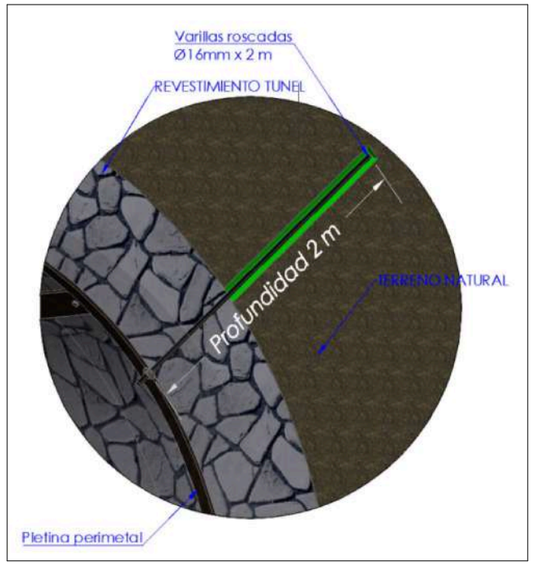
ZONA 3.1 Túnel	
Red de cable de acero (m2)	264,00
Bulones inyectados con resina (ml)	22,00

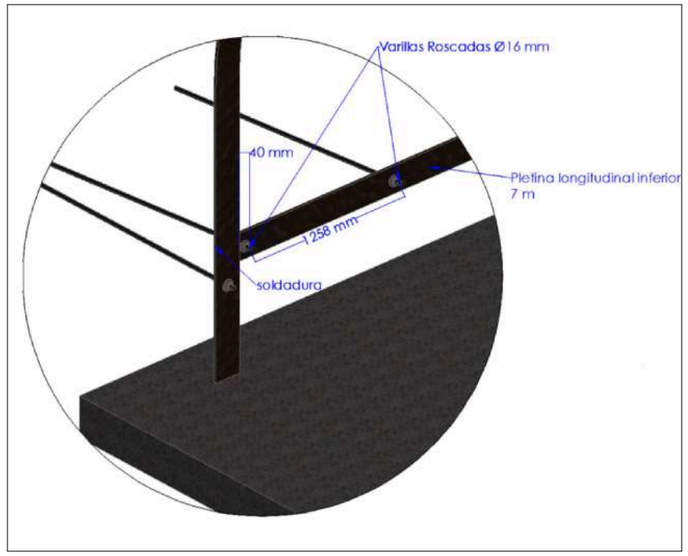
Zona 3.2



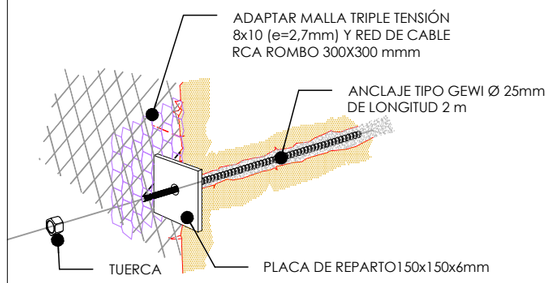
ZONA 3.2	
Desbroce (m2)	519,49
Saneo (m2)	1731,64
Malla triple torsión (m2)	1731,64
Anclajes de fijación. Prof. 2 m (ml)	110,00
Anclajes de sostenimiento. Prof. 9 m (ml)	243,00
Red de cable de acero (m2)	587,20

DETALLE EMBOQUILLE TÚNELES

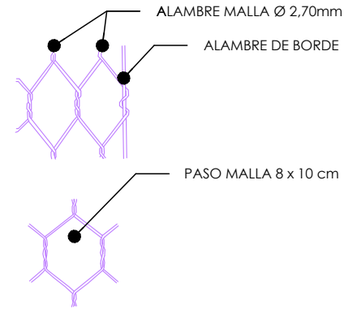




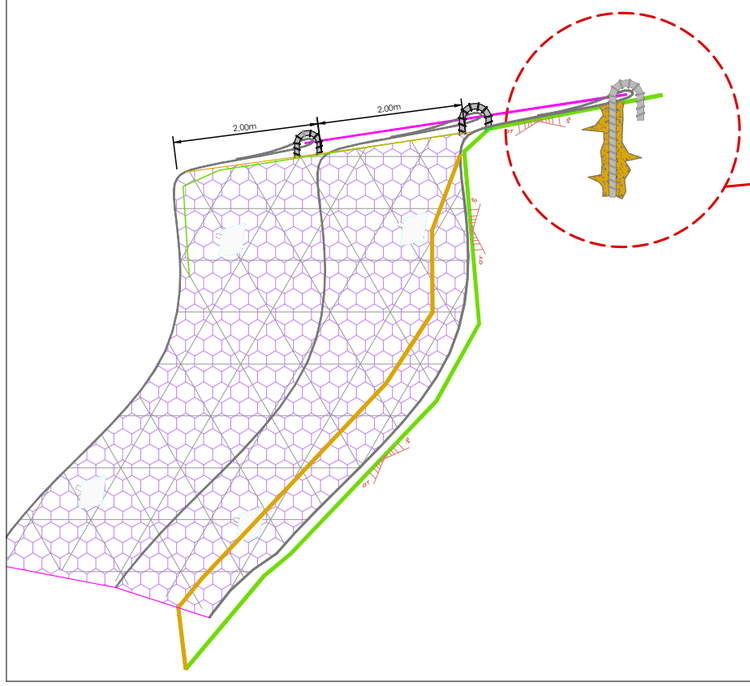
DETALLE
BULONES DEFIJACIÓN EN ZONAS DE MALLAS, RED DE CABLE Y GEOMANTA DE REFUERZO



