



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Estudio de inestabilidad y propuesta de solución del talud derecho de la carretera CV-425
en el P.K. 16+450, en el término municipal de Macastre (Valencia)

Presentado por

del Hoyo Cantó, Adrián

Para la obtención del

Grado de Ingeniería de Obras Públicas

Curso: 2017/2018

Fecha: 04-09-2018

Tutor: María Elvira Garrido de la Torre

Cotutor: Carlos Hidalgo Signes



Estudio de inestabilidad y propuesta de solución del talud derecho de la carretera CV-425 en el P.K. 16+450, en el término municipal de Macastre (Valencia)



CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1	3.4.2. DRENAJE.....	20
1.1. ANTECEDENTES	1	3.4.3. PROTECCIÓN SUPERFICIAL DEL TALUD.....	22
1.2. OBJETO DEL ESTUDIO	2	CAPÍTULO 4. VALORACIÓN ECONÓMICA	23
1.3. SITUACIÓN GEOGRÁFICA.....	2	CAPÍTULO 5. CONCLUSIÓN	23
1.4. METODOLOGÍA DE TRABAJO	2		
CAPÍTULO 2: GEOLOGÍA	4		
2.1. GEOMORFOLOGÍA.....	4		
2.2. GEOLOGÍA GENERAL	6		
2.2.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	6		
2.2.2. GEOLOGÍA DE DETALLE	10		
2.2.4. RIESGO DE DESLIZAMIENTO Y DESPRENDIMIENTO PUNTUAL.....	12		
CAPÍTULO 3: GEOTECNIA	13		
3.1. CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS. ESTRATIGRAFÍA LOCAL.....	13		
3.2. ESTUDIO DEL DESLIZAMIENTO.....	15		
3.3. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.....	17		
3.4. MEDIDAS A ADOPTAR.....	20		
3.4.1. SANEAMIENTO DEL TALUD	20		



CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La zona en estudio corresponde al talud derecho del P.K. 16+450 en la carretera de ámbito regional CV-425, conformada a media ladera a una altura de 374 metros sobre el nivel del mar y por un carril por sentido de circulación. El ancho de cada carril es de 4.50 metros más un pequeño arcén (no medido) que se estima no alcanzará el metro. (falta cota del talud original)

Este talud ha sufrido desprendimientos de unos 65-70 m³ de terreno. Sobre su coronación como se puede apreciar en la imagen 1 se edificaron varias



Imagen 1. Imagen de campo. (Fuente: Elaboración propia)

viviendas, generalmente como segunda residencia o vivienda vacacional, mediante el uso de técnicas tradicionales de aparejo, es decir, ladrillo de medio pie o bloques de hormigón aligerado asentado en una capa de mortero de cemento (obra de fábrica) asentadas sobre un cimiento que se presupone que es el estrato competente más superficial.



Imagen 2. Imagen de campo. (Fuente: Elaboración propia)

Como puede vislumbrarse, las edificaciones no se conservan bien, contando además varias de ellas con piscina de uso privado.

Para acceder a dichas edificaciones, se ha de ascender mediante un camino generado en el ala oriental del talud, siendo la alineación del talud NO.



Estudio de inestabilidad y propuesta de solución del talud derecho de la carretera CV-425 en el P.K. 16+450, en el término municipal de Macastre (Valencia)



Imagen 3. . Imagen de campo. (Fuente: Elaboración propia)

El mencionado camino, como se puede apreciar no está trabajado, viéndose desperfectos ocasionados por el paso de vehículos a lo largo del tiempo.

1.2. OBJETO DEL ESTUDIO

El actual estudio pretende alcanzar dos objetivos: analizar las causas de un deslizamiento en el talud derecho del P.K. 16+450 en la carretera CV-425, la estabilidad del talud resultante y las medidas de estabilización pertinente a adoptar y, para que el alumno encargado de la realización del proyecto, aplique los conocimientos obtenidos en distintas asignaturas de la titulación de Grado en Ingeniería de Obras Públicas, especialidad en Construcciones Civiles en un proyecto real, mediante la elaboración de un trabajo de fin de grado (TFG)

1.3. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

El talud derecho afectado se sitúa en el P.K. 16+450 en la carretera CV-425 cerca del municipio de Macastre, provincia de Valencia (imagen 4).

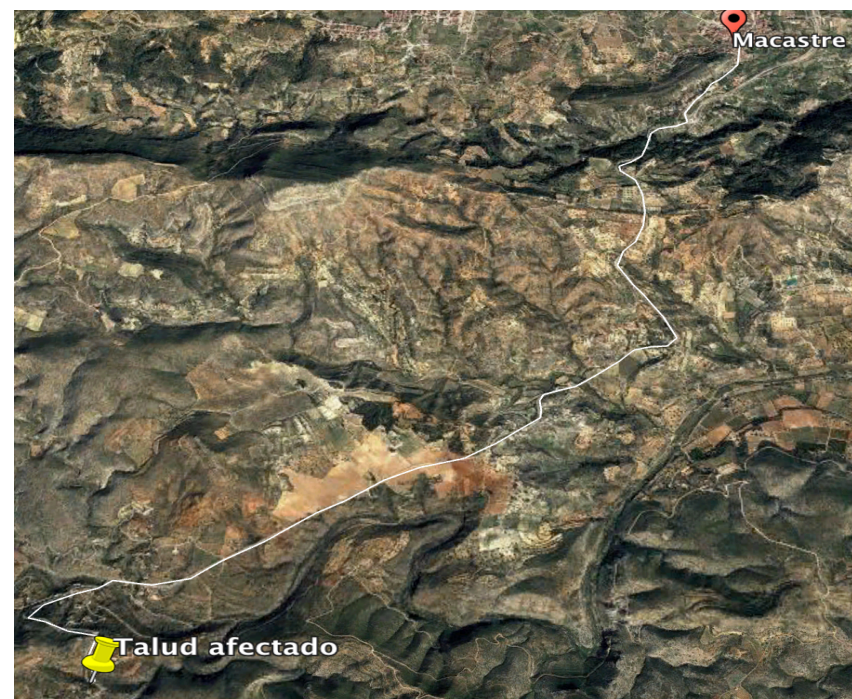


Imagen 4. . Situación geográfica. (Fuente: Google Earth)

1.4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El actual estudio se ha centrado en la caracterización geológica y geomecánica de la zona, identificación de los riesgos geológico-geotécnicos sucedidos y que podrían volver a presentarse y la caracterización de tipo de terreno que conforma el talud de estudio, análisis de estabilidad del mismo después del movimiento y recomendación de las medidas estabilizadoras en caso de ser necesarias.



Estudio de inestabilidad y propuesta de solución del talud derecho de la carretera CV-425 en el P.K. 16+450, en el término municipal de Macastre (Valencia)



A continuación se procede a la descripción del procedimiento seguido para la consecución del objetivo planteado en este trabajo. En los siguientes capítulos se tratará detenidamente cada paso así como sus distintas limitaciones y su coherencia.

Como se indica en el inicio de este punto 1.4, la consecución de este estudio comienza con la verificación geológica del terreno para su posterior caracterización geotécnica:

Se comenzará analizando la zona de estudio en un mapa convencional para pre-definir la composición geológica del terreno y ubicarlo en una edad geológica, sirviendo esto para saber que material se va a localizar una vez se decida tomar muestras a pie de obra. Posteriormente se fija una visita a la zona de afección tomando muestras de terreno, tanto en la misma zona afectada como en sus inmediaciones.

Una vez finalizados los estudios de campo, se procede en la planificación y ejecución de una campaña geotécnica, al alcance del alumno, a partir de los datos recabados en campo.

