

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Grado en Ingeniería de Obras Públicas



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



TRABAJO FINAL DE GRADO

“Estudio de la inestabilidad y propuesta de solución de los taludes de la carretera CV-615 en el PK 5+000, en el término municipal de Carrícola (Valencia).”

Autor: *Soler Llopis, Andreu*

Tutor/a: *Garrido De La Torre, M^a Elvira*

Cotutor: *Hidalgo Signes, Carlos*

Valencia, Septiembre de 2017

Documentos que compone el trabajo

Memoria y anejos

1. Memoria

a. Anejo 1. Análisis de la inestabilidad.

b. Anejo 2. Cálculo de empujes de tierras y diseño del muro.

c. Anejo 3. Planos.

d. Anejo 4. Documentación gráfica.

e. Anejo 5. Valoración Económica.

2. Bibliografía

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Grado en Ingeniería de Obras Públicas



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



TRABAJO FINAL DE GRADO

“Estudio de la inestabilidad y propuesta de solución de los taludes de la carretera CV-615 en el PK 5+000, en el término municipal de Carrícola (Valencia).”

MEMORIA

***Autor:** Soler Llopis Andreu*

Valencia, Septiembre de 2017

Índice

1	Memoria.....	3
1.1	Introducción.....	3
1.1.1	Antecedentes.....	4
1.1.2	Situación geográfica.....	6
1.1.3	Objeto.....	8
1.2	Estudios previos.....	9
1.2.1	Topografía.....	9
1.2.2	Documentación fotográfica.....	9
1.2.3	Climatología e hidrología.....	9
1.2.4	Análisis del Tráfico en la zona.....	15
1.3	Marco Geológico.....	16
1.3.1	Geomorfología.....	16
1.3.2	Geología local.....	18
1.3.3	Riesgos geológicos.....	22
1.4	Marco Geotécnico.....	23
1.4.1	Clasificación de los suelos.....	23
1.4.2	Resistencia al corte de los suelos.....	24
1.4.3	Trabajos realizados.....	24
1.5	Análisis de Estabilidad de taludes.....	30
1.5.1	Revisión teórica previa.....	30
1.5.2	Métodos de equilibrio límite.....	30
1.5.3	Tipos de rotura.....	32
1.5.4	Criterios para definir el factor de seguridad.....	38
1.5.5	Resultados de los cálculos realizados.....	39
1.6	Estudio de soluciones.....	42
1.6.1	Medidas correctoras.....	42
1.6.2	Revisión de alternativas viables.....	42
1.6.3	Medidas temporales pasivas.....	44
1.6.4	Medidas temporales activas.....	45
1.6.5	Medidas permanentes pasivas.....	52
1.7	Descripción de la solución adoptada.....	56
1.7.1	Retirada de arbolado y vegetación.....	57
1.7.2	Excavación del talud inferior.....	57
1.7.3	Ejecución de muro de escollera.....	58
1.7.4	Reexcavación.....	60
1.7.5	Colocación de una Malla de triple torsión y Hormigon proyectado.....	60
1.7.6	Drenaje superficial.....	60
1.8	Resumen de la valoración económica.....	61
1.9	Conclusiones.....	62
2	Anejos	
	Anejo 1. Análisis de la inestabilidad	
	Anejo 2. Cálculo de empujes de tierras y Diseño muro en ménsula	
	Anejo 3. Planos	
	Anejo 4. Documentación gráfica	
	Anejo 5. Valoración Económica	
3	Bibliografía	

1 Memoria

1.1 Introducción

La carretera objeto de este documento se trata de la CV-615, en el tramo que va desde la localidad de Atzeneta de Albaida hasta Ráfol de Salem y comunica estos municipios entre sí atravesando las poblaciones de Carrícola, Otos y Beniatjar entre otros.

Su trazado discurre bajo la vertiente de la sierra del Benicadell, siendo accesible por el Norte aproximadamente en paralelo, la carretera autonómica CV-60 a unos 5 km.

En esta geografía del Este de Onteniente, los residentes de las poblaciones, (todas ellas de pequeño tamaño), son los principales usuarios de esta vía de comunicación fundamental para realizar las funciones y actividades de la zona que se basan en la agricultura sostenible, el turismo medioambiental, el comercio y los desplazamientos laborales o escolares.

Las características geométricas de la CV-615 corresponden a la de una carretera convencional de montaña que discurre por una orografía pronunciada, con sucesión de curvas de pequeño radio entre tramos rectos no muy largos. La sección tipo está compuesta por una calzada de 6,00 m de doble circulación, con un pequeño arcén interior de 0,5 m que sirve de recogida de aguas sin separación de carriles.

En el lugar, la sección tipo es a media ladera, con desmontes y terraplenes de cierta altura. Está formada por una pendiente transversal del 2% en toda la anchura de calzada hacia el interior, junto a ella hay un muro de hormigón a pie del talud de desmonte, mientras que la pendiente longitudinal media de la carretera es de un 1,5%.

Además, a la altura del PK 4+900 se encuentra un elemento de drenaje transversal tipo tajea de dimensiones 1x1x1 m, que actualmente no está en servicio.

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

Cerca del PK 5+000 (a una distancia de 1 km de Carrícola en dirección a Beniatjar) se dispone en el margen derecho del desmonte de entre 10 y 12 m de altura y un área de material de unos 700 m². Mientras que en el margen izquierdo, hay un terraplén de 12 metros aproximadamente constante en su longitud y un área de material de 500 m².

1.1.1 Antecedentes

Tras producirse las últimas precipitaciones que afectó a la provincia de Valencia en el pasado mes de diciembre de 2016, muchas carreteras de la red de Diputación de Valencia, sufrieron patologías e imperfectos en las propias calzadas, en sus taludes así como desprendimientos de rocas, deslizamientos de laderas y coladas de barro debido en la mayoría de los casos a la presencia de agua que afecta a estas estructuras de contención. Entre ellas se encuentra la CV-615.

El día 19 de diciembre de 2016 se produjo el deslizamiento de una parte de la ladera del margen derecho sobre la carretera entre los Pk 4+975 y Pk 5+025 como consecuencia del deslizamiento se obstruyó la calzada quedando cortada la carretera e impidiendo las comunicaciones directas entre las poblaciones de Carrícola y Beniatjar ya que una gran cantidad de material se acumuló sobre la plataforma de la vía.



Figura 1. Situación del deslizamiento del talud sobre la CV-615.

Tras una inspección de detalle de la zona se detectó que, las mencionadas lluvias además de causar la inestabilidad de la ladera del

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

margen derecho sobre la carretera, se produjeron fuertes erosiones y surcos sobre el terraplén del margen izquierdo bajo la carretera, como consecuencia de quedar obstruida la calzada e impedir que se pudiese evacuar el agua por la misma de forma que la carretera fue desbordada por el flujo de agua y material que arrastraba.

Además se observa una antigua tajea descalzada que se encontraba bajo la carretera así como otros numerosos daños en una longitud aproximada de 50 metros. No solo fue la calzada la afectada también se produjeron daños en las propiedades colindantes por el arrastre de material y arbolado de la zona.



Figura 2. Situación posterior al deslizamiento del talud sobre la CV-615.

Estos daños obligaron a limitar el tráfico por esta zona disminuyendo la sección de paso de la calzada para separarlo del borde del terraplén, por lo que se dificulta la circulación en una carretera ya de por sí estrecha.

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)



Figura 3. Situación del deslizamiento del talud bajo la CV-615.

El problema planteado es necesario solucionarse en el periodo más breve posible puesto que el material que compone la sección transversal en ese punto es muy inestable y sensible a la humedad, añadiendo que ha perdido la capa vegetal de cobertura quedando expuesto a otro posible deslizamiento de material con el consiguiente corte de carretera o aún peor, a un aumento en las erosiones del terraplén que pueden llegar a producir un colapso de la vía.