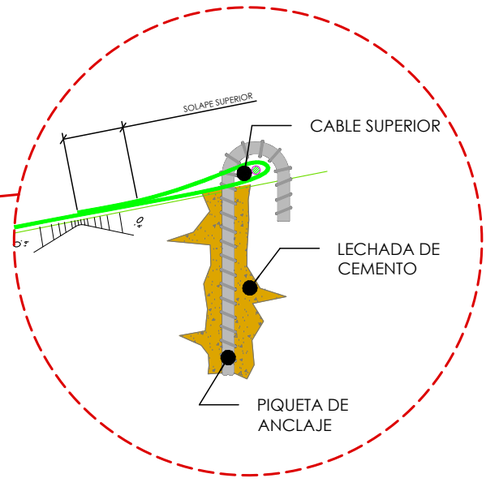
DETALLE
MALLA TRIPLE TORSIÓN



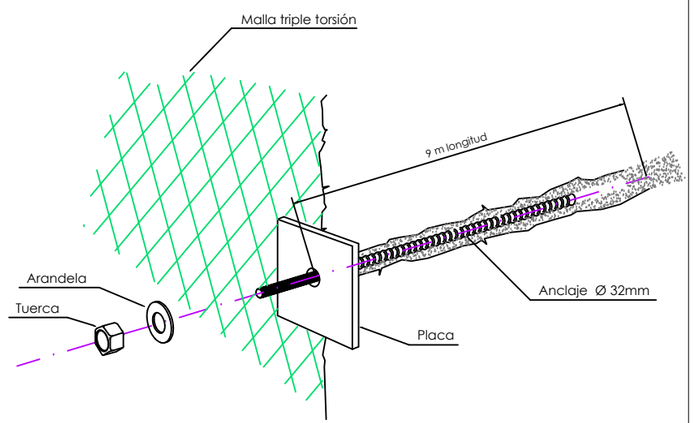
DETALLE
CONJUNTO MALLA TRIPLE TORSIÓN Y ANCLAJES AL TERRENO



ANCLAJE DE CORONACIÓN



DETALLE
BULONES DE SOSTENIMIENTO EN ZONA DE COSIDO



TÍTULO DEL INFORME ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES PARA LA ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DEL ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO COMO CAMINO NATURAL, ALBA (TERUEL, ARAGÓN)	IDEA Ingeniería y nuevas tecnologías	AUTOR DEL INFORME EL Dr. I.C.C.P. D. Rubén Sancho Gómez-Zurdo	ESCALAS - ORIGINALES A3	FECHA JUNIO 2026 REVISIÓN rev0	DESIGNACIÓN DEL PLANO Detalles	Nº DE PLANO 6 PÁGINA 1 de 1

ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES PARA LA ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DEL ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO COMO CAMINO NATURAL, ALBA (TERUEL, ARAGÓN)

DOCUMENTO Nº 3

PRESUPUESTO

ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES PARA LA ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DEL ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO COMO CAMINO NATURAL, ALBA (TERUEL, ARAGÓN)

MEDICIONES

MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD
	CAPÍTULO 01 IMPLANTACIÓN						
01.01	**ud PUESTA Y RETIRADA DE EQUIPOS**						
	Desplazamiento e implantación de material y equipos hasta la obra.						
		5				5,00	
							5,00
01.02	**m2 DESBROCE SUPERFICIE DE TALUD**						
	Desbroce en superficie de talud por medios manuales incluso mediante trabajos verticales para posterior ejecución de trabajos. Mediciones según documento de planos.						
	Zona 1	110,41				110,41	
	Zona 2.1	499,19				499,19	
	Zona 2.2	377,03				377,03	
	Zona 3.1	133,44				133,44	
	Zona 3.2	519,49				519,49	
							1.639,56
01.03	**m2 SANEO SUPERFICIE DE TALUD**						
	Saneo mediante trabajos verticales de material suelto en el talud hasta tamaño máximo de 1 m con medios manuales o mecánicos ligeros. Mediciones según documento de planos.						
	Zona 1	1104,09				1.104,09	
	Zona 2.1	1247,98				1.247,98	
	Zona 2.2	754,05				754,05	
	Zona 3.1	667,18				667,18	
	Zona 3.2	1731,64				1.731,64	
							5.504,94
01.04	**ud PREPARACIÓN DE ACCESOS**						
	Preparación de accesos en obra para ejecución de trabajos.						
		6				6,00	
							6,00

MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD
	CAPÍTULO 02 SOSTENIMIENTO TALUD						
02.01	**m2 MALLA DE TRIPLE TORSIÓN**						
	Enrejado de triple torsión con alambre galvanizado reforzado de 2,7 mm. de diámetro, de malla hexagonal 8x10-16, para protección de taludes, incluyendo piquetes de acero. separados 2 m en cabecera de talud y p.p. de elementos auxiliares. Tensado de la cabecera con cable de acero de 12 mm. Despliegue de los rollos hasta la parte inferior del talud. Cosido de los bordes de cada rollo entre sí. Terminación del borde inferior mediante, cable de acero 12 mm actuando como contrapeso del conjunto. Totalmente terminado						
	Zona 1	1	833,49			833,49	
	Zona 3.1	1	667,18			667,18	
	Zona 3.2	1	1.731,64			1.731,64	
							3.232,31
02.02	**m2 RED DE CABLE DE ACERO**						
	Red de cable de acero tipo RCA con abertura de rombo 300x300 mm con cable de acero inoxidable de 8 mm de diámetro y grapa G1. Dimensión de paneles 6 x 4 m; o con resistencia superficial mínima de 45 kN/m2.						
	Zona 1	1	115,50			115,50	
	Zona 3.1	1	102,56			102,56	
	Zona 3.2	1	587,20			587,20	
							805,26
02.03	**ml BULÓN Ø32 MM. SOSTENIMIENTO**						
	Suministro y colocación de Bulón. Ø =32 mm, L hasta 9 m. tipo Gewi, Incluso perforación e inyección de lechada de cemento, placa de reparto 150x 150 x 6. Incluso suministro de material y personal especializado, totalmente instalado. Diámetro de perforación 74 mm. Mediciones según documento de planos.						
	Zona 3.2	27	9,00			243,00	
							243,00
02.04	**ml BULÓN PASIVO EN MALLA TT**						
	Suministro y colocación de Bulón. Ø =25 mm en la malla de triple torsión, red de cable y geomalla reforzada, L=2 m. tipo Gewi, Incluso perforación e inyección teórica de lechada de cemento, placa de reparto 150x150x6. Incluso suministro de material y personal especializado, totalmente instalado. Diámetro de perforación 42 mm.						
	Zona 1	45	2,00			90,00	
	Zona 2.1	50	2,00			100,00	
	Zona 2.2	31	2,00			62,00	
	Zona 3.1	27	2,00			54,00	
	Zona 3.2	55	2,00			110,00	
							416,00
02.05	**m2 GEOMANTA REFORZADA**						
	Suministro y colocación de geomanta reforzada tipo MacMat o similar. Geomanta con estructura tridimensional, a base de polipropileno y polietileno de alta densidad (HDPE), estable a los rayos UV, de 25 mm de espesor, de 10x10 mm de luz de malla y de 280 g/m² de masa superficial, elongación hasta rotura 20% y 3 N/cm² de resistencia a tracción, suministrada en rollos de 2x25 m.						
	Zona 1	270,6				270,60	
	Zona 2.1	1247,98				1.247,98	
	Zona 2.2	754,05				754,05	
							2.272,63
02.06	**ml CABLE Ø6 mm DE REFUERZO**						
	Cable 6 mm en refuerzo de malla de triple torsión y geomalla reforzada. Incluso cosido entrelazado sobe los bulones						
	Zona 1	485,8				485,80	
	Zona 2.1	549,11				549,11	
	Zona 2.2	331,78				331,78	
	Zona 3.1	293,56				293,56	
	Zona 3.2	761,92				761,92	
							2.422,17

MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD
02.07	**ml EJECUCIÓN CUNETA**						
	Ejecución de cuneta en coronación de talud para recoger y conducir aguas de escorrentía superficial y evitar la circulación de agua sobre frente de talud.						
	Zona 2.1	50				50,00	
	Zona 2.2	50				50,00	
							100,00
02.08	**Kg RESINA PARA RELLENO DE GRIETAS**						
	Suministro y aplicación de resina para el relleno de grietas y fisuras en el bloque rocoso. Incluye la perforación y colocación de obturadores cuando sea necesario, inyección a baja presión, sellado superficial posterior con todos los medios auxiliares necesarios.						
		1	50,00			50,00	
							50,00
02.09	**Kg LECHADA PARA RELLENO DE GRIETAS**						
	Suministro y aplicación de lechada para el relleno de grietas y fisuras en la zona de bloques inestables. Incluye la colocación de boquillas de inyección cuando sea necesario, inyección a baja presión, sellado superficial posterior con todos los medios auxiliares necesarios.						
		1	4.500,00			4.500,00	
							4.500,00

MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD
	CAPÍTULO 03 SOSTENIMIENTO TÚNELES						
03.01	**ml SELLADO JUNTAS MORTERO**						
	Sellado de juntas existentes en el revestimiento del túnel mediante mortero de reparación compatible con el hormigón existente, aplicado tras la limpieza y saneo previo de las superficies. Incluye apertura y regularización de la junta si fuera necesario, humectación del soporte, aplicación del mortero, acabado superficial y curado, así como todos los medios auxiliares necesarios para su correcta ejecución.						
	Zona 2.1	75				75,00	
	Zona 2.2	75				75,00	
							150,00
03.02	**Kg RESINA PARA RELLENO DE GRIETAS**						
	Suministro y aplicación de resina para el relleno de grietas y fisuras en el revestimiento del túnel rocoso. Incluye la colocación de obturadores cuando sea necesario, inyección a baja presión, sellado superficial posterior con todos los medios auxiliares necesarios.						
	Zona 2.1	17				17,00	
	Zona 2.2	18				18,00	
							35,00
03.03	**Kg LECHADA PARA RELLENO DE GRIETAS**						
	Suministro y aplicación de lechada para el relleno de grietas y fisuras en el revestimiento del túnel. Incluye la colocación de boquillas de inyección cuando sea necesario, inyección a baja presión, sellado superficial posterior con todos los medios auxiliares necesarios.						
		1	5.000,00			5.000,00	
							5.000,00
03.04	**Ud PERFORACIÓN EN REVESTIMIENTO Y TERRENO**						
	Ejecución de perforaciones mediante medios mecánicos en el revestimiento existente del túnel y en el terreno trasdós, en diámetro necesario para anclajes de 25 mm de diámetro y hasta 4 m de profundidad ejecutados en cualquier sección del tunel, incluso en clave. Incluye limpieza de los taladros y medios auxiliares.						
	Zona 2.1	52				52,00	
	Zona 2.2	52				52,00	
							104,00
03.05	**m PLETINAS METÁLICAS DE REFUERZO**						
	Suministro y colocación de pletinas metálicas de acero estructural galvanizado, de 7,00 m de longitud, destinadas al refuerzo del emboquille del túnel. de 20 mm de ancho para pletina perimetral y 10 mm de ancho para pletinas longitudinales. Incluye replanteo, manipulación, colocación, alineación y ajuste de las pletinas, así como los medios auxiliares necesarios para su correcta instalación.						
	Zona 2.1	60,06				60,06	
	Zona 2.2	60,06				60,06	
							120,12
03.06	**Ud VARILLA ROSCADA DE ANCLAJE DE ALTA RESISTENCIA**						
	Suministro y colocación de varilla roscada de 16 mm de diámetro y 1 metro de longitud, de alta resistencia para la fijación de las pletinas metálicas al revestimiento del túnel, incluyendo tuercas y arandelas, así como el apriete controlado y verificación de la correcta disposición de cada elemento.						
	Zona 2.1	52				52,00	
	Zona 2.2	52				52,00	
							104,00
03.07	**m2 RED DE CABLE DE ACERO**						
	Red de cable de acero tipo RCA con abertura de rombo 300x300 mm con cable de acero inoxidable de 8 mm de diámetro y grapa G1. Dimensión de paneles 6 x 4 m; o con resistencia superficial mínima de 45 kN/m2.						
	Zona 3.1	264				264,00	
							264,00

MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD
03.08	**ml BULONES FI 25 MM INYECTADOS CON RESINA TIPO MAPEFIX**						
	Suministro e instalación de bulones de acero de Ø25 mm, colocados en perforación previa e inyectados con resina química tipo Mapefix o equivalente, incluyendo replanteo, perforación, limpieza del taladro, colocación del bulón, inyección de resina, medios auxiliares y parte proporcional de accesorios, totalmente ejecutado.						
	Zona 3.1	11	2,00			22,00	
							22,00
03.09	**ml DREN TIPO CALIFORNIANO**						
	Suministro, colocación y ejecución de dren tipo californiano mediante perforación en el revestimiento del túnel, colocación de tubo drenante de PVC ranurado de 1 metro de profundidad						
	Zona 2.1	4	2,00			8,00	
	Zona 2.2	4	2,00			8,00	
							16,00

ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES PARA LA ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DEL ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO COMO CAMINO NATURAL, ALBA (TERUEL, ARAGÓN)