A partir de las muestras tomadas, la primera tarea es desarrollar un trabajo de laboratorio con el objeto de que el material obtenido es el mismo que el que figura en la información previa recopilada y así poder iniciar la obtención de las características del terreno afectado. Dichos testigos recopilados, se toman de puntos singulares de observación (los cuales son fotografiados).

La caracterización geotécnica se lleva a cabo en laboratorio a partir del desarrollo de distintos ensayos, tales como: inmersión estática o ensayo de Dusseault, granulometría (tamizado y sedimentación) y límites de Atterberg,

ensayo de Franklin o point-load (previo a este, ensayo por martillo de Schmidt o esclerómetro).

Una vez recabados los datos de los distintos ensayos y caracterizado el terreno, se ha procedido a la modelización del talud y sus posibles superficies de rotura mediante la utilización de la aplicación sobre estabilidad de taludes Slide 7.0 del grupo Rockscience. Esta simulación se ha llevado a cabo para estimar cuales fueron las condiciones iniciales del terreno cuando acaeció el primer deslizamiento y si sería posible un nuevo colapso tanto en situación habitual (en seco) como en el hipotético caso de que aconteciera un episodio de gota fría (nivel freático a cota de coronación), tan común en nuestra región en ciertas estaciones del año.

Para finalizar, se ha realizado la estimación, a partir de los datos obtenidos del estudio del talud mediante el programa Slide 7.0, de la necesidad o no de medidas de contención de laderas y de la implantación de métodos de drenaje, con la intención de prevenir futuros movimientos en la ladera.



CAPÍTULO 2: GEOLOGÍA

2.1. GEOMORFOLOGÍA

Según la cartografía fisiográfica de la Consellería d'Infraestructures, Territori i Medi Ambient (CITMA) el área de estudio, localizada en “Puente del Polito”, se encuentra rodeada de una gran zona de terreno montañoso, de relieve muy accidentado, correspondiente a las zonas de “Puntal de Cuerna”, “Alto de Cuerna” y “Alto de la Cierva”, quedando confinada en un espacio conformado por laderas moderadas que se extienden dirección Sudeste.

En lo referente a la ladera a analizar, situada en el Puente del Polito. Cuenta con una zona edificada (4 edificaciones) en su coronación a cota +369 metros. Su altura total es de 11 metros y se extiende en la totalidad de su cara vista aproximadamente unos 50 metros, siendo esta paralela a la línea de la calzada.

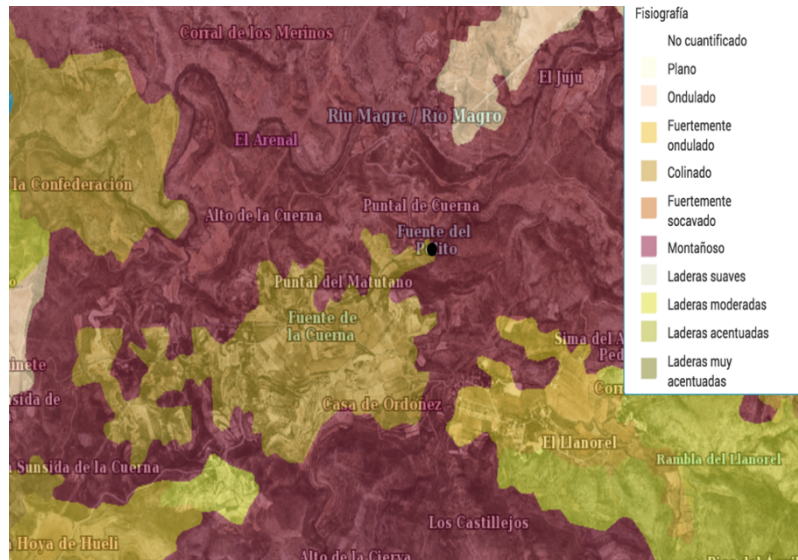


Imagen 5. Fisiografía del área de estudio. (Fuente: CITMA)



Imagen 6. Imagen de campo. (Fuente: Elaboración propia)



Estudio de inestabilidad y propuesta de solución del talud derecho de la carretera CV-425 en el P.K. 16+450, en el término municipal de Macastre (Valencia)



La carretera nombrada situada entre ambos tramos de ladera, la parte colapsada (superior) y la parte estable (inferior) tiene cota constante de +358 metros tanto en su inicio transversal pegado a la ladera superior como al final transversal pegado al inicio de la explanada de la ladera inferior.

La ladera superior cuenta con una pendiente del 46.7 % sin vegetación, lo cual dificulta el cálculo mediante el método de los ábacos de Taylor.

En cuanto a las cercanías del talud, se puede localizar una serie de terrazas fluviales en su parte oriental, las cuales además de servir para el cultivo de almendras, tienen la función de servir de guía para las precipitaciones incidentes en la zona, ya que cuentan con una desembocadura que separa ambas

edades geológicas en el área de estudio. El nombre del arroyo se desconoce, al no haberse encontrado nombre alguno en los registros, pero se supone que tiene que cargar importantes cantidades de agua, ya que, cuenta con una importante



Imagen 7. Imagen de campo. (Fuente: Elaboración propia)

arqueta (ver imagen 8) en forma de puente corto en su conexión con las terrazas fluviales.



Imagen 8. Imagen de campo. (Fuente: Elaboración propia)

En cuanto a la zona oriental del talud, localizada en la continuación de la carretera dirección SE, presenta síntomas de desplazamiento, el cual se ha intentado contener mediante muros de no más de 1 metro y con proyecciones de hormigón en plena ladera.



2.2. GEOLOGÍA GENERAL

2.2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

El área de estudio se ve representada según el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) por tres edades geológicas: el terciario, el cretácico y el cuaternario. La primera de ellas se localiza en la zona inferior de la imagen 10, haciendo frontera con el río Magro, que se representa en la imagen como una banda de materiales cuaternario. Emplazadas dos edades, el cretácico se encuentra al noroeste de la imagen 10, viéndose dividido por una falla de dirección ibérica, NW-SE.

2.2.1.1. CRETÁCICO

Representado tanto en el afloramiento dividido por la mencionada falla como por un tramo localizado en la frontera Noroeste con el estrato de

conglomerados del terciario.

Está conformado por el cretácico inferior y superior. En el estudio a realizar se espera encontrar únicamente estratos del tramo superior, por lo que, no se realizará la discretización del inferior.



Imagen 9. Imagen de campo. (Fuente: Elaboración propia)

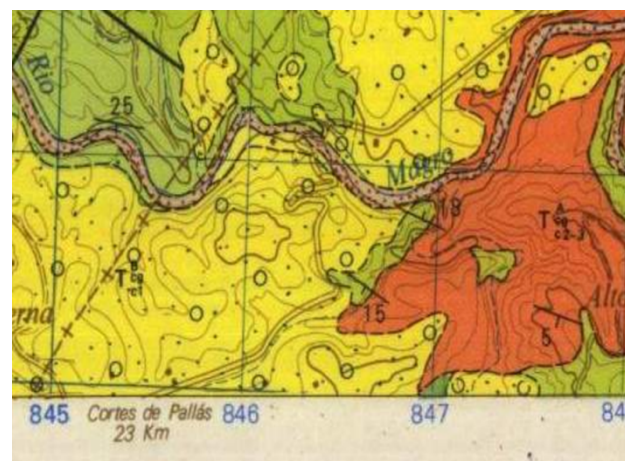


Imagen 10. Geología del área de estudio. (Fuente: IGME)