De hecho, tras el temporal de nieve y lluvia de los días 18 al 20 de Enero se produjeron nuevos episodios de pequeños desprendimientos y corrimientos de tierra que afectaron al ya dañado terraplén.

1.1.2 Situación geográfica

La figura 1 esquematiza la ubicación del municipio de Carrícola, un municipio de la Comunidad Valenciana, España. Perteneciente a la provincia de Valencia, en la comarca de la Vall d'Albaida.

Es una de las comarcas más industrializadas, con una importante tradición textil, aunque la presencia de las actividades agrícolas y ganaderas es notable. También se observa cada vez más un aumento del sector terciario como el turismo.

Esta población se encuentra a 14,8 km de la capital comarcal Ontinyent y a 86,3 km de Valencia, poseyendo el término municipal una superficie de 4.59 Km² y encontrándose a 425 msnm.

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

Con respecto a las infraestructuras de transporte, cabe destacar que la entrada por el oeste hacia Atzeneta d'Albaida la tenemos por la CV-40 en forma de autovía atravesando las poblaciones de Aielo de Malferit, Ontinyent y Agullent entre otras y uniéndose a la N-340 camino de Alcoi.

De la CV-40 parte la CV-60, que nos acerca a los municipios del norte desde Alfarrasí hacia Montaverner, Castelló de Rugat y posteriormente a la vecina comarca de La Safor.

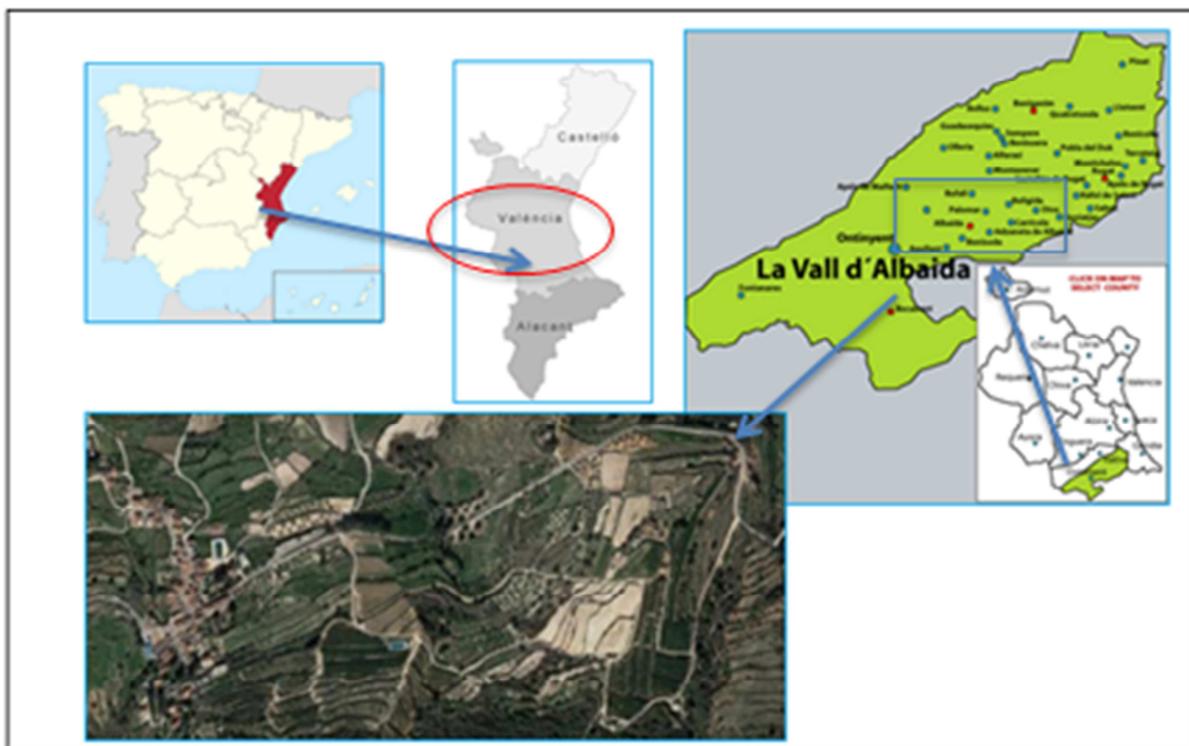


Figura 4. Localización geográfica del tramo a estudiar.

Los taludes que se han deslizado se encuentran en sentido creciente de los puntos kilométricos entre el Pk 4+985 al Pk 5+025

El talud de la margen izquierda se sitúa entre el Pk 4+985 y Pk 5+015 mientras que la margen derecha está posicionada en los Pk 5+000 y Pk 5+025.

Por otro lado, a la altura del Pk 4+900 existe el elemento de drenaje transversal tipo tajea de dimensiones 1x1x1 m, que actualmente no está en servicio.

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

Las coordenadas UTM del Pk 5+000 de la carretera objeto de estudio son 720.334; 4.302.347 y la longitud total de las obras es de unos 40 m referenciados desde este punto.

La vegetación boscosa de los montes de la Sierra de la zona y del barranco de la Font Freda, está formada por el pino carrasco y el rodeno y entre los matorrales abundan la aliaga, murta, romero, tomillo, etc.

1.1.3 Objeto

Este Trabajo Final de Grado consiste en un estudio de la estabilidad de los taludes existentes, que abarca desde una realización de visita a la zona de estudio, obtención de información fotográfica, topográfica y geotécnica de la ubicación, descripción de la geología, geomorfología, climatología e hidrología del lugar, mención de medidas correctoras útiles hasta realización del análisis de estabilidad, algunos cálculos de tres soluciones propuestas de obras de sostenimiento de taludes con descripciones gráficas y una valoración económica de las actuaciones que se consideran.

Todo ello para llevar a cabo la estabilización de la ladera entre el Pk 4+985 y el Pk 5+025 de ambos márgenes en la CV-615, con el propósito de mejorar la seguridad vial siguiendo un compromiso técnico, económico y ambiental viable. Pues se encuentra el tramo en riesgo geológico por la alta probabilidad de deslizamiento.

Es necesario ejecutar una serie de medidas correctoras en los taludes, con el fin de minimizar las consecuencias de posibles movimientos de los taludes existentes en el tramo afectado, ante los más que probables episodios de lluvias intensas en el futuro similares a las ocurridas, y con objeto de reconstruir los taludes afectados por el deslizamiento actual.

1.2 Estudios previos

Para la redacción del presente estudio ha sido necesario tener una recopilación de información y realizar unos análisis que no van relacionados directamente con el objetivo del estudio pero si le afecta de forma indirecta, y por tanto conviene tener como datos adicionales en cuenta para visualizar y entender con mejor claridad toda la problemática.

1.2.1 Topografía.

Se ha complementado con los levantamientos topográficos proporcionados por la Dirección de Carreteras, de Diputación de Valencia.

El levantamiento realizado, se puede observar en el plano **“Situación en planta”**, del Anejo N°3 **“Planos”**.

1.2.2 Documentación fotográfica.

Con el fin de conseguir una mejor percepción del estado anterior y actual de lo ocurrido en el tramo de la CV-615, se ha realizado un reportaje fotográfico.

Dicho reportaje se puede observar en el documento **“Reportaje Fotográfico”**, del Anejo N° 4.

1.2.3 Climatología e hidrología

Para la caracterización climática del ámbito territorial estudiado, se han utilizado las observaciones de la estación de la AVAMET situada en Otos cuyos datos son representativos del ámbito mencionado.

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

Localització	
Clasificación	Estació associada a AVAMET
Municipio	Otos
Ubicación	Ombria del Benicadell
Comarca	la Vall d'Albaida
Provincia	València
Posición geográfica	38° 50' 33.36" N, 00° 25' 58.44" W
Altitud (sobre el mar)	465 m

Figura 5. Datos característicos de la estación. Fuente AVAMET.

Del análisis pluviométrico se concluye que la distribución anual de precipitaciones alcanza un claro máximo otoñal (principalmente al mes de Diciembre) que constituye el grueso de los aportes hídricos. Además de este aporte, la estación primaveral en conjunto también representa un importante aporte aunque de menor magnitud.