CUADRO DE PRECIOS 1

CUADRO DE PRECIOS 1

Nº	CÓDIGO	UD	RESUMEN	PRECIO EN LETRA	IMPORTE
0001	01.01	ud	Desplazamiento e implantación de material y equipos hasta la obra.	MIL QUINIENTOS EUROS	1.500,00
0002	01.02	m2	Desbroce en superficie de talud por medios manuales incluso mediante trabajos verticales para posterior ejecución de trabajos. Mediciones según documento de planos.	OCHO EUROS con SESENTA Y CUATRO CÉNTIMOS	8,64
0003	01.03	m2	Saneo mediante trabajos verticales de material suelto en el talud hasta tamaño máximo de 1 m con medios manuales o mecánicos ligeros. Mediciones según documento de planos.	DIECIOCHO EUROS con DOS CÉNTIMOS	18,02
0004	01.04	ud	Preparación de accesos en obra para ejecución de trabajos.	MIL DOSCIENTOS CINCUENTA EUROS	1.250,00
0005	02.01	m2	Enrejado de triple torsión con alambre galvanizado reforzado de 2,7 mm. de diámetro, de malla hexagonal 8x10-16, para protección de taludes, incluyendo piquetes de acero . separados 2 m en cabecera de talud y p.p. de elementos auxiliares. Tensado de la cabecera con cable de acero de 12 mm. Despliegue de los rollos hasta la parte inferior del talud. Cosido de los bordes de cada rollo entre sí. Terminación del borde inferior mediante, cable de acero 12 mm actuando como contrapeso del conjunto. Totalmente terminado	VEINTE EUROS con SIETE CÉNTIMOS	20,07
0006	02.02	m2	Red de cable de acero tipo RCA con abertura de rombo 300x300 mm con cable de acero inoxidable de 8 mm de diámetro y grapa G1. Dimensión de paneles 6 x 4 m; o con resistencia superficial mínima de 45 kN/m2.	SESENTA Y SEIS EUROS con DIECISEIS CÉNTIMOS	66,16
0007	02.03	ml	Suministro y colocación de Bulón. Ø =32 mm, L hasta 9 m. tipo Gewi, Incluso perforación e inyección de lechada de cemento, placa de reparto 150x 150 x 6. Incluso suministro de material y personal especializado, totalmente instalado. Diámetro de perforación 74 mm. Mediciones según documento de planos.	OCHENTA Y CINCO EUROS con VEINTIDOS CÉNTIMOS	85,22
0008	02.04	ml	Suministro y colocación de Bulón. Ø =25 mm en la malla de triple torsión, red de cable y geomalla reforzada, L=2 m. tipo Gewi, Incluso perforación e inyección teórica de lechada de cemento, placa de reparto 150x150x6. Incluso suministro de material y personal especializado, totalmente instalado. Diámetro de perforación 42 mm.	SETENTA Y OCHO EUROS con NOVENTA Y SEIS CÉNTIMOS	78,96
0009	02.05	m2	Suministro y colocación de geomanta reforzada tipo MacMat o similar. Geomanta con estructura tridimensional, a base de polipropileno y polietileno de alta densidad (HDPE), estable a los rayos UV, de 25 mm de espesor, de 10x10 mm de luz de malla y de 280 g/m² de masa superficial, elongación hasta rotura 20% y 3 N/cm² de resistencia a tracción, suministrada en rollos de 2x25 m.	CUARENTA Y CUATRO EUROS con TREINTA Y NUEVE CÉNTIMOS	44,39
0010	02.06	ml	Cable 6 mm en refuerzo de malla de triple torsión y geomalla reforzada. Incluso cosido entrelazado sobe los bulones	TRECE EUROS con CUARENTA Y DOS CÉNTIMOS	13,42

CUADRO DE PRECIOS 1

Nº	CÓDIGO	UD	RESUMEN	PRECIO EN LETRA	IMPORTE
0011	02.07	ml	Ejecución de cuneta en coronación de talud para recoger y conducir aguas de escorrentía superficial y evitar la circulación de agua sobre frente de talud.	NOVENTA Y CINCO EUROS con TRES CÉNTIMOS	95,03
0012	02.08	Kg	Suministro y aplicación de resina para el relleno de grietas y fisuras en el bloque rocoso. Incluye la perforación y colocación de obturadores cuando sea necesario, inyección a baja presión, sellado superficial posterior con todos los medios auxiliares necesarios.	CUARENTA Y OCHO EUROS con CINCUENTA Y DOS CÉNTIMOS	48,52
0013	02.09	Kg	Suministro y aplicación de lechada para el relleno de grietas y fisuras en la zona de bloques inestables. Incluye la colocación de boquillas de inyección cuando sea necesario, inyección a baja presión, sellado superficial posterior con todos los medios auxiliares necesarios.	CERO EUROS con CINCUENTA Y CINCO CÉNTIMOS	0,55
0014	03.01	ml	Sellado de juntas existentes en el revestimiento del túnel mediante mortero de reparación compatible con el hormigón existente, aplicado tras la limpieza y saneo previo de las superficies. Incluye apertura y regularización de la junta si fuera necesario, humectación del soporte, aplicación del mortero, acabado superficial y curado, así como todos los medios auxiliares necesarios para su correcta ejecución.	CUARENTA Y TRES EUROS con SESENTA Y CINCO CÉNTIMOS	43,65
0015	03.02	Kg	Suministro y aplicación de resina para el relleno de grietas y fisuras en el revestimiento del túnel rocoso. Incluye la colocación de obturadores cuando sea necesario, inyección a baja presión, sellado superficial posterior con todos los medios auxiliares necesarios.	CUARENTA Y OCHO EUROS con CINCUENTA Y DOS CÉNTIMOS	48,52
0016	03.03	Kg	Suministro y aplicación de lechada para el relleno de grietas y fisuras en el revestimiento del túnel. Incluye la colocación de boquillas de inyección cuando sea necesario, inyección a baja presión, sellado superficial posterior con todos los medios auxiliares necesarios.	CERO EUROS con CINCUENTA Y CINCO CÉNTIMOS	0,55
0017	03.04	Ud	Ejecución de perforaciones mediante medios mecánicos en el revestimiento existente del túnel y en el terreno trasdós, en diámetro necesario para anclajes de 25 mm de diámetro y hasta 4 m de profundidad ejecutados en cualquier sección del tunel, incluso en clave. Incluye limpieza de los taladros y medios auxiliares.	CINCUENTA Y SIETE EUROS con CUARENTA Y SEIS CÉNTIMOS	57,46
0018	03.05	m	Suministro y colocación de pletinas metálicas de acero estructural galvanizado, de 7,00 m de longitud, destinadas al refuerzo del emboquille del túnel. de 20 mm de ancho para pletina perimetral y 10 mm de ancho para pletinas longitudinales. Incluye replanteo, manipulación, colocación, alineación y ajuste de las pletinas, así como los medios auxiliares necesarios para su correcta instalación.	TREINTA Y OCHO EUROS con OCHENTA Y CINCO CÉNTIMOS	38,85
0019	03.06	Ud	Suministro y colocación de varilla roscada de 16 mm de diámetro y 1 metro de longitud, de alta resistencia para la fijación de las pletinas metálicas al revestimiento del túnel, incluyendo tuercas y arandelas, así como el apriete controlado y verificación de la correcta disposición de cada elemento.	CINCUENTA Y NUEVE EUROS	59,00