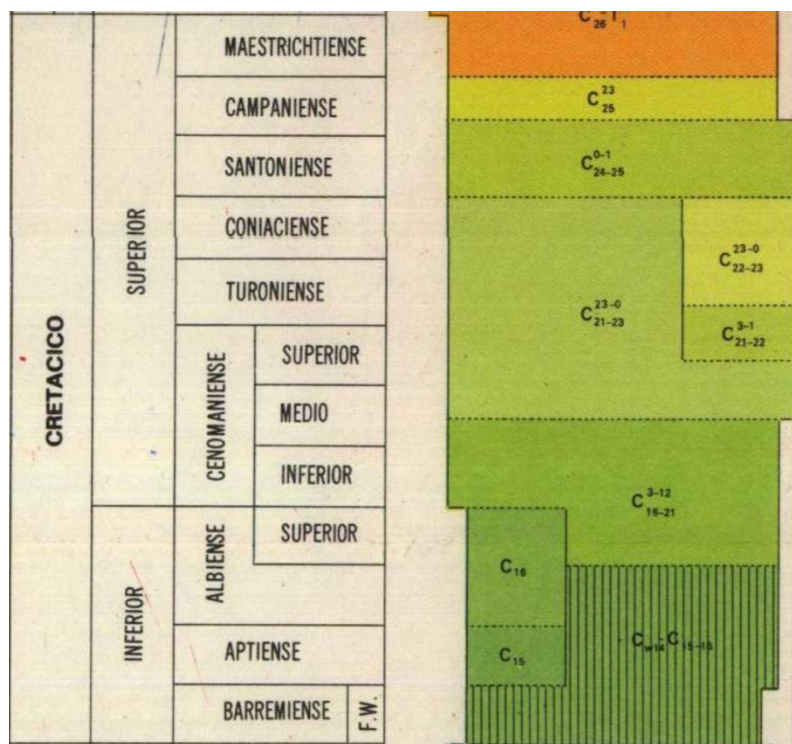


Imagen 11. Estratigrafía del Cretáceo. (Fuente: IGME)

Cretácico superior

La litología del cretácico superior dolomítico es constante y monótono, aunque en la zona de estudio concluye como proceso sedimentario continuo, en el Santoniense o base del Campaniense y al Sureste la serie prosigue con unas calizas lacustres que marcan el tránsito Maastrichtiense-Paleoceno.

Santoniense-Campaniense inferior [C₂₄₋₂₅]:

El conjunto dolomítico subyacente a esta formación evoluciona a techo hacia una facies marina más somera, de calizas micríticas con Miliólidos.

En la sección del río Buñol-II, localizado en las inmediaciones de Buñol con dirección sud-este, enlaza con el río Magro (río actuante en la zona de afección) en la circunvalación de la “Urbanización Peña Lanota” por lo que se asume que también tendrá la misma composición geológica. Dicho río está formado por 80 metros de calizas micríticas (biomicrita) dominantes, con intercalaciones de calizas dolomíticas recristalizadas. los bancos son muy definidos y gruesos (0,4 a 0,6 m., algunos de ellos con nódulos de sílex. El citado corte culmina con una potente secuencia de conglomerados calcáreos del Paleógeno Superior, plegados congruentemente con toda la serie mesozoica.

En Sierra Perenchiza y la zona Sureste, sin embargo, continúa el depósito en medio marino. La serie levantada en el primero de los puntos citados presenta, sobre las dolomías del Cenomaniense Medio-Coniaciense. la siguiente sucesión de muro a techo:

- 1) 16 m. de calizas recristalizadas y margas alternantes, con *Thaumatoparella parvovesiculifera*, *Rota/inas*, *Ostrácodos*, *Miliólidos* y *Ataxophragmiidos*.



Estudio de inestabilidad y propuesta de solución del talud derecho de la carretera CV-425 en el P.K. 16+450, en el término municipal de Macastre (Valencia)



- 2) 104 m. de calizas micríticas con abundantes Miliólidos, muy bien estratificadas. En la parte superior hay bancos con nódulos de sílex. En lámina delgada se reconocen: *Montcharmontia apenninica*, *Thaumatoparella parvovesiculifera*, *Vidalina* cf. *hispánica*, *Stomiosphaeras*, *Rotalinas* o *Discórbidos*, *Va/vulamminas*, *Terquemel/as*, *Ostrácodos*, *Chará-ceas*, *Ataxophragmiidos*, *Textuláridos*, *Miliólidos*, *Gasterópodos* y *Equinodermos*.
- 3) 80 m. de calizas micríticas marinas o brechoides, que constituyen ya probablemente el Campaniense Inferior.

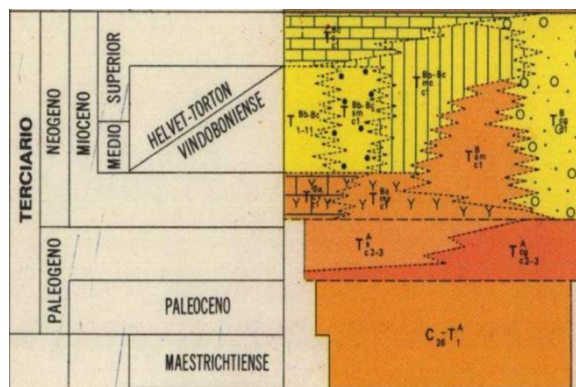
2.2.1.2. TERCIARIO

El terciario se divide en dos sub-edades: el paleógeno y el neógeno. En el estudio a realizar, según la información aportada por el IGME, se encontraran estratos de ambas.

Paleógeno (Tcg_{c2-3})

Aparentemente sin solución de continuidad, la serie estatigráfica del Maastrichtiense, en la zona del Alto de la Dehesa, se apoya en contacto conforme sobre las calizas del Satoniense.

Dividido en dos estratos distintos, es la edad predominante en el área a analizar, extendiéndose desde el Cerro Cuerna localizado en el sudoeste hasta el Alto de la Dehesa en el sudeste siguiendo la franja sud del cauce del río Magro





- 2) Conglomerados, areniscas, arcillas y limos (Tc_{c1}) Encima de las margas con yesos aparece, en tránsito gradual, una potente serie detrítica que comienza con limos y arenas sueltos con algunos niveles conglomeráticos intercalados que pasan progresivamente a areniscas y conglomerados, hasta dominar la litología típica del tramo una sucesión de bancos gruesos de conglomerados calcáreos con raros lechos de arcillas y limos rojos, que permiten distinguir la estratificación.
- 3) Calizas arenosas con potentes niveles intercalados de margas limolíticas lacustres (Tc_{c1}) En el mismo pico del Montratón se observa en su base una evolución gradual de los conglomerados calcáreos a calizas. Paquetes gruesos (8-10 m.) y masivos de estas rocas alternan con niveles más blandos de margas limúlítico-arenosas en cinco ocasiones. La potencia de este tercer tramo es de 100 metros aproximadamente.

2.2.1.3. CUATERNARIO

Los depósitos del Cuaternario aparecen ampliamente desarrollados a lo largo del cauce del río Magro.

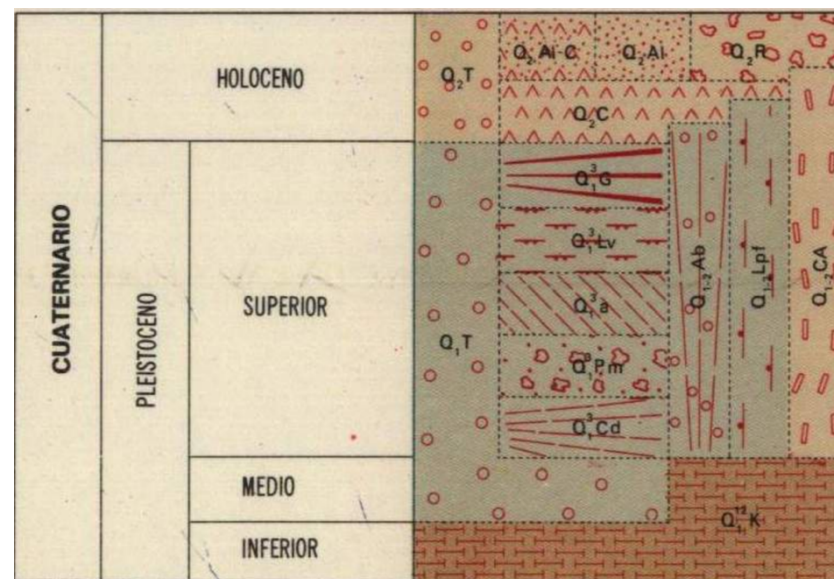


Imagen 13. Estratigrafía del Cuaternario. (Fuente: IGME)

Pleistoceno superior

Terrazas [Q_1T Y Q_2T]:

Es una sucesión de cursos fluviales que presentan una travertinización superficial originada por las aguas carbonatadas procedente de los relieves cretácicos próximos.