Entre ambos aportes principales aparece el periodo de sequía estival. Se trata por tanto de un clima Semiárido con un poco de superávit en invierno. Los valores alcanzados por los índices de continentalidad son bajos por la escasa influencia que ejerce las brisas marinas.

El clima genérico de toda la comarca de la Vall d'Albaida, a la que pertenecen los términos municipales de Carrícola y Otos, es de tipo mediterráneo-levantino caracterizándose por cambios meteorológicos que en ocasiones han presentado grandes irregularidades interanuales, como inesperadas olas de frío, heladas, fuertes lluvias torrenciales y largos periodos de sequía.

Aunque su clima es netamente mediterráneo, la altitud, topografía y orientación lo hacen más extremos. Los inviernos son menos suaves que en la comarca de La Safor, por quedar medio cerrados los vientos que entran de Levante.

Las medias quedan establecidas entre los 8-9 grados en los meses más fríos del invierno, frente a los 10-12 grados en la comarca de La Safor y como en ésta los veranos son menos calurosos, la oscilación térmica es mucho mayor en Carricola.

Predominan las lluvias en otoño y primavera con sequedad en verano, variando las medias entre los 500 y 800 mm; aunque son irregulares.

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

Algunas veces las heladas tardías y el pedrisco arrasan los principales cultivos de frutales.

El régimen pluviométrico mediterráneo se caracteriza por una fuerte irregularidad interanual. En algunos años se puede superar los 700 mm como consecuencia de las fuertes lluvias provocadas por la formación de gotas frías, mientras que otros años se caracteriza por una fuerte sequía. Las precipitaciones anuales suelen situarse en una media anual de 400 litros por metro cuadrado, pudiéndose observar claramente las variaciones estacionales.

Teniendo en cuenta que la inestabilidad que se estudia en este trabajo se inició en el mes de diciembre de 2016, se hace necesario estudiar los datos climáticos correspondientes a este año, especialmente a los recogidos en época otoñal.

A continuación, en la figura 8, se muestra el resumen pluviométrico del periodo de los meses que compone el año 2016.

Como se puede comprobar, a lo largo de este año se registraron algunos episodios de lluvias elevados, pero ocasionales, distribuidos en época primaveral y el mes de agosto los más relevantes.

En el otoño, a partir de octubre como era previsible es cuando se concentran los episodios de lluvias de mayor intensidad.

Son destacables los registros de los últimos diez días de los meses de octubre y noviembre donde se recogieron casi 100 mm de precipitación total.

Las lluvias más copiosas, posible detonante de la inestabilidad de los taludes de estudio, corresponden al mes de diciembre con dos episodios diferenciados.

El primero de ellos atañe a los días 4 y 5 de diciembre durante los que se registra una precipitación de más de 150 mm, 50 % superior a la total documentada para el conjunto de los meses de octubre y noviembre

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

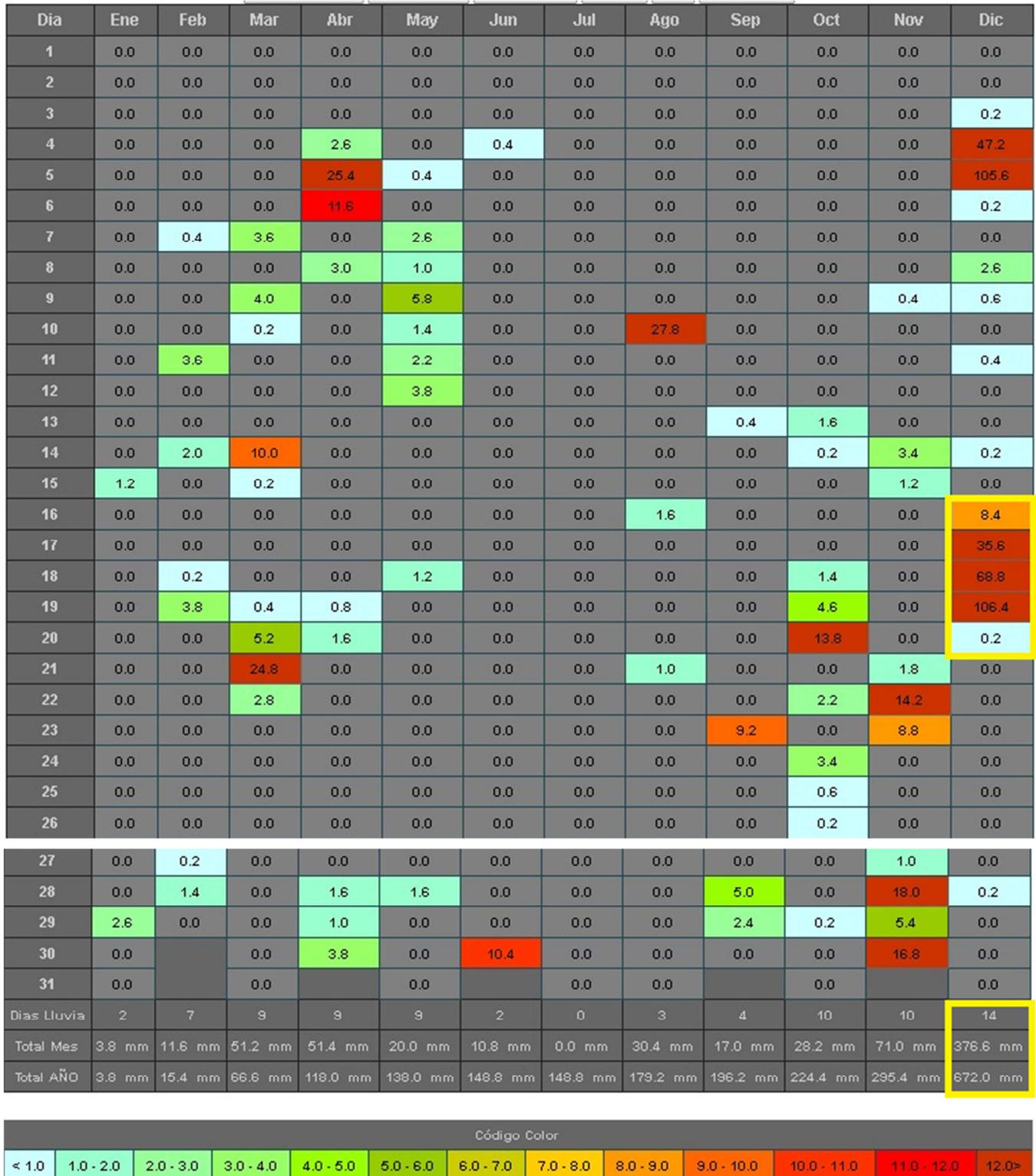


Figura 6. Datos de lluvia en mm para el año 2016.

En el período comprendido entre el 16 y el 19 de diciembre de 2016 se produjeron excepcionales lluvias, con valores pluviométricos muy superiores a la media, se registraron algo más de 200 mm de

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

precipitación en estos días y se contabilizaron en la cercana estación una precipitación acumulada de 237 l/m², tratándose un registro excepcional para la serie histórica, tal y como se puede ver a continuación:

Población - Estación	Total	15-12	16-12	17-12	18-12	19-12
la Vall d'Albaida						
Agullent	..	0,6	6,4	35,2	14,6	
Aielo de Rugat - el Planet	395,8	0,0	9,0	73,4	91,4	222,0
Bèlgida - Mandola	254,9	0,0	8,6	49,9	56,6	139,8
Bellús	199,0	0,0	2,2	34,6	44,8	117,4
Bocairent - Càmping Mariola	357,3	0,0	3,0	44,2	148,8	161,3
Bocairent - la Canaleta	305,6	0,4	2,6	44,4	128,0	130,2
Bocairent - els Vilars	309,5	0,3	1,8	37,8	138,4	131,2
Castelló de Rugat	426,6	0,0	10,7	88,4	81,6	245,9
Quatretonda	270,9	0,0	9,1	40,4	88,6	132,8
Fontanars - Torrevellisca	189,0	0,4	0,6	43,2	51,6	93,2
Fontanars - poble	192,8	0,0	0,6	44,4	47,2	100,6
Fontanars - oest	205,1	0,0	0,6	45,9	54,2	104,4
<u>Guadassèquies</u>	236,8	0,0	4,8	36,7	63,1	132,2
Llutxent	223,2	0,0	8,9	37,1	88,7	88,5
Llutxent - Coop. del Camp	215,6	0,0	6,8	33,0	75,0	100,8
Montaverner	0,4	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0
Montixelvo	319,6	0,0	8,8	53,6	92,6	164,6

Figura 7. Datos Pluviométricos de las precipitaciones en la comarca de la Vall d'Albaida.