CUADRO DE PRECIOS 1

Nº	CÓDIGO	UD	RESUMEN	PRECIO EN LETRA	IMPORTE
0020	03.07	m2	Red de cable de acero tipo RCA con abertura de rombo 300x300 mm con cable de acero inoxidable de 8 mm de diámetro y grapa G1. Dimensión de paneles 6 x 4 m; o con resistencia superficial mínima de 45 kN/m2.	SESENTA Y SEIS EUROS con DIECISEIS CÉNTIMOS	66,16
0021	03.08	ml	Suministro e instalación de bulones de acero de Ø25 mm, colocados en perforación previa e inyectados con resina química tipo Mapefix o equivalente, incluyendo replanteo, perforación, limpieza del taladro, colocación del bulón, inyección de resina, medios auxiliares y parte proporcional de accesorios, totalmente ejecutado.	NOVENTA Y UN EUROS con OCHENTA Y OCHO CÉNTIMOS	91,88
0022	03.09	ml	Suministro, colocación y ejecución de dren tipo californiano mediante perforación en el revestimiento del túnel, colocación de tubo drenante de PVC ranurado de 1 metro de profundidad	SESENTA Y NUEVE EUROS con TRECE CÉNTIMOS	69,13

Zaragoza, Junio de 2026

El Dr. Ingeniero de Caminos,

Canales y Puertos



Rubén Sancho Gómez-Zurdo

ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES PARA LA ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DEL ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO COMO CAMINO NATURAL, ALBA (TERUEL, ARAGÓN)

CUADRO DE PRECIOS 2

CUADRO DE PRECIOS 2

Nº	CÓDIGO	UD	RESUMEN	IMPORTE
0002	01.02	m2	Desbroce en superficie de talud por medios manuales incluso mediante trabajos verticales para posterior ejecución de trabajos. Mediciones según documento de planos.	
			Mano de obra	5,25
			Maquinaria	2,73
			Resto de obra y materiales	0,66
			TOTAL PARTIDA	**8,64**
0003	01.03	m2	Saneo mediante trabajos verticales de material suelto en el talud hasta tamaño máximo de 1 m con medios manuales o mecánicos ligeros. Mediciones según documento de planos.	
			Mano de obra	12,60
			Maquinaria	4,23
			Resto de obra y materiales	1,19
			TOTAL PARTIDA	**18,02**
0005	02.01	m2	Enrejado de triple torsión con alambre galvanizado reforzado de 2,7 mm. de diámetro, de malla hexagonal 8x10-16, para protección de taludes, incluyendo piquetes de acero . separados 2 m en cabecera de talud y p.p. de elementos auxiliares. Tensado de la cabecera con cable de acero de 12 mm. Despliegue de los rollos hasta la parte inferior del talud. Cosido de los bordes de cada rollo entre sí. Terminación del borde inferior mediante, cable de acero 12 mm actuando como contrapeso del conjunto. Totalmente terminado	
			Mano de obra	10,22
			Maquinaria	2,45
			Resto de obra y materiales	7,40
			TOTAL PARTIDA	**20,07**
0006	02.02	m2	Red de cable de acero tipo RCA con abertura de rombo 300x300 mm con cable de acero inoxidable de 8 mm de diámetro y grapa G1. Dimensión de paneles 6 x 4 m; o con resistencia superficial mínima de 45 kN/m2.	
			Mano de obra	25,90
			Maquinaria	5,43
			Resto de obra y materiales	34,83
			TOTAL PARTIDA	**66,16**
0007	02.03	ml	Suministro y colocación de Bulón. Ø =32 mm, L hasta 9 m. tipo Gewi, Incluso perforación e inyección de lechada de cemento, placa de reparto 150x 150 x 6. Incluso suministro de material y personal especializado, totalmente instalado. Diámetro de perforación 74 mm. Mediciones según documento de planos.	
			Mano de obra	33,18
			Maquinaria	13,03
			Resto de obra y materiales	39,01
			TOTAL PARTIDA	**85,22**
0008	02.04	ml	Suministro y colocación de Bulón. Ø =25 mm en la malla de triple torsión, red de cable y geomalla reforzada, L=2 m. tipo Gewi, Incluso perforación e inyección teórica de lechada de cemento, placa de reparto 150x150x6. Incluso suministro de material y personal especializado, totalmente instalado. Diámetro de perforación 42 mm.	
			Mano de obra	28,00
			Maquinaria	7,74
			Resto de obra y materiales	43,22
			TOTAL PARTIDA	**78,96**