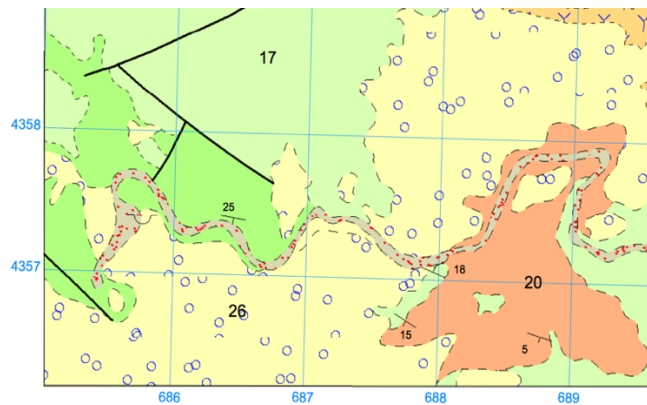
Estudio de inestabilidad y propuesta de solución del talud derecho de la carretera CV-425 en el P.K. 16+450, en el término municipal de Macastre (Valencia)



2.2.2. GEOLOGÍA DE DETALLE

Una vez definida la geología regional del área de estudio, se procede a establecer según el IGME que tipo de terreno constituye nuestra ladera de análisis.

La imagen 14 indica el tipo de material que se supone se puede encontrar en la zona de estudio, siendo este, como se puede observar en la imagen 15, el referente a los



números 17, 20 y 26, respectivamente al orden cronológico.

Imagen 14. *Geología de detalle. (Fuente: IGME)*

- 17 → Calizas micríticas con miliólidos.
- 20 → Conglomerados de cantos calcáreos. Niveles de areniscas.
- 26 → Conglomerados de cantos calcáreos redondeados.

A continuación se representará la imagen 14 más detallada:

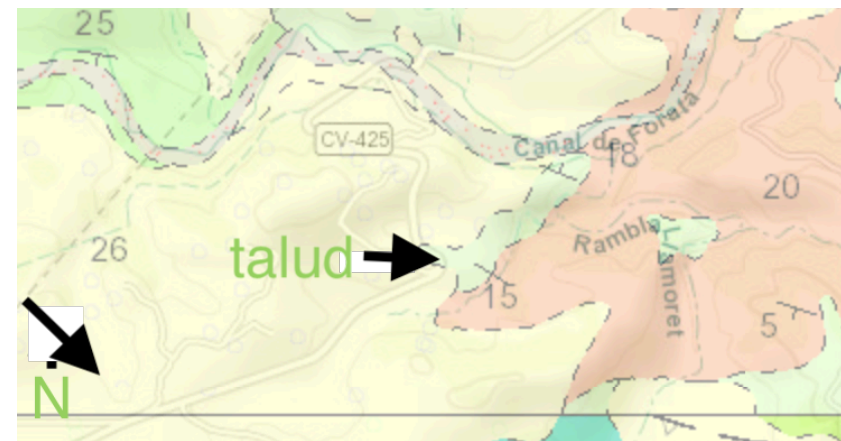


Imagen 14.1. *Geología de detalle. (Fuente: IGME)*

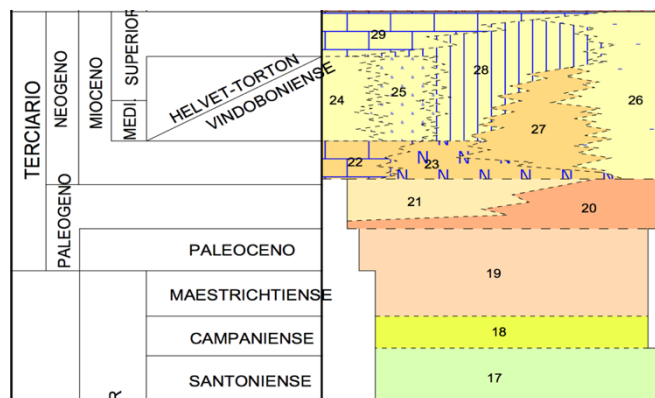


Imagen 15. *Estatigrafía de detalle. (Fuente: IGME)*

Una vez recabados todos estos datos de la bibliografía técnica disponible se programó una visita a obra con objeto de contrastar y/o completar esta información.

Como se puede observar en la imagen 15, remodelada por el autor de este trabajo, la estatigrafía real difiere de la estipulada por el IGME. Según lo visto anteriormente, la estatigrafía a esperar en la zona de estudio sería la definida en la imagen 14, teniendo que encontrarse los estratos 17, 20 y 26 respectivamente; por otro lado, lo que se descubre una vez se analiza el



Estudio de inestabilidad y propuesta de solución del talud derecho de la carretera CV-425 en el P.K. 16+450, en el término municipal de Macastre (Valencia)



terreno en laboratorio es que el estrato intermedio o número 20 (según el IGME), no está compuesto por conglomerados de cantos calcáreos con niveles de areniscas, sino por calizas lacustres con intraclastos y margas o margocalizas en la parte superior.

Una vez en obra se descubrió como se ha dicho anteriormente que lo dictado por el IGME no es real en lo concerniente al estrato intermedio, ya que, mediante la ayuda de un martillo se pudo tomar muestras del terreno tanto

del talud afectado como de la parte del talud occidental, es decir, el acceso a las edificaciones ubicadas en la coronación.

Para ello, se fue retirando la capa superficial del terreno, ya que, se consideró sucia y se obtuvo muestras en tres puntos aleatorios de la misma área del talud descrita. A simple vista, el material obtenido se pudo identificar como margas anaranjadas a lo largo del camino de acceso a las edificaciones y margas amarillas y rojas con nódulos de carbonato cálcico a lo largo de toda la base del talud, berma incluida.

Debido a lo expuesto anteriormente, se estima que el estrato que más se ajusta a la realidad es el de calizas lacustres con intraclastos y margas en la parte superior. La pregunta que surgirá será la de por qué calizas lacustres, pues eso es debido a que en la ladera enfrentada al talud de estudio se localizó un fuerte yacimiento de dicho tipo de calizas.



Imagen 16. *Estatigrafía de detalle real. (Fuente: Google Earth)*



Imagen 17. *Diferencia entre la estatigrafía de detalle real y la del IGME. (Fuente: Google Earth)*



Una vez dicho esto, se mostrará en la imagen 17 la diferencia entre la estratigrafía de detalle según lo estipulado por el IGME y lo real, es decir, lo encontrado durante el trabajo de campo.

Como puede apreciarse según lo dicho anteriormente el estrato intermedio real, no coincide con el dispuesto por el IGME, generándose lagunas estratigráficas, en el caso de estudio dos, la primera entre los estratos 17 y 19 (sustituyendo al 20) y la segunda, desde el estrato 20 hasta el 25 inclusive.

2.2.4. RIESGO DE DESLIZAMIENTO Y DESPRENDIMIENTO PUNTUAL

Los deslizamientos de terreno se asocian a suelos y los desprendimientos a bloques de roca.