La zona de estudio queda emplazada dentro de los dominios adscritos a la Confederación Hidrográfica del Júcar, que actúa como Organismo de Cuenca.

Además el municipio de Carrícola forma aparte de la cuenca hidrográfica 109, con una superficie de 237 Km² perteneciente a una de las subcuencas hidrográficas del Júcar.

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

1.2.4 Análisis del Tráfico en la zona

En este apartado, se van a describir algunas características relativas al estudio del tráfico que permiten conocer el comportamiento de la carretera.

A simple vista puede remarcar que la CV-615 no es una carretera con mucha carga de tráfico, despuntando mayor actividad en algunos periodos de tiempo pero no es muy representativo.

Se han tomado los datos de aforo de la estación más cercana que se localiza en la CV-615 en el Pk 11,40 barriendo los Pk inicial 3,90 hasta el Pk 11,50 siendo un tramo de 7,60 m.

Esta información se ha obtenido del libro de Aforos 2016, publicado por la Diputación de Valencia donde tenemos toda la información sobre el tráfico relacionado con el tramo objeto de estudio.

En la figura 8, se muestra el resumen de la estimación de los vehículos que han pasado por la carretera de los periodos anuales.

Código: 615030	Tipo estación: Cobertura	PK aforo: 11,40	PK inicial: 3,90																					
Tramo: Carrícola a Beniatjar		Longitud tramo: 7,60	PK final: 11,50																					
IMD: 135 vh/d Pesados: 3,79 % Motos: 1,52 %			Estaciones Afines																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Int-reg Lab (vh/d): 132</td> <td style="width: 33%;">Pesados-Lab (vh/d): 5</td> <td style="width: 33%;">Motos-Lab (vh/d): 2</td> </tr> <tr> <td>Int-reg Fes (vh/d): -</td> <td>Pesados-Fes (vh/d): -</td> <td>Motos-Fes (vh/d): -</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Aforo</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">dic</td> </tr> <tr> <td>ID (vh/d): 132</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ID motos: 2</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>% pesados: 3,79 %</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			Int-reg Lab (vh/d): 132	Pesados-Lab (vh/d): 5	Motos-Lab (vh/d): 2	Int-reg Fes (vh/d): -	Pesados-Fes (vh/d): -	Motos-Fes (vh/d): -	Aforo			dic			ID (vh/d): 132			ID motos: 2			% pesados: 3,79 %			Datos Históricos
Int-reg Lab (vh/d): 132	Pesados-Lab (vh/d): 5	Motos-Lab (vh/d): 2																						
Int-reg Fes (vh/d): -	Pesados-Fes (vh/d): -	Motos-Fes (vh/d): -																						
Aforo																								
dic																								
ID (vh/d): 132																								
ID motos: 2																								
% pesados: 3,79 %																								
			Estacional (L): 641010																					
			L1: 0,9896 L2: 1,1246 L3: 0,9922																					
			L4: 0,9048 L5: 0,9270 L6: 0,8205																					
			L7: 0,9181 L8: 1,1796 L9: 0,9543																					
			L10: 1,0556 L11: 1,0381 L12: 1,0198																					
			Festivos (S): 655030																					
			S: 1,0019																					
OBSERVACIONES																								
-																								

Figura 9. Datos de la CV-615 entre Carrícola y Beniatjar. Fuente: Diputación de Valencia.

Considerando que la inestabilidad que se estudia en este trabajo se inició en el mes de diciembre de 2016, conviene estudiar los datos de tráfico correspondientes a este año en ese mes.

1.3 Marco Geológico

1.3.1 Geomorfología

Nos encontramos en una zona montañosa con pocos desniveles ya que la cota sobre la que discurre el trazado de la carretera desde Carrícola a la zona donde se produjo la inestabilidad es de unos 346 msnm manteniéndose en toda la longitud.

A lo largo del trazado analizado en este trabajo se encuentran algunos accidentes geográficos que condicionan la estabilidad de los taludes. Tomando como inicio de la carretera en el Pk 4+000 (Carrícola), el terreno es prácticamente llano con una pendiente suave rodeada de terrenos agrícolas.

Más adelante, por el Pk 4+770 comienza una zona más escarpada con un aumento del desnivel, localizándose unos pinos junto a la margen izquierda de la carretera donde el trazado toma forma curva de radio no muy pronunciado.

Seguidamente hasta el Pk 4+930 constituye un tramo recto con los mismos desniveles que va adentrándose en dirección a Beniatar y aparece un muro de hormigón en masa al pie del talud en desmonte de 1 m de altura en el interior de la calzada. Desde dicho punto, comienza a tomarse la curva cerrada hasta llegar a la zona inestable aumentando el nivel progresivamente en el margen derecho.

Al salir del tramo inestable, más allá del Pk 5+030, la carretera bordea el macizo quedando siempre en el interior mientras va disminuyendo el desnivel paulatinamente hasta abandonar el muro de hormigón aproximadamente en el punto donde en la margen derecha se encuentra una higuera. Más allá, la carretera en su avance se encuentra con un camino a su izquierda y a pocos metros más discurre el barranco de La Font Freda, que pasa entre los dos observándose en la figura 11.

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)



Figura 10. Vista aérea de la zona de estudio con señalización de los accidentes geológicos más relevantes. Fuente Google Earth

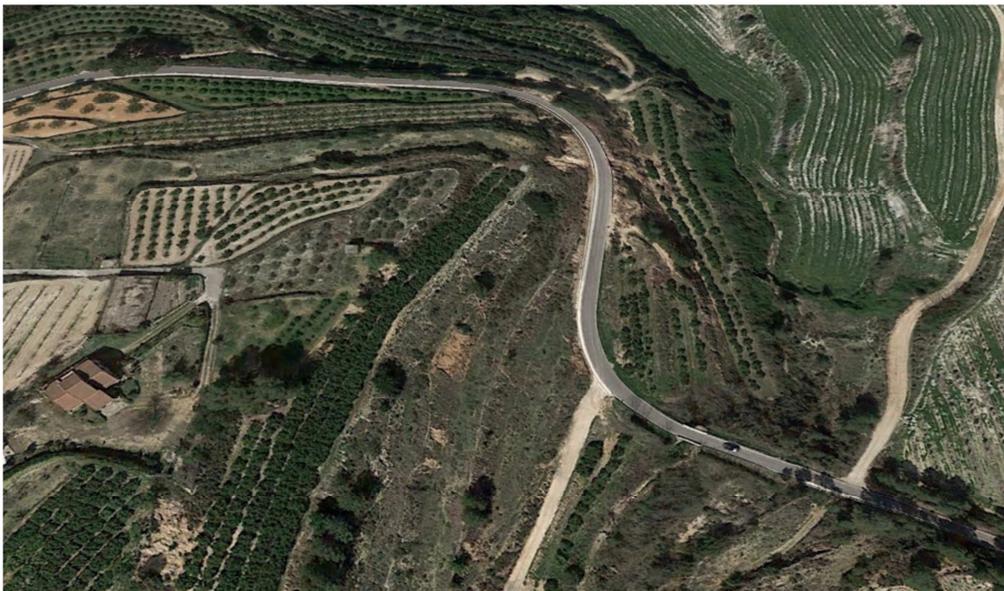


Figura 11. Vista aérea del transcurso del barranco La Font Freda. Fuente Google Earth

La región se encuentra conformada por dos grandes estructuras geomorfológicas, el anticlinal de la Sierra del Benicadell y el sinclinal de la Vall d'Albaida que coincide con la zona topográficamente más deprimida y ocupada por materiales margosos y detríticos cuaternarios.