CUADRO DE PRECIOS 2

Nº	CÓDIGO	UD	RESUMEN	IMPORTE
0009	02.05	m2	Suministro y colocación de geomanta reforzada tipo MacMat o similar. Geomanta con estructura tridimensional, a base de polipropileno y polietileno de alta densidad (HDPE), estable a los rayos UV, de 25 mm de espesor, de 10x10 mm de luz de malla y de 280 g/m² de masa superficial, elongación hasta rotura 20% y 3 N/cm² de resistencia a tracción, suministrada en rollos de 2x25 m.	
			Mano de obra	27,65
			Maquinaria	2,45
			Resto de obra y materiales	14,29
			TOTAL PARTIDA	**44,39**
0010	02.06	ml	Cable 6 mm en refuerzo de malla de triple torsión y geomalla reforzada. Incluso cosido entrelazado sobe los bulones	
			Mano de obra	7,95
			Maquinaria	2,45
			Resto de obra y materiales	3,02
			TOTAL PARTIDA	**13,42**
0011	02.07	ml	Ejecución de cuneta en coronación de talud para recoger y conducir aguas de escorrentía superficial y evitar la circulación de agua sobre frente de talud.	
			Mano de obra	38,50
			Maquinaria	11,71
			Resto de obra y materiales	44,82
			TOTAL PARTIDA	**95,03**
0012	02.08	Kg	Suministro y aplicación de resina para el relleno de grietas y fisuras en el bloque rocoso. Incluye la perforación y colocación de obturadores cuando sea necesario, inyección a baja presión, sellado superficial posterior con todos los medios auxiliares necesarios.	
			Mano de obra	15,05
			Maquinaria	14,74
			Resto de obra y materiales	18,73
			TOTAL PARTIDA	**48,52**
0013	02.09	Kg	Suministro y aplicación de lechada para el relleno de grietas y fisuras en la zona de bloques inestables. Incluye la colocación de boquillas de inyección cuando sea necesario, inyección a baja presión, sellado superficial posterior con todos los medios auxiliares necesarios.	
			Mano de obra	0,20
			Resto de obra y materiales	0,35
			TOTAL PARTIDA	**0,55**
0014	03.01	ml	Sellado de juntas existentes en el revestimiento del túnel mediante mortero de reparación compatible con el hormigón existente, aplicado tras la limpieza y saneo previo de las superficies. Incluye apertura y regularización de la junta si fuera necesario, humectación del soporte, aplicación del mortero, acabado superficial y curado, así como todos los medios auxiliares necesarios para su correcta ejecución.	
			Mano de obra	38,50
			Maquinaria	2,50
			Resto de obra y materiales	2,65
			TOTAL PARTIDA	**43,65**
0015	03.02	Kg	Suministro y aplicación de resina para el relleno de grietas y fisuras en el revestimiento del túnel rocoso. Incluye la colocación de obturadores cuando sea necesario, inyección a baja presión, sellado superficial posterior con todos los medios auxiliares necesarios.	
			Mano de obra	15,05
			Maquinaria	14,74
			Resto de obra y materiales	18,73
			TOTAL PARTIDA	**48,52**

CUADRO DE PRECIOS 2

Nº	CÓDIGO	UD	RESUMEN	IMPORTE
0016	03.03	Kg	Suministro y aplicación de lechada para el relleno de grietas y fisuras en el revestimiento del túnel. Incluye la colocación de boquillas de inyección cuando sea necesario, inyección a baja presión, sellado superficial posterior con todos los medios auxiliares necesarios.	
			Mano de obra	0,20
			Resto de obra y materiales	0,35
			TOTAL PARTIDA	**0,55**
0017	03.04	Ud	Ejecución de perforaciones mediante medios mecánicos en el revestimiento existente del túnel y en el terreno trasdós, en diámetro necesario para anclajes de 25 mm de diámetro y hasta 4 m de profundidad ejecutados en cualquier sección del tunel, incluso en clave. Incluye limpieza de los taladros y medios auxiliares.	
			Mano de obra	15,75
			Maquinaria	38,46
			Resto de obra y materiales	3,25
			TOTAL PARTIDA	**57,46**
0018	03.05	m	Suministro y colocación de pletinas metálicas de acero estructural galvanizado, de 7,00 m de longitud, destinadas al refuerzo del emboquille del túnel. de 20 mm de ancho para pletina perimetral y 10 mm de ancho para pletinas longitudinales. Incluye replanteo, manipulación, colocación, alineación y ajuste de las pletinas, así como los medios auxiliares necesarios para su correcta instalación.	
			Mano de obra	20,65
			Maquinaria	6,00
			Resto de obra y materiales	12,20
			TOTAL PARTIDA	**38,85**
0019	03.06	Ud	Suministro y colocación de varilla roscada de 16 mm de diámetro y 1 metro de longitud, de alta resistencia para la fijación de las pletinas metálicas al revestimiento del túnel, incluyendo tuercas y arandelas, así como el apriete controlado y verificación de la correcta disposición de cada elemento.	
			Mano de obra	11,24
			Maquinaria	30,28
			Resto de obra y materiales	17,48
			TOTAL PARTIDA	**59,00**
0020	03.07	m2	Red de cable de acero tipo RCA con abertura de rombo 300x300 mm con cable de acero inoxidable de 8 mm de diámetro y grapa G1. Dimensión de paneles 6 x 4 m; o con resistencia superficial mínima de 45 kN/m2.	
			Mano de obra	25,90
			Maquinaria	5,43
			Resto de obra y materiales	34,83
			TOTAL PARTIDA	**66,16**
0021	03.08	ml	Suministro e instalación de bulones de acero de Ø25 mm, colocados en perforación previa e inyectados con resina química tipo Mapefix o equivalente, incluyendo replanteo, perforación, limpieza del taladro, colocación del bulón, inyección de resina, medios auxiliares y parte proporcional de accesorios, totalmente ejecutado.	
			Mano de obra	28,70
			Maquinaria	27,88
			Resto de obra y materiales	35,30
			TOTAL PARTIDA	**91,88**

CUADRO DE PRECIOS 2

Nº	CÓDIGO	UD	RESUMEN	IMPORTE
0022	03.09	ml	Suministro, colocación y ejecución de dren tipo californiano mediante perforación en el revestimiento del túnel, colocación de tubo drenante de PVC ranurado de 1 metro de profundidad	
			Mano de obra.....	31,15
			Maquinaria.....	30,88
			Resto de obra y materiales.....	7,10
			TOTAL PARTIDA.....	**69,13**

Zaragoza, Junio de 2026

El Dr. Ingeniero de Caminos,

Canales y Puertos



Rubén Sancho Gómez-Zurdo

ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES PARA LA ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DEL ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO COMO CAMINO NATURAL, ALBA (TERUEL, ARAGÓN)