Tras la visita a obra se observa que el talud se ha visto afectado por ambos, ya que, está compuesto por sendos materiales (tierra y roca)



Imagen 18 .Diferencia entre niveles. (Fuente: Elaboración propia)

Respecto al riesgo de deslizamiento y desprendimiento futuros, se han llevado a cabo estudio utilizando, como se ha mencionado anteriormente, el programa Slide 7.0, mediante el cual se ha estimado la probabilidad de rotura del terreno a partir de los parámetros resistentes del terreno obtenidos en laboratorio, mediante las muestras tomadas en la misma zona de estudio.

A partir de lo expuesto en el párrafo anterior, se plantean dos supuestos de inestabilidad: el primero, supone condiciones de carga normales sin nivel freático aparente, es decir, el propio peso del terreno, de las estructuras construidas en su cumbre (edificaciones) y de las cargas de tráfico soportadas por la carretera ubicada a pie de talud. Mientras que el segundo, añade a las condiciones anteriormente expuestas, un nivel freático a lo largo del talud cuya superficie sería la misma coronación del talud.

Dichos estudios se han realizado siguiendo los parámetros de estudio fijados por Bishop simplificado, Janbu simplificado y Fellenius/Ordinario.



CAPÍTULO 3: GEOTECNIA

3.1. CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS. ESTRATIGRAFÍA LOCAL

El siguiente capítulo se centrará en el análisis y determinación de las características de los suelos que comprenden la zona de estudio (apartado 2.2.3). Se ha determinado que estos corresponden a los estratos 17 (Roca), 19 (Suelo) y 26 según la clasificación de suelos del IGME (tabla 3.1.)

NIVEL	DESCRIPCIÓN	CARACTERIZACIÓN
T _{cg_{c1}} (1)	Margas amarillas con nódulos de carbonato cálcico	Suelo
T _{cg_{c1}} (2)	Margas rojas con nódulos de carbonato cálcico	Suelo
C ₂₄₋₂₅	Calizas con nódulos de sílex y prominente karstificación	Roca
C _{26-T₁^A}	Calizas lacustres con nódulo	Roca

Tabla 3.1. Caracterización

De las muestras caracterizadas en la tabla 3.1, tan solo las pertinentes a suelos se hayan en el talud afectado, ya que, las calizas pertenecen a la base de la ladera, por debajo de la carretera y no se han visto afectadas por el movimiento y por lo tanto, tan solo se han utilizado para la definición de la edad geológica del área de estudio.

NIVEL	HUMEDAD NATURAL (%)	PESO ESPECÍFICO		ATTERBERG			GRANULOMETRÍA								
		SECO (kN/m ³)	APARENTE (kN/m ³)	LL	LP	IP	GRAVA (%)	ARENA (%)	FINOS (%)	T10 (%)	T5 (%)	T2 (%)	1,25 (%)	T0,4 (%)	T0,08 (%)
T _{cg_{c1}} (1)	3,8	20,8	21,6	25,9	16,5	9,4	1,8	41,6	56,6	100	98,2	92,9	89,4	79,8	56,6
T _{cg_{c1}} (2)	3,8	20,8	21,6	27,8	17	10,8	0,7	39,4	59,9	100	99,3	95,1	91,3	83,3	59,9

Tabla 3.2. Ensayos de identificación de suelos.

Como se ha mencionado al inicio de este capítulo, el objetivo del mismo es conocer las características del terreno de estudio. Para ello, se comenzará con la definición de la composición del suelo (tabla 3.2), clasificándolo según su tipo de árido (fino y grueso).

Según la tabla 3.2. el porcentaje de finos correspondiente a cada una de las muestras es de 56.6 para la (1) y de 59.9 para la (2), siendo necesario ahora conocer la cantidad en arcillas y limos contenida en ellos (tabla 3.2.1.)

MT-01	Tiempo (t)	0	0,5	1	2,000	5	10	15	30
	D (mm)	2	0,05	0,036	0,026	0,017	0,012	0,01	0,007
	% Masa de las partículas	100	64,98	61,73	55,24	48,74	45,49	43,86	42,24
MT-02	Tiempo (t)	0	0,5	1	2,000	5	10	15	30
	D (mm)	2	0,05	0,036	0,026	0,017	0,012	0,01	0,007
	% Masa de las partículas	100	66,89	63,55	56,86	50,17	46,82	45,15	43,48

Tabla 3.2.1. Ensayos de identificación de suelos.

Como se decía anteriormente, ahora es necesario conocer el porcentaje de limos y arcillas existente en cada muestra. Siendo MT-01 igual a (1) y MT-02 igual a (2). Fijándose en D o diámetro relativo, se tiene dos bordes (2 mm = arcillas y (0,02 mm = limos), por lo que, en (1) el porcentaje de arcillas será de $56.6 - 31.26 = 25.34\%$, obteniéndose 31.26 a partir de la relación de 56.6% de finos con el 100% de la muestra, y el porcentaje de limos será por lo tanto, el mismo 31.26%. Siguiendo la misma metodología matemática, se obtienen los porcentajes para (2), siendo estos, 25.85% de arcillas y 34.05% de limos.

Conocidas las características de los suelos, se procede al cálculo de las mismas para las rocas. Es digno de mención que aunque se han realizado ensayos de estas muestras, no ostentan importancia en el estudio realizado,



Estudio de inestabilidad y propuesta de solución del talud derecho de la carretera CV-425 en el P.K. 16+450, en el término municipal de Macastre (Valencia)



ya que, como se ha mencionado anteriormente, constituyen una edad geológica distinta en una zona distinta a la de la ladera de estudio.

NIVEL	HUMEDAD NATURAL (%)	PESO ESPECÍFICO		ABSORCIÓN (%)	POROSIDAD	
		SECO (kN/m ³)	APARENTE (kN/m ³)		EFICAZ (%)	TOTAL (%)
C ₂₄₋₂₅	0,1	26,7	26,7	0,6	1,71	0,87
C _{26-T₁^A}	0,1	24,7	24,8	2,8	6,89	8,21

Tabla 3.3. *Ensayos de identificación de rocas.*

NIVEL	POINT LOAD
	I _{S(50)} (Mpa)
C ₂₄₋₂₅	3,18
C _{26-T₁^{A(1)}}	1,45
C _{26-T₁^{A(2)}}	1,33
C _{26-T₁^{A(3)}}	2,13

Tabla 3.4. *Ensayo de resistencia en rocas.*

Como se observa, todos los datos se corresponden. El peso específico de la muestra C26 es menos lo que se corresponde con un mayor porcentaje de absorción, una porosidad total mayor y una resistencia a compresión menor, casi del orden de la mitad que la alcanzada por la muestra C24-25.



3.2. ESTUDIO DEL DESLIZAMIENTO

Lo que se precisa analizar a continuación son las causas de la rotura y la estabilidad del talud resultante, es decir, porque se produjo el deslizamiento del talud y si se va a volver a producir en un futuro. Para ello, se precisará realizar un estudio de seguimiento de la evolución del talud hasta su rotura, para ello, a falta de documentación técnica más precisa se va a realizar un estudio de la evolución del talud mediante una aplicación informática de uso gratuito, que permite obtener imágenes históricas de cualquier punto de la superficie terrestre mediante cartografía, con base en la fotografía satelital.



Imagen 19. Talud de estudio sin rotura. (Fuente: Google Earth)

Esta primera imagen que data de 23/07/2014 no muestra ningún indicio de que se haya producido alguna inestabilidad en el talud, así que servirá como punto de referencia de cara a conocer cuando o en que franja de tiempo se produjo el deslizamiento estudiado. En ella se puede apreciar la geometría original del talud.

Al contrario que la imagen 17 del 23/07/2014, esta tomada el 21/09/2015, ya muestra una clara línea de rotura del talud, generando un marcado escarpe en el estrato de los conglomerados (fijarse en el punzón amarillo).