Este se caracteriza, según su forma por el discurso de las distintas entidades hidrológicas, hecho que define varias conformaciones

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

geomofológicamente diferenciadas, una formada por relieves suaves en fondos de valle, con pendientes entre 5-15% y la otra conformación viene determinada por las formaciones aluviales-coluviales de los grandes colectores que drenan la comarca como es el río Albaida, que en el término municipal de Carrícola quedan definidos por el Barranc del Boter, Barranc de la Basseta y el Barranc de la Font Freda.

Es importante en la geomorfología el funcionamiento de estos cursos fluviales, resultando morfologías típicas erosivas y deposicionales como los meandros y las barras fluviales, en el propio lecho, así como la presencia de abanalamientos dentro de los mismos barrancos.

Las terrazas existentes en los márgenes de los cauces disminuyen la velocidad de escorrentía superficial y favorecen la percolación, disminuyendo el poder erosivo del agua.

Analizando la geomorfología del movimiento del terreno que se produjo, ha involucrado materiales de tipo suelo que dependiendo del contenido en agua, se ven irregularidades en su forma. No se observan huellas de grietas de tracción en la cabeza del talud en desmonte, ni grietas laterales propias de deslizamientos rotacionales, teniendo un escarpe principal en forma sierra o V que canalizan los posibles flujos.

El cuerpo del material desplazado tiene una forma ligeramente parabólica, constituido por material de tamaño fino, en ellas se pueden observar estructuras debidas al flujo y surcos de drenaje donde acaban en el material acumulado al pie de los taludes.

1.3.2 Geología local

La Vall d'Albaida es una gran depresión donde dominan las margas miocenas albarizas; este hecho hace que se encuentre cultivada en prácticamente toda su superficie, con frutales, cereales, viñedos y olivos.

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

El terreno sobre el que discurren los distintos tramos del trazado actual y sus alternativas está formado por prácticamente una sola unidad geológica (Ver Figura 4).

Dada la zona en la que se localiza la CV-615, la información viene definida según los datos observados y aportados por la Hoja Geológica del Magna 795 29-31 Játiva, se puede observar una amplia zona constituida por materiales terciarios, en concreto margas, localmente denominadas Facies TAP (Mioceno Medio Superior), que ocupan la mayor parte de la cuenca de Albaida. Dichas margas se apoyan sobre un potente estrato de calizas arenosas tableadas (Mioceno Inferior), que afloran al sur del término municipal de Carrícola.

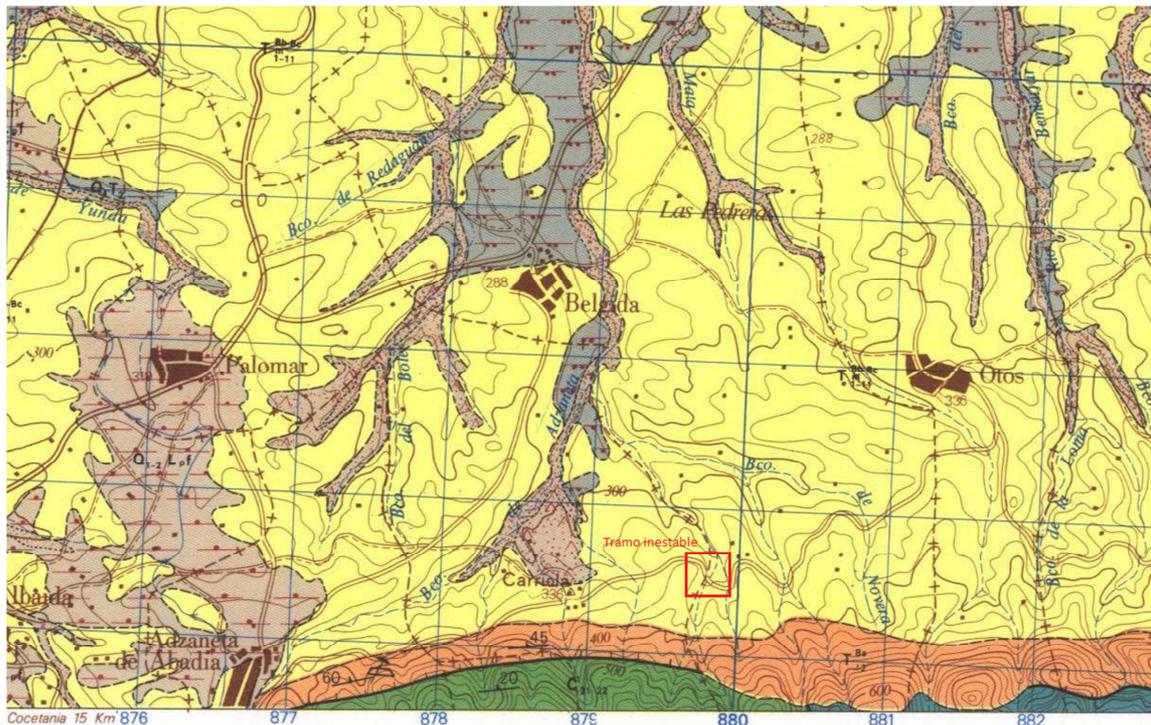


Figura 12. Fragmento de la hoja geológica 795 Játiva. Escala 1:50.000.

Entre los Pk 4+985 y 5+025, además de apoyarse sobre un potente estrato de margas (Facies TAP), está parcialmente cubierto por un estrato de espesor variable de materiales detríticos constituidos básicamente por arcillas de tonos anaranjados-rojizos, cubiertos por abundante vegetación autóctona, tipo arbustos y pinos.



Figura 13. Estratos de arcillas y margas TAP en el talud de la margen derecha

Las margas del denominado "TAP", consisten en una potente y monótona serie de margas depositadas en un medio marino claramente transgresivo y fuertemente subsidiente.

La potencia del "TAP" en el centro de la cuenca debe ser superior a 1000 metros, disminuyendo progresivamente a medida que aflora más cerca de los relieves mesozoicos.

Encontramos también margas compactas, relativamente bien estratificadas en la base, amarillas en superficie y azuladas en profundidad.

Como se ha comentado en superficie hay una pequeña capa de material anaranjado que sobre estas puede encontrarse o bien las propias margas desgastadas o pulverizadas, o de otros materiales sedimentados en la superficie de poca potencia.

1.3.2.1 Hidrogeología local

La hidrología superficial está definida por la existencia de cauces de agua no permanente siendo el principal elemento colector de aguas de lluvia la Sierra del Benicadell.

El conjunto hidrográfico está configurado por diversos barrancos y torrenteras de rápido descenso, corto trazado y de circulación ocasional torrencial que funcionan como zona de captación.

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

Desde un punto de vista más amplio, la región se caracteriza por la presencia de barrancos de distinta entidad con acentuada pendiente y reducido recorrido, que articulan los escurrimientos superficiales, sobre suelos de naturaleza caliza, margas del TAP y cuaternarios, sometidos a aterrazados que se acaban originando cauces de notable profundidad, con laderas verticales y que en ocasiones presentan frecuentes desprendimientos; estos espacios son ocupados por vegetación aunque en ocasiones los propios aterrazados agrícolas ocupan los encajonados lechos de estas ramblas y barrancos.



Figura 14. Punto de captación de aguas de la CV-615 y campos arriba del talud superior.