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
	CAPÍTULO 01 IMPLANTACIÓN								
01.01	**ud PUESTA Y RETIRADA DE EQUIPOS**								
	Desplazamiento e implantación de material y equipos hasta la obra.								
		5				5,00			
							5,00	1.500,00	7.500,00
01.02	**m2 DESBROCE SUPERFICIE DE TALUD**								
	Desbroce en superficie de talud por medios manuales incluso mediante trabajos verticales para posterior ejecución de trabajos. Mediciones según documento de planos.								
	Zona 1	110,41				110,41			
	Zona 2.1	499,19				499,19			
	Zona 2.2	377,03				377,03			
	Zona 3.1	133,44				133,44			
	Zona 3.2	519,49				519,49			
							1.639,56	8,64	14.165,80
01.03	**m2 SANEO SUPERFICIE DE TALUD**								
	Saneo mediante trabajos verticales de material suelto en el talud hasta tamaño máximo de 1 m con medios manuales o mecánicos ligeros. Mediciones según documento de planos.								
	Zona 1	1104,09				1.104,09			
	Zona 2.1	1247,98				1.247,98			
	Zona 2.2	754,05				754,05			
	Zona 3.1	667,18				667,18			
	Zona 3.2	1731,64				1.731,64			
							5.504,94	18,02	99.199,02
01.04	**ud PREPARACIÓN DE ACCESOS**								
	Preparación de accesos en obra para ejecución de trabajos.								
		6				6,00			
							6,00	1.250,00	7.500,00
	TOTAL CAPÍTULO 01 IMPLANTACIÓN								**128.364,82**

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
	CAPÍTULO 02 SOSTENIMIENTO TALUD								
02.01	**m2 MALLA DE TRIPLE TORSIÓN**								
	Enrejado de triple torsión con alambre galvanizado reforzado de 2,7 mm. de diámetro, de malla hexagonal 8x10-16, para protección de taludes, incluyendo piquetes de acero separados 2 m en cabecera de talud y p.p. de elementos auxiliares. Tensado de la cabecera con cable de acero de 12 mm. Despliegue de los rollos hasta la parte inferior del talud. Cosido de los bordes de cada rollo entre sí. Terminación del borde inferior mediante, cable de acero 12 mm actuando como contrapeso del conjunto. Totalmente terminado								
	Zona 1	1	833,49			833,49			
	Zona 3.1	1	667,18			667,18			
	Zona 3.2	1	1.731,64			1.731,64			
							3.232,31	20,07	64.872,46
02.02	**m2 RED DE CABLE DE ACERO**								
	Red de cable de acero tipo RCA con abertura de rombo 300x300 mm con cable de acero inoxidable de 8 mm de diámetro y grapa G1. Dimensión de paneles 6 x 4 m; o con resistencia superficial mínima de 45 kN/m2.								
	Zona 1	1	115,50			115,50			
	Zona 3.1	1	102,56			102,56			
	Zona 3.2	1	587,20			587,20			
							805,26	66,16	53.276,00
02.03	**ml BULÓN Ø32 MM. SOSTENIMIENTO**								
	Suministro y colocación de Bulón. Ø =32 mm, L hasta 9 m. tipo Gewi, Incluso perforación e inyección de lechada de cemento, placa de reparto 150x 150 x 6. Incluso suministro de material y personal especializado, totalmente instalado. Diámetro de perforación 74 mm. Mediciones según documento de planos.								
	Zona 3.2	27	9,00			243,00			
							243,00	85,22	20.708,46
02.04	**ml BULÓN PASIVO EN MALLA TT**								
	Suministro y colocación de Bulón. Ø =25 mm en la malla de triple torsión, red de cable y geomalla reforzada, L=2 m. tipo Gewi, Incluso perforación e inyección teórica de lechada de cemento, placa de reparto 150x150x6. Incluso suministro de material y personal especializado, totalmente instalado. Diámetro de perforación 42 mm.								
	Zona 1	45	2,00			90,00			
	Zona 2.1	50	2,00			100,00			
	Zona 2.2	31	2,00			62,00			
	Zona 3.1	27	2,00			54,00			
	Zona 3.2	55	2,00			110,00			
							416,00	78,96	32.847,36
02.05	**m2 GEOMANTA REFORZADA**								
	Suministro y colocación de geomanta reforzada tipo MacMat o similar. Geomanta con estructura tridimensional, a base de polipropileno y polietileno de alta densidad (HDPE), estable a los rayos UV, de 25 mm de espesor, de 10x10 mm de luz de malla y de 280 g/m² de masa superficial, elongación hasta rotura 20% y 3 N/cm² de resistencia a tracción, suministrada en rollos de 2x25 m.								
	Zona 1	270,6				270,60			
	Zona 2.1	1247,98				1.247,98			
	Zona 2.2	754,05				754,05			
							2.272,63	44,39	100.882,05
02.06	**ml CABLE Ø6 mm DE REFUERZO**								
	Cable 6 mm en refuerzo de malla de triple torsión y geomalla reforzada. Incluso cosido entrelazado sobe los bulones								
	Zona 1	485,8				485,80			
	Zona 2.1	549,11				549,11			
	Zona 2.2	331,78				331,78			
	Zona 3.1	293,56				293,56			
	Zona 3.2	761,92				761,92			
							2.422,17	13,42	32.505,52

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
02.07	**ml EJECUCIÓN CUNETA**								
	Ejecución de cuneta en coronación de talud para recoger y conducir aguas de escorrentía superficial y evitar la circulación de agua sobre frente de talud.								
	Zona 2.1	50				50,00			
	Zona 2.2	50				50,00			
							100,00	95,03	9.503,00
02.08	**Kg RESINA PARA RELLENO DE GRIETAS**								
	Suministro y aplicación de resina para el relleno de grietas y fisuras en el bloque rocoso. Incluye la perforación y colocación de obturadores cuando sea necesario, inyección a baja presión, sellado superficial posterior con todos los medios auxiliares necesarios.								
		1	50,00			50,00			
							50,00	48,52	2.426,00
02.09	**Kg LECHADA PARA RELLENO DE GRIETAS**								
	Suministro y aplicación de lechada para el relleno de grietas y fisuras en la zona de bloques inestables. Incluye la colocación de boquillas de inyección cuando sea necesario, inyección a baja presión, sellado superficial posterior con todos los medios auxiliares necesarios.								
		1	4.500,00			4.500,00			
							4.500,00	0,55	2.475,00
	TOTAL CAPÍTULO 02 SOSTENIMIENTO TALUD								**319.495,85**