Imagen 20. Talud de estudio con rotura. (Fuente: Google Earth)

La franja de estudio del inicio de la inestabilidad se centrará del 23/07/2014 al 21/09/2015, por lo que, se revisarán los datos pluviométricos de ese rango de tiempo para conocer si un periodo de lluvias extremas o gota fría fue el causante.



Estudio de inestabilidad y propuesta de solución del talud derecho de la carretera CV-425 en el P.K. 16+450, en el término municipal de Macastre (Valencia)



Para corroborar si un evento de intensas precipitaciones ha sido la causa o el factor desencadenante del colapso del talud, siguiendo las fechas de las imágenes 19 y 20, se va a hacer un análisis de la pluviometría con la intención de descubrir si el agua causante del colapso del talud fue debida a un periodo de grandes lluvias o simplemente a una negligencia humana.

Gráfica y datos de precipitaciones para la Estación Seleccionada.(Datos desde Mayo-2013)

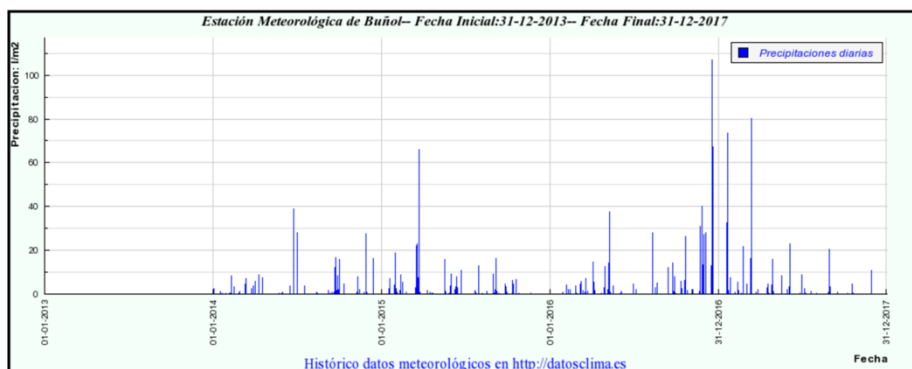


Imagen 21. Tabla de precipitaciones (Fuente: clima.es)

Observando la imagen 21, se vislumbra que en las fechas en las que se produjo el deslizamiento del talud, es decir, entre Julio del 2014 hasta Septiembre del 2015, la máxima de precipitaciones acontecida fue de 60 l/m², producida en los meses de marzo-abril en los cuales, el talud todavía está intacto, siendo entonces una cantidad insuficiente para producir el colapso del terreno. Por lo que, se puede suponer que no fueron estas las causas del deslizamiento no fueron debidas a fenómenos naturales, sino a acciones humanas.

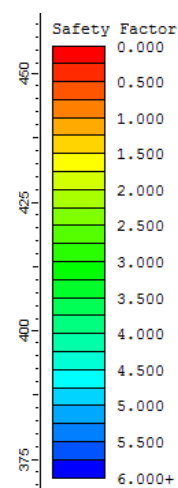


3.3. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Como se anunció en el apartado 3.2., se va a llevar a cabo un estudio mediante el uso de la teoría de la rebanada para conocer con más precisión las causas de la rotura del talud y la curva descrita por el mismo durante su deslizamiento, aplicando sus distintos métodos como son: Janbu simplificado, Fellenius/Ordinario y Bishop simplificado. Para ello, se necesitará recopilar los parámetros característicos de cada material constituyente del talud, es decir, de las margas tanto de estrato inferior como intermedio y de los conglomerados.

El programa utilizado para aplicar el método de la rebanada y sus variantes, dependiendo de cada autor, es el Slide 7.0., el cual consiste en generar una malla de puntos de inestabilidad a partir de los datos del terreno de estudio. Estos parámetros son: el ángulo de rozamiento interno del terreno, la cohesión del terreno y el peso específico del terreno (aparente y húmedo). En laboratorio se ha podido calcular el peso específico de las margas mediante parafina, siendo este de 21.6 kN/m³; por otro lado, el valor de la cohesión y del ángulo de rozamiento se han estimado basándose en experiencias pasadas y terrenos similares, optándose por una $c=20\text{kPa}$ y un $\varphi=30$ grados para las margas. En los conglomerados, en lugar de realizar el estudio utilizando los parámetros obtenidos mediante la ecuación de Hook-Brown se ha procedido a utilizar los obtenidos mediante Mohr-Coulomb ($c=15000\text{kPa}$ y $\varphi=37$ grados), ya que, salvo el peso específico todos los valores utilizados hasta ahora han sido meras estimaciones empíricas basadas en la experiencia y que en un futuro, dichos conglomerados serán reemplazados por una carga uniforme de valor variable, la cual reflejará en términos geotécnicos con mayor eficacia la actuación del macizo rocoso.

A continuación, se mostrarán los valores de rotura y sus respectivas curvas, pero puesto que algunas de las características se han tomado de la bibliografía, se hace necesario realizar un análisis de sensibilidad de los valores que se han adoptado.



En esta imagen se ve el criterio de color que la aplicación adopta para representar el rango de coeficientes de seguridad propios de cada una de las infinitas superficies de deslizamiento posibles en la malla de valores elegidos. La zona roja corresponde a valores de F (factor de seguridad) para los cuales el talud rompe, la zona naranja hasta 1.5 son valores a partir de los cuales no es permitida la construcción en laderas retaludadas (caso de estudio), siendo el mínimo 1.2 y a partir de 1.5 (tonos amarillos, verdes y azules) corresponden a valores de coeficientes de seguridad superiores al valor mínimo exigido para taludes de nueva ejecución.

Imagen 22.
Indicador de inestabilidad

Conociendo los rangos de estabilidad/inestabilidad, se va a proceder al estudio de los mismos con y sin nivel freático, es decir, con o sin nivel de agua existente. Se va a adoptar el estudio del talud original a partir de Janbu, Bishop y Fellenius, por lo que, cuando exista NF (nivel freático) se supondrá en cota de coronación (caso más desfavorable).



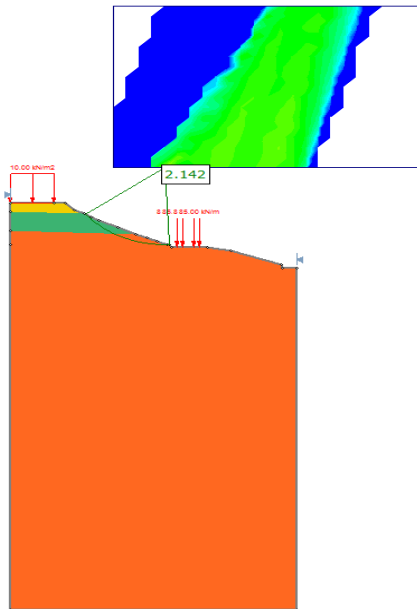
Estudio de inestabilidad y propuesta de solución del talud derecho de la carretera CV-425 en el P.K. 16+450, en el término municipal de Macastre (Valencia)



En todos los casos, puesto que la rotura se ha producido en las margas, se han modelizado los conglomerados como una sobrecarga en coronación del talud, equivalente al peso de los mismos.

- Situación sin NF

. Janbu simplificado \rightarrow 2.142



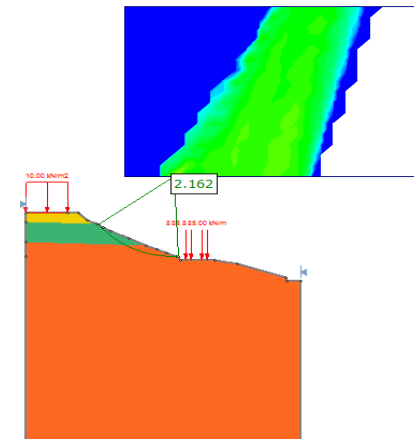
En esta situación, se aprecia el talud original y un rectángulo. El rectángulo representa una malla en la cual se encuentran todos los puntos de los centros de los círculos de rotura del talud.