Por ultimo decir que la lluvia es el factor desencadenante de inestabilidades que hacen aumentar la acción de diversos factores condicionantes: meteorización, acción de las aguas subterráneas, etc. El impacto de las gotas de lluvia sobre los suelos produce salpicaduras que levantan y dejan caer las partículas, tendiendo a transportarlas

hacia niveles inferiores de la vertiente. Consecuentemente, se origina una removilización superficial de los suelos, que puede disminuir la capacidad de infiltración del mismo, al taponar las partículas movidas las aberturas naturales del suelo.

Como el régimen de lluvias es torrencial, el agua caída se canaliza generando corrientes de agua y aumentando las subpresiones del terreno al infiltrarse y producir sobrecargas en el terreno.

Encima al tratarse de materiales cohesivos, se puede dar una absorción de agua por los minerales arcillosos y producirse un hinchamiento de los mismos incrementándose las presiones efectivas del terreno.

1.3.3 Riesgos geológicos

1.3.3.1 Riesgo de erosión

El riesgo de erosión en las dos terceras partes más meridionales del término municipal es alto. Hay una pérdida de suelo que acarrea la eliminación de la cubierta vegetal protectora.

En la zona este fenómeno no haría más que agravar la situación actual, de por sí bastante desfavorable, mientras que las zonas más llanas el riesgo de erosión es menor.

1.3.3.2 Riesgo de inundación

Pese a que no existen específicamente zonas con riesgo de inundabilidad alguno, toda la red fluvial (ramblas, barrancos y arroyos), existente en la zona, debe considerarse siempre como zonas inundables de muy alto riesgo, a tener en cuenta para realizar obras por ello deben estudiarse en detalle valorándose la magnitud de sus desbordamientos con la definición de los ámbitos hidrográficos principales.

1.3.3.3 Riesgo de inestabilidad en taludes

Según el tipo de material por el que se observa en el trazado, los fenómenos relacionados con los movimientos de ladera varían.

El fenómeno que parece más claro, está relacionado con la erosión, principalmente con la erosión producida por el flujo de agua de lluvia, es el de los acarreamientos que se producen en los taludes del material, lo que produce el transporte de sedimentos y como consecuencia un debilitamiento del talud excavado.

1.4 Marco Geotécnico

La naturaleza intrínseca del material que se compone mantiene una estrecha relación con el tipo de inestabilidad que se ha producido.

El terreno donde ha habido movimientos forma parte del grupo de suelos. Estos están formados por un agregado de partículas con un grado de consolidación determinado, que se ha ido desarrollando *in situ* o por haber sufrido un cierto transporte.

El comportamiento que tienen se deduce por su definición: partículas sólidas, sueltas o poco cementadas, más o menos consolidadas de naturaleza mineral, con algunos fragmentos de roca, materia orgánica, etc., que con el flujo intersticial ha ido rellenando huecos y que han podido sufrir transporte o desarrollarse *in situ*.

Forman algo similar al de un medio continuo y homogéneo en el que la superficie de rotura se desarrolla en el interior de los suelos, sin seguir una dirección preexistente.

1.4.1 Clasificación de los suelos

Según su composición granulométrica y su plasticidad dan, desde un punto de vista de la resistencia al esfuerzo cortante, algunos aspectos trascendentales.

Los suelos que hay en la región, en primer lugar son materiales en los que, gracias a sus características físico-químicas es necesario aplicar una fuerza para separar los propios granos del suelo. Las arcillas son suelos cohesivos que presentan, además, un índice de plasticidad e impermeabilidad ya que forman partículas de tamaño inferior de 2 μm haciendo que su resistencia al corte se sensibilice con la humedad.

Son suelos normalmente consolidados puesto que la resistencia de comprensión simple, según la clasificación de Casagrande, presenta una resistencia que va desde muy débil a moderadamente débil pudiendo llegar hasta 5 kg/cm^2 .

La granulometría de estos suelos sigue lo habitual de los terrenos intermedios o de transición definidos como margas arcillosas, según el tamaño de partículas, que van de 2 a $0,002 \text{ mm}$. Son partículas visibles, ásperas al tacto y de tacto suave, las cuales se secan lentamente pegándose en los dedos.

1.4.2 Resistencia al corte de los suelos

Cuando se trata de analizar la estabilidad de un determinado talud constituido por suelos naturales o artificiales hay que valorar la resistencia al esfuerzo cortante, y el estado tensional del terreno ya que inevitablemente de producen estos esfuerzos.

Se producen por un lado esfuerzos normales que tienden de a producir el movimiento, por otro lado, la resistencia tangencial que tiene por lo contrario a impedirlo. El hecho de que domine uno u otro de los mecanismos condiciona que el talud sea estable o no.

Interesa conocer, pues, el estado de los materiales con la densidad y humedad propia del material. Procedimiento por el cual se ha llevado a cabo mediante los métodos directos.

A continuación se muestran los resultados más relevantes de los trabajos realizados.

1.4.3 Trabajos realizados

El presente apartado expone el número y naturaleza de las tareas realizadas que han consistido en una partida de trabajos de campo y una partida de trabajos de laboratorio, cuya relación se adjunta a continuación, y que han servido de fundamento a las conclusiones que se exponen en secciones sucesivas.

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

1.4.3.1 Trabajos de Campo

Los trabajos de campo han consistido en una visita al tramo objeto del estudio, donde se ha efectuado, in situ un registro y muestreo de los materiales alterados de forma manual. Una en la ladera de desmonte (margen derecha) y dos a mitad altura del talud margen izquierdo.

La normativa seguida para la toma de muestras ha sido para muestras alteradas la norma NLT 148/91. A continuación se relacionan las muestras tomadas y su tipología:

- MUESTRA N^o1: Margas alteradas, de tonos beige.

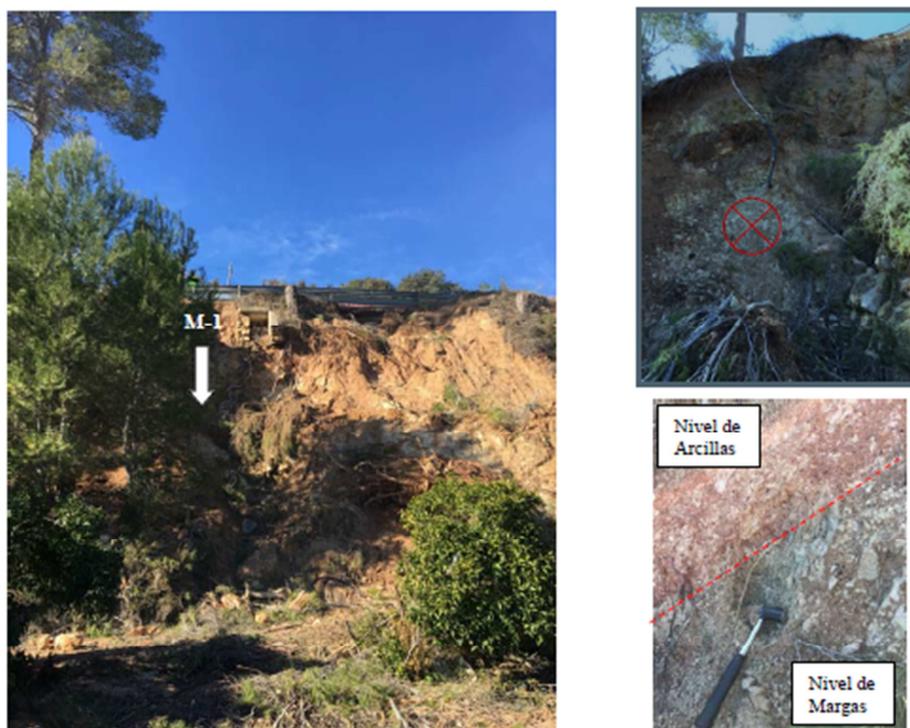


Figura 15. Localización de la toma de muestra N^o1: Margas Tap. Talud de la ladera del margen izquierdo CV-615 PK 4+990

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

- MUESTRA N°2: Margas de tonos beige.