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
	CAPÍTULO 03 SOSTENIMIENTO TÚNELES								
03.01	**ml SELLADO JUNTAS MORTERO**								
	Sellado de juntas existentes en el revestimiento del túnel mediante mortero de reparación compatible con el hormigón existente, aplicado tras la limpieza y saneo previo de las superficies. Incluye apertura y regularización de la junta si fuera necesario, humectación del soporte, aplicación del mortero, acabado superficial y curado, así como todos los medios auxiliares necesarios para su correcta ejecución.								
	Zona 2.1	75				75,00			
	Zona 2.2	75				75,00			
							150,00	43,65	6.547,50
03.02	**Kg RESINA PARA RELLENO DE GRIETAS**								
	Suministro y aplicación de resina para el relleno de grietas y fisuras en el revestimiento del túnel rocoso. Incluye la colocación de obturadores cuando sea necesario, inyección a baja presión, sellado superficial posterior con todos los medios auxiliares necesarios.								
	Zona 2.1	17				17,00			
	Zona 2.2	18				18,00			
							35,00	48,52	1.698,20
03.03	**Kg LECHADA PARA RELLENO DE GRIETAS**								
	Suministro y aplicación de lechada para el relleno de grietas y fisuras en el revestimiento del túnel. Incluye la colocación de boquillas de inyección cuando sea necesario, inyección a baja presión, sellado superficial posterior con todos los medios auxiliares necesarios.								
		1	5.000,00			5.000,00			
							5.000,00	0,55	2.750,00
03.04	**Ud PERFORACIÓN EN REVESTIMIENTO Y TERRENO**								
	Ejecución de perforaciones mediante medios mecánicos en el revestimiento existente del túnel y en el terreno trasdós, en diámetro necesario para anclajes de 25 mm de diámetro y hasta 4 m de profundidad ejecutados en cualquier sección del tunel, incluso en clave. Incluye limpieza de los taladros y medios auxiliares.								
	Zona 2.1	52				52,00			
	Zona 2.2	52				52,00			
							104,00	57,46	5.975,84
03.05	**m PLETINAS METÁLICAS DE REFUERZO**								
	Suministro y colocación de pletinas metálicas de acero estructural galvanizado, de 7,00 m de longitud, destinadas al refuerzo del emboquille del túnel. de 20 mm de ancho para pletina perimetral y 10 mm de ancho para pletinas longitudinales. Incluye replanteo, manipulación, colocación, alineación y ajuste de las pletinas, así como los medios auxiliares necesarios para su correcta instalación.								
	Zona 2.1	60,06				60,06			
	Zona 2.2	60,06				60,06			
							120,12	38,85	4.666,66
03.06	**Ud VARILLA ROSCADA DE ANCLAJE DE ALTA RESISTENCIA**								
	Suministro y colocación de varilla roscada de 16 mm de diámetro y 1 metro de longitud, de alta resistencia para la fijación de las pletinas metálicas al revestimiento del túnel, incluyendo tuercas y arandelas, así como el apriete controlado y verificación de la correcta disposición de cada elemento.								
	Zona 2.1	52				52,00			
	Zona 2.2	52				52,00			
							104,00	59,00	6.136,00
03.07	**m2 RED DE CABLE DE ACERO**								
	Red de cable de acero tipo RCA con abertura de rombo 300x300 mm con cable de acero inoxidable de 8 mm de diámetro y grapa G1. Dimensión de paneles 6 x 4 m; o con resistencia superficial mínima de 45 kN/m2.								
	Zona 3.1	264				264,00			
							264,00	66,16	17.466,24

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
03.08	**ml BULONES FI 25 MM INYECTADOS CON RESINA TIPO MAPEFIX**								
	Suministro e instalación de bulones de acero de Ø25 mm, colocados en perforación previa e inyectados con resina química tipo Mapefix o equivalente, incluyendo replanteo, perforación, limpieza del taladro, colocación del bulón, inyección de resina, medios auxiliares y parte proporcional de accesorios, totalmente ejecutado.								
	Zona 3.1	11	2,00			22,00			
							22,00	91,88	2.021,36
03.09	**ml DREN TIPO CALIFORNIANO**								
	Suministro, colocación y ejecución de dren tipo californiano mediante perforación en el revestimiento del túnel, colocación de tubo drenante de PVC ranurado de 1 metro de profundidad								
	Zona 2.1	4	2,00			8,00			
	Zona 2.2	4	2,00			8,00			
							16,00	69,13	1.106,08
	TOTAL CAPÍTULO 03 SOSTENIMIENTO TÚNELES								**48.367,88**

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
	CAPÍTULO 04 GESTIÓN DE RESIDUOS								
05.01	**ud GESTIÓN DE RESIDUOS**								
	Gestión de residuos procedente de lechadas de cemento de inyección, colocación de sistemas de sostenimiento, picado de bloques y movimiento de tierras necesario para excavaciones, etc.								
							1,00	5.500,00	5.500,00
	TOTAL CAPÍTULO 04 GESTIÓN DE RESIDUOS								**5.500,00**

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
	CAPÍTULO 05 SEGURIDAD Y SALUD								
06.01	ud SEGURIDAD Y SALUD								
							1,00	7.500,00	7.500,00
	TOTAL CAPÍTULO 05 SEGURIDAD Y SALUD.....								**7.500,00**
	TOTAL								**509.228,55**

ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES PARA LA ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO DEL ANTIGUO TRAZADO DEL FF.CC SANTANDER MEDITERRÁNEO COMO CAMINO NATURAL, ALBA (TERUEL, ARAGÓN)

PRESUPUESTO
BASE DE LICITACIÓN

RESUMEN DE PRESUPUESTO

CAPITULO	RESUMEN	EUROS
01	IMPLANTACIÓN	128.364,82
02	SOSTENIMIENTO TALUD	319.495,85
03	SOSTENIMIENTO TÚNELES	48.367,88
04	GESTIÓN DE RESIDUOS	5.500,00
05	SEGURIDAD Y SALUD	7.500,00
	TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL	**509.228,55**
	13,00 % Gastos generales	66.199,71
	6,00 % Beneficio industrial	30.553,71
	SUMA DE G.G. y B.I.	96.753,42
	21,00 % I.V.A.	127.256,21
	TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA	**733.238,18**
	TOTAL PRESUPUESTO GENERAL	**733.238,18**

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de SETECIENTOS TREINTA Y TRES MIL DOSCIENTOS TREINTA Y OCHO EUROS con DIECIOCHO CÉNTIMOS

Zaragoza, Junio de 2026

El Dr. Ingeniero de Caminos,
Canales y Puertos

Rubén Sancho Gómez-Zurdo