Y en el talud de se representan las cargas de los edificios (c.distribuida) y del tráfico (c.puntual).

En este caso, el valor más bajo de F es de 2.142, lo que indica que en condiciones normales, el talud no debería sufrir ninguna inestabilidad.

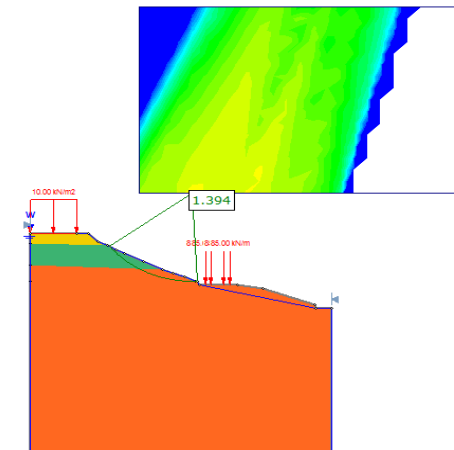
. Bishop simplificado \rightarrow 2.162

. Fellenius/Ordinario \rightarrow 2.162



- Situación con NF

. Janbu simplificado \rightarrow 1.394

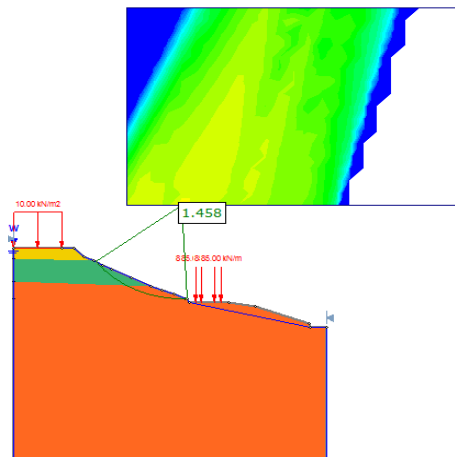




Estudio de inestabilidad y propuesta de solución del talud derecho de la carretera CV-425 en el P.K. 16+450, en el término municipal de Macastre (Valencia)

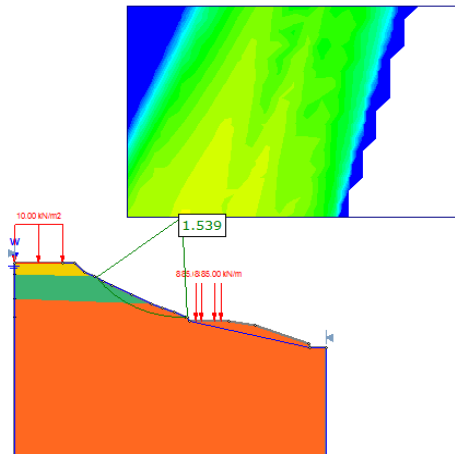


. Bishop simplificado → 1.458



ser causa de inestabilidad. Como se mencionó, para perfilar las causas de la rotura se acudirá al análisis de sensibilidad de parámetros.

. Fellenius/Ordinario → 1.539



Como se observa, la situación con nivel freático mediante el método de Janbu simplificado se acerca a la unidad rebajando el factor de seguridad frente a deslizamiento de 1.5, no sería suficiente para rotura, ya que, como se ha dicho el mínimo en desmontes retaludados es de 1.2, pero ya podría



3.4. MEDIDAS A ADOPTAR

Aunque se ha visto que en condiciones de terreno húmedo no se va a volver a producir el colapso del talud, para disminuir la probabilidad de que se produzca este fenómeno en el futuro, en este apartado se detallan que medidas se pueden adoptar para evitar que se produzcan de nuevo una inestabilidad en este talud.

3.4.1. SANEAMIENTO DEL TALUD

Antes de llevar a cabo alguna medida de estabilización o drenaje, se tendrá que limpiar o sanear toda la superficie del talud, es decir, la limpieza del frente del talud de vegetación inerte o que ya no cumple con su objetivo de evitar la erosión superficial, y saneamiento del estrato de conglomerados para evitar derrumbamientos de rocas cabalgueras (rocas descalzadas en su base y que oscilan sobre un eje localizado fuera de su plano de equilibrio). En obra se puede ver que los residuos generados en el previo saneamiento (no completo) se removieron y emplazaron en el terraplén inferior, en este



*Imagen 23. Vista frontal del talud
(Fuente: Elaboración propia)*

caso, se realizará la misma operación al como se puede ver en la imagen 23, ya que, los metros cúbicos estimados (unos 5-6 m³) no son excesivos.

3.4.2. DRENAJE

Aunque según se ha explicado anteriormente, en este caso, el agua de escorrentía no parece ser la causante del deslizamiento del talud, se hace necesario tomar medidas con respecto a esto habida cuenta de los eventos históricos de intensas lluvias que suelen darse en la Comunidad Valenciana (= gota fría).

Como elemento de drenaje, se va a disponer de una cuneta de coronación o cuneta de guarda (cuneta revestida) que recoja la escorrentía procedente de su cuenca pluvial, definida en la imagen. La cuneta debe comprender todo el perímetro del desmote, es decir, la comprensión total del sentido longitudinal de la coronación del talud.

Según lo dispuesto en la IC 5.2- Drenaje Superficial “siempre que sea posible, el borde de la cuneta de guarda más próximo a la carretera, distará de uno y dos metros (1-2 m) del contorno del talud. Cuando se dispongan mallas de guiado u otros elementos de contención de desprendimientos, las barras de anclaje y demás elementos necesarios para su implantación, deben disponerse entre la cuneta de guarda y la arista que define el contorno del talud”.

En el caso representado, no se dispondrán medidas de contención cercanas a la cuneta, en su lugar, se va a proceder a la plantación de arbustos y en su defecto árboles autóctonos sobre una berma generada previamente a partir de los residuos de tierra sobrantes del saneo junto con la ya existente previamente, con el objetivo de coser mediante as raíces el pie del talud y evitar deslizamientos localizados debido a fallos no previstos.



Estudio de inestabilidad y propuesta de solución del talud derecho de la carretera CV-425 en el P.K. 16+450, en el término municipal de Macastre (Valencia)

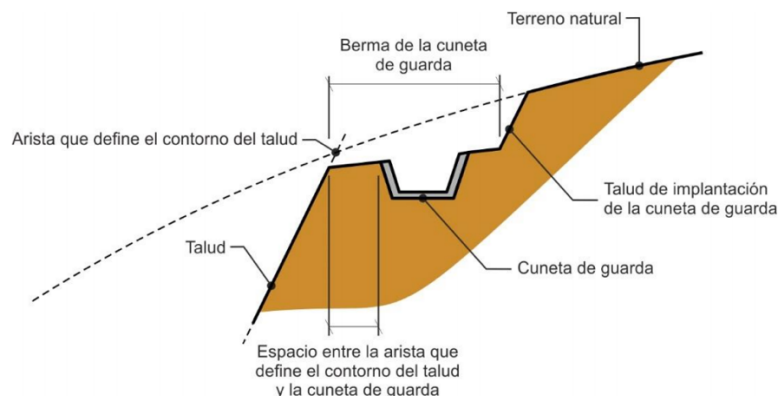


Imagen 24. **Cuneta de guarda (Fuente: IC 5.2- Drenaje superficial)**

También de la IC 5.2 se obtiene la imagen 24, con la cual se define gráficamente la forma y disposición de la cuneta de coronación.

La cuneta de guarda se tiene que ejecutar antes que la excavación del desmonte, esto supone un hándicap al estar el desmonte ya ejecutado y el talud definido.