Figura 16. Localización de la toma de muestra N°2: Margas con cementación. Talud de la ladera del margen izquierdo CV-615 PK 4+970.

- MUESTRA N°3: Arcillas de tonos anaranjados-rojizos.



Figura 17. Localización de la toma de muestra N°3: Arcillas. Talud de desmonte, margen derecho de la CV-615, PK 4+990.

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

1.4.3.2 Trabajos de laboratorio

Los trabajos de laboratorio han constituido en la realización a todas las muestras ensayos de identificación.

- Granulometría por tamizado UNE 103.101-95
- Granulometría por sedimentación UNE 103.102-95
- Limite Líquido UNE 103.103-94
- Limite Plástico UNE 103.304-93
- Humedad natural UNE 103.300-93
- Densidad relativa de las partículas UNE 103.302-94
- Densidad de un suelo UNE 103.301-94

1.4.3.3 Resultados Alcanzados

A continuación se muestran los resultados más relevantes de los ensayos de laboratorio realizados:

Muestra N°1: Margas alteradas de tonos beige						
Ensayo granulométrico %				Límites de Attemberg		
gravas	arenas	finos		Límite Líquido	Límite Plástico	Índice plasticidad
		arcillas	limos			
0	7	66	27	40,8	24,3	16,5

Humedad Natural (en el momento de la visita):	29,35%
Densidad relativa de las partículas del suelo (Gs):	2,692

- ✓ Clasificación del suelo: CL, arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad.

Muestra N°2: Magas de tonos beige	
Humedad Natural	18%
Densidad aparente	1,14 g/cm ³
Densidad Seca	1,92 g/cm ³

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

Muestra N°1: Margas alteradas de tonos beige						
Ensayo granulométrico %				Límites de Attemberg		
gravas	arenas	finos		Límite Líquido	Límite Plástico	Índice plasticidad
		arcillas	limos			
0	10	63	27	39,3	24,1	15,2

Humedad Natural (en el momento de la visita):	37,50%
Densidad relativa de las partículas del suelo (Gs):	2,705

- ✓ Clasificación del suelo: CL, arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad.

Las muestras de margas y arcillas, después de un mes desde las últimas lluvias, todavía presentan una humedad superior a la del límite plástico y cercanas a la humedad correspondiente al límite líquido, lo que explica que durante el periodo de lluvias el suelo cambió de consistencia semirrígida a consistencia viscosa, y la parte más superficial de los taludes se convirtieron en una masa deslizante (colada de barro).

Como se puede comprobar, a lo largo de este año se registró una IMD de 135 veh/día siendo para los vehículos pesados un total de 5 veh/día y para motos 2 veh/día en los días laborales, sin embargo no se disponen datos en los días festivos.

Para el mes de Diciembre se ha recogido una intensidad diaria de 132 vehículos/día sin eximir en días laborales o festivos de los cuales el porcentaje de pesados que han circulado por el tramo es del 3,79%, manteniéndose el valor de 2 veh/día para las motos lo que significa un porcentaje del 1,52%, porcentajes idénticos a los que se tienen en el análisis anual.

Además se considera que hay una distribución de 50/50 para ambos sentidos de circulación.

Comentar también que se ve una acusada variabilidad de los datos anuales en el histórico que se ha recogido hasta el año 2010,

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

principalmente ha habido un repunte en el año 2015, donde los datos de IMD de 314 veh/día y porcentaje de pesados del 5,26% es muy superior a la media siendo este el año de mayor tráfico.

En anteriores años los valores son muy similares aunque en el 2011 con un IMD de 210 veh/día se pone en el segundo año con más tráfico del normal.

Por el contrario el año 2016, que es el año con el que se analizan los datos, representa el año de menor tráfico por debajo de la media.

Esto puede tener múltiples razones por las cuales esa variabilidad queda reflejada. Por lo general puede ser debido a mejoras en otras carreteras cercanas a la CV-615 como en la calzada o en el trazado e incluso que se haya cortado la circulación por alguna de ellas. Esto explica que la carga de tráfico haya aumentado notablemente en esos años.

1.5 Análisis de Estabilidad de taludes

1.5.1 Revisión teórica previa

En cualquier caso, el primer paso para analizar la estabilidad de los taludes hay que reconocer la metodología que se va a emplear a partir de las bases teóricas que se asemejan a la realidad.

Se van a emplear para el cálculo, dentro de la clasificación de los métodos de cálculo, los métodos de equilibrio límite.

Son mucho más utilizados que otros métodos de cálculo a pesar de que estos no dan el análisis más completo de la estabilidad del talud. Pero son menos largos y costosos en su ejecución, y además están ampliamente contrastados por la experiencia en la práctica.

1.5.2 Métodos de equilibrio límite.

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

Se pueden clasificar a su vez en dos grupos:

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

Esto sólo es posible en taludes de geometría sencilla y que presenten tipos de roturas simples, como por ejemplo la rotura planar o por cuñas.

❖ **Métodos no exactos:** En la mayor parte de los casos la geometría de la superficie de rotura no permite obtener una solución exacta del problema mediante la única aplicación de las leyes de la estática.

El problema es hiperestático y ha de hacerse alguna simplificación o hipótesis previa que permita su resolución.

Se pueden considerar así los métodos que consideran el equilibrio global de la masa deslizante, hoy en desuso, y los métodos de las dovelas o rebanadas, que consideran a la masa deslizante dividida en una serie de fajas verticales.

Los métodos de las dovelas o rebanas pueden clasificarse, a su vez, en dos grupos:

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

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

Método de Bishop. Originalmente desarrollado para roturas circulares, considera que las interacciones entre rebanadas son nulas. El cálculo se lleva a cabo buscando el equilibrio de momentos respecto al centro del arco circular, aunque en la versión posterior del método se puede aplicar a superficies no curvas definiendo centros ficticios.

Método de Janbu. Diseñado para superficies no necesariamente circulares, también supone que la interacción entre rebanadas es nula, pero, a diferencia de Bishop, busca el equilibrio de fuerzas y no de momentos. Experiencias posteriores hicieron ver que la interacción nula en el caso de equilibrio de fuerzas era demasiado restrictiva, lo que obligó a introducir un factor de corrección empírico aplicable al factor de seguridad. La versión posterior, en el denominado método riguroso, se define una línea de empuje entre las rebanadas y se buscan los equilibrios en fuerzas y momentos respecto al centro de la base de cada una de ellas.

Método de Spencer. También pertenece a la categoría de los denominados rigurosos. Supone que de la interacción entre rebanadas aparece una componente de empuje con ángulo de inclinación constante, por lo que, mediante iteraciones, se analiza tanto el equilibrio en momentos como en fuerzas en función de ese ángulo, hasta hacerlo converger hacia un mismo valor, calculando entonces el factor de seguridad correspondiente. Es aplicable tanto a roturas circulares como generales.

Método de Morgenstern y Price. Al igual que el anterior, también es de aplicación general, y trata de alcanzar tanto el equilibrio de momentos como de fuerzas. La diferencia fundamental estriba en que la interacción entre rebanadas viene dada por una función que evalúa esa interacción a lo largo de la superficie de deslizamiento.

1.5.3 Tipos de rotura

El tipo de rotura que se acerca más a las condiciones reales del deslizamiento acaecido es del tipo circular pues es evidente según las descripciones realizadas en anteriores apartados.

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



Figura 18. Deslizamiento rotacional.

Este tipo de rotura se suele producir en terrenos homogéneos, sin direcciones preferenciales de deslizamiento, en los que además se cumple la condición de que el tamaño de las partículas de suelo es muy pequeño comparado con el tamaño del talud.

Se produce a lo largo de una superficie de deslizamiento interna. El movimiento tiene una naturaleza más o menos rotacional, alrededor de un eje dispuesto paralelamente al talud.

La salida de las superficies circulares sobre las que se produce la rotura puede originarse en tres partes diferentes del talud, según las características resistentes del material, altura e inclinación del talud.