Lo dicho anteriormente, se refleja en la imagen 23, donde teniendo en cuenta que el estrato superior es lo suficientemente resistente como para soportar edificaciones, se podrá hacer acceder la maquinaria o mano de obra necesaria para la ejecución de dicha cuneta por el camino adyacente a dicho talud (descrito en la imagen 3) y operar desde la coronación misma.

Las dimensiones de la cuneta de guarda con forma triangular serán de 0,5 metros de ancho por 0,5-0,2 metros de canto, prolongándose a lo largo de todo el talud, es decir, 50 metros de largo aproximadamente; siendo el terreno removido o vaciado, dispuesto en el pie del talud e incrementando el tamaño transversal de la berma actual (1,5 m de alto por 0,5 metro de ancho).

En cuanto a su carácter geotécnico, la pendiente de dicho talud es del 40 % aproximadamente, siendo menos en la coronación, por lo que, no hará falta disponer de medios de disipación de energía en el total longitudinal del talud pero si en el punto de desagüe, con tal de evitar velocidades excesivas de la corriente de agua en su punto de vertido al exterior.

Como se puede ver en la imagen 24 obtenida de la IC 5.2- Drenaje Superficial, el desagüe de la cuneta coronación se puede proyectar a:

- La cuneta de pie de desmonte.
- La cuneta de pie de un relleno contiguo.
- Cauce o terreno natural.
- Una obra de drenaje transversal.



Imagen 25. **Dirección del flujo (Fuente: Google Earth)**

Tomando como ejemplo la imagen 25 y teniendo en cuenta que en las inmediaciones de la zona de estudio existen terrazas fluviales se podrá o deberá dotar de cierta inclinación a dicha cuneta de agua, procediéndose a la aplicación de una pendiente del 1 o 2 por cien, para evacuar dicha agua



Estudio de inestabilidad y propuesta de solución del talud derecho de la carretera CV-425 en el P.K. 16+450, en el término municipal de Macastre (Valencia)



fluvial en las terrazas nombradas, evitando así la posible evacuación en el camino de acceso a las residencias localizadas en su cima. Esto, podría producir que los medios de drenaje situados al final de las terrazas no estuviesen calculados para dicho incremento de caudal (por mínimo que sea), esto se desprecia al conocerse que el arroyo donde evacuan dichas aguas no transporta caudal alguno.

3.4.3. PROTECCIÓN SUPERFICIAL DEL TALUD

Como se ha citado y como se puede observar en los resultados obtenidos en el análisis de estabilidad global del talud (apartado 3.3), no es necesaria la utilización de algún método de anclaje del talud, es decir, el uso de bulones. De otro modo, como se menciona a lo largo del punto 3.4.1 si que será necesaria la planta de arbustos o árboles autóctonos en la berma de pie de talud, ya sean “el majuelo, las zarzas e incluso el rosal silvestre”, debido a que, árboles de gran porte podrían dificultar la conducción debido al gran tamaño de sus copas.

Como elemento de prevención contra la erosión superficial, se dispondrá de hidrosiembra en toda la superficie libre del talud. Con esto se pretende evitar que los conglomerados del estrato superior se descalcen y se precipiten contra la carretera adyacente. Las especies a sembrar o plantar debido a las características climáticas de la zona de actuación podrán ser: “*Brachypodium retusum*, *Phagnalon saxatile*, *Sedum album*, *Anthyllis vulneraria*, *Paronychia argétea* y *Helianthemum apenninum*”.



Estudio de inestabilidad y propuesta de solución del talud derecho de la carretera CV-425 en el P.K. 16+450, en el término municipal de Macastre (Valencia)



CAPÍTULO 4. VALORACIÓN ECONÓMICA

4.- VALORACIÓN GENERAL DE LA SOBRES

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

1 REEXCAVACIÓN	553,75 €
2 DRENAJE	1.002,00 €
3 MEDIDAS DE PROTECCIÓN DE TALUDES	22.884,00 €
4 RESTAURACIÓN DEL PAISAJE	1.080,00 €

Total PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL: 25.519,75 €

El Presupuesto de Ejecución Material asciende a la cantidad de:
**VEINTICINCO MIL QUINIENTOS DIECINUEVE
 EUROS Y SETENTA Y CINCO CENTIMOS**

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	25.519,75 €
GASTOS GENERALES (13%).....	3.317,57 €
BENEFICIO INDUSTRIAL (6%).....	1.531,19 €

Total PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA: 30.368,50 €

El Presupuesto de Ejecución por Contrata asciende a la cantidad de:
**TREINTA MIL TRESCIENTOS SESENTA Y OCHO
 EUROS Y CINCUENTA CENTIMOS**

PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	30.368,50 €
I.V.A. (21%)	6.377,39 €

Total PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN: 36.745,89 €

El Presupuesto Base de Licitación asciende a la cantidad de:
**TREINTA Y SEIS MIL SETECIENTOS CUARENTA Y CINCO EUROS
 EUROS Y OCHENTA Y NUEVE CENTIMOS**

CAPÍTULO 5. CONCLUSIÓN

Este trabajo se ha basado en el estudio y análisis de las causas de la inestabilidad generada en el talud derecho del P.K. 16+450 en la carretera de ámbito regional CV-425 localizado en el municipio de Macastre (Valencia). Una vez estudiada la zona para su mejor entendimiento y corroborar que coincidía con lo estipulado en registros estatales (IGME), realizados los ensayos de caracterización de materiales pertinentes y los estudios/cálculos de inestabilidad del talud afectado, se concluye que es muy baja la probabilidad de que se produzca un nuevo deslizamiento de dicho talud debido a causas intrínsecas del mismo.

Puesto que el talud estudiado está constituido de dos tipos de materiales, muy distintos en cuanto a dureza y durabilidad: margas rojizas en la base y conglomerados terciarios en coronación, si que podría acontecer una inestabilidad producida por factores como la erosión diferencial, debido a la meteorización propias del viento y la lluvia, se propone la implantación de medidas de protección como la hidrosiembra a lo largo del talud y la construcción de una cuneta de guarda en su coronación, una berma en el talud, así como la posibilidad de plantar arbustos de mediano tamaño en la berma de pie de talud para evitar que posibles desprendimientos afecten al vial de la carretera CV-425 y/o afianzar la berma a partir de las raíces de dichos arbustos.

Como se ha mencionado, es muy baja la probabilidad de que se produzca un nuevo deslizamiento, al no haberse encontrado ninguna causa natural que aconteciese dicha inestabilidad, siendo su único acelerante un exceso de agua, sino que al contrario, debido al análisis de la pluviometría y al seguimiento de la evolución del colapso, se puede llegar a concluir que la causa del mismo fue debida a la rotura o desagüe de alguna piscina



Estudio de inestabilidad y propuesta de solución del talud derecho de la carretera CV-425 en el P.K. 16+450, en el término municipal de Macastre (Valencia)



colindante, ya que, existen viviendas en la coronación del mismo talud que cuentan con dichos medios de almacenamiento de agua. Esta hipótesis se queda en eso, debido a la no posible verificación en persona ante la negativa de los propietarios de las nombradas viviendas a permitir dicha verificación o estudio en su propiedad.

Para finalizar esta conclusión se remarca que las medidas tomadas para evitar la erosión residual y para generar un sistema de evacuación de aguas en el talud, además del perfilado, la construcción de una nueva berma y saneado del mismo, asciende a la cuantía de treinta y seis mil setecientos cuarenta y cinco euros y ochenta y nueve céntimos.

Con esto se considera que se ha alcanzado los objetivos planteados al inicio de este trabajo. Y para que así conste lo firma el autor.

Valencia,

Agosto de 2018

Firma: Adrián del Hoyo Cantó