- 1) Si la superficie de rotura corta al talud por encima de su pie se denomina superficie de rotura de talud o ROTURA GLOBAL.
- 2) Cuando la salida se produce por el pie del talud y queda por encima de la base de dicho talud se llama superficie de rotura por el pie de talud
- 3) Si la superficie de rotura pasa bajo el pie del talud con salida en la base del mismo y alejada del pie, se denomina superficie de rotura por la base del talud

Coladas: Son los que tienen lugar en materiales tipo suelo. Existen una serie de factores que tienden a diversificarlos u originar subtipos, Así la granulometría del material y el contenido en agua es determinante en el desarrollo de este tipo de rotura.

Tienen semejanza de comportamiento con los fluidos viscosos y las superficies de deslizamiento no suelen estar bien definidas

La velocidad con que tienen lugar suele ser muy rápida aunque existen casos de extrema lentitud.

Existen una serie de características generales como son: grandes desplazamientos de la masa movida y el efecto fluidificante del agua como parte del proceso.

Existe una completa gradación de coladas para suelos en función de la granulometría, contenido en agua, y movimiento.

1) **Reptaciones (creep).**

Constituyen deformaciones continuas, generalmente superficiales y extremadamente lentas, que pueden aparecer acompañando a otros tipos de movimientos de los materiales subyacentes.

Estos movimientos son prácticamente imperceptibles que suelen preceder inmediatamente a la rotura catastrófica.

2) **Colada de derrubios (debris flow).**

Característico de materiales con un elevado porcentaje de fragmentos gruesos.

3) **Coladas de barro (mud flow).**

Se produce en materiales con al menos un 50% de fracción fina y con un contenido en agua suficiente, para permitir fluir al material.

Existe una diversidad de características influyentes en estos movimientos que permiten una amplia definición de los mismos.

Suelen presentar una cicatriz dentada o en forma de V que se adelgaza hacia la cabeza.

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

Este fallo es el más probable que haya ocurrido en los taludes, ya que como se ve en la figura 17, presenta las mismas características descriptivas y paramétricas.

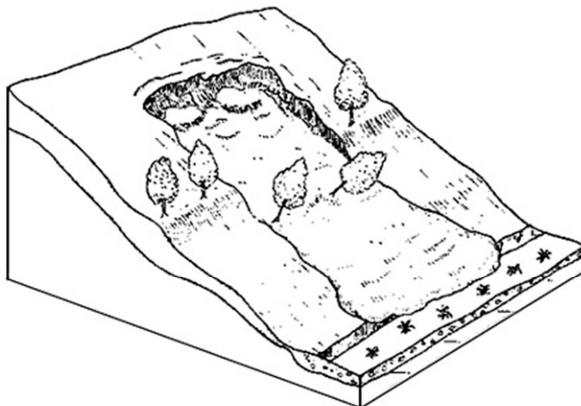


Figura 19. Colada de barro en un talud.

En definitiva, el método más utilizado para resolver el cálculo de estabilidad por rotura circular es el de las dovelas o rebanadas, que es bastante laborioso, por lo que se suele realizar ayudándose de aplicaciones informáticas sin embargo el método simplificado de Bishop, para casos de geometría simple y terreno homogéneo permiten analizar la estabilidad de un talud de forma rápida siendo muy útiles para primeros tanteos y predimensionamiento.

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

Los datos más importantes a la hora de abordar el problema de la estabilidad general de un desmonte o terraplén donde se pueda desarrollar una inestabilidad en forma de deslizamiento, son la resistencia y deformación del suelo.

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

Estos datos, resistencia y deformación, son difíciles de determinar. Por un lado los ensayos de laboratorio en muestras de suelo no representan suficientemente el comportamiento del conjunto, y, por otro lado, los ensayos in situ a gran escala no suelen ser factibles.

Por tanto, las roturas en taludes se pueden asemejar a la rotura global de la masa de tierras. No obstante, también son frecuentes las roturas mixtas, (combinación de las roturas citadas).

Estas se estudian de manera sistemática y generan deslizamientos rotacionales (rotura circular).

Se utilizan distintos métodos de análisis de inestabilidades:

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

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

No obstante, la expresión analítica que define completamente el comportamiento del problema no es fácil de obtener debido a la complejidad del comportamiento del terreno, y por tanto, a la complejidad de la resolución matemática del problema. Estas soluciones se reducen a algunos casos donde se supone un comportamiento isótropo y linealmente elástico y cuando la geometría tiene suficientes simetrías que permite simplificar el problema.

Los análisis de estabilidad se realizan para valorar la seguridad y funcionalidad del diseño de un talud excavado o para analizar las condiciones de equilibrio natural en laderas de montaña. Las técnicas de análisis dependen en cada caso del tipo de terreno y del tipo de rotura prevista.

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

En cuanto a las técnicas de cálculo basadas en métodos de equilibrio límite, como el de Bishop, Jambu, y Morgenstern-Price, han sido y son las más empleadas.

En este sentido, el criterio de rotura más extendido y que se aplica habitualmente es el de Mohr-Coulomb, con modelos elastoplásticos o simplemente elásticos. Este criterio, aunque sencillo, no representa adecuadamente el comportamiento de los suelos.

CIRCULO DE MOHR COULOMB

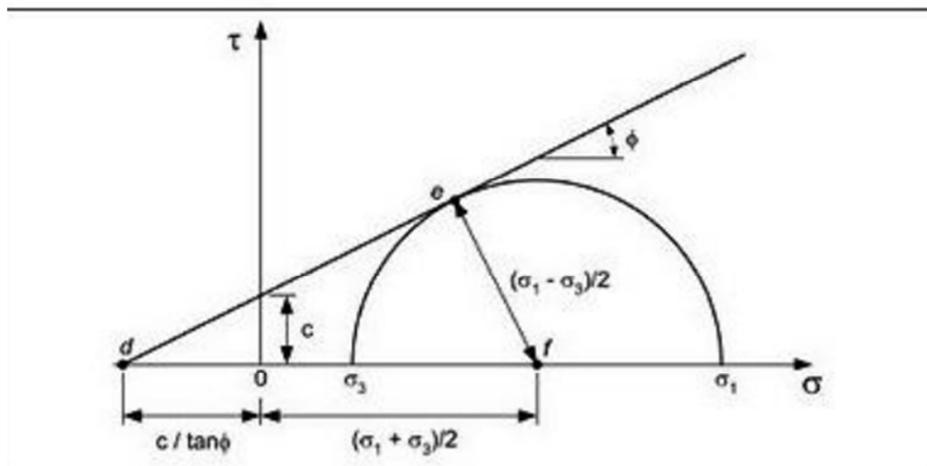


Figura 20. Representación de la envolvente de Mohr-Coulomb en el espacio de tensiones normal y tangencial.

Es el método más práctico de cálculo para analizar la estabilidad en un talud ante diferentes tipos de rotura. Este deberá de ir en función de los parámetros resistentes del material constitutivo del talud, suponiéndose que la resistencia intrínseca al corte o tensión tangencial máxima en un punto de la superficie de deslizamiento sigue la ley lineal de Mohr-Coulomb cuya expresión es:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

Donde:

τ : Tensión tangencial máxima en un punto de la superficie de deslizamiento.

c : Cohesión de la superficie de deslizamiento.

σ : Tensión normal a la superficie de deslizamiento en el punto considerado.

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

φ : Ángulo de rozamiento interno de la superficie de deslizamiento.

Si el cálculo se realiza en presiones efectivas los parámetros resistentes c' y φ' se denominan cohesión efectiva y ángulo de rozamiento interno efectivo.

El cálculo en presiones totales daría resultados menos fiables que el cálculo en presiones efectivas en la mayor parte de los casos.

La ley lineal de Mohr-Coulomb para la resistencia al corte de la superficie de deslizamiento se considerará válida para el deslizamiento de suelos.

1.5.4 Criterios para definir el factor de seguridad

No existen muchas tomas de posición concretas con respecto a la sección del valor de seguridad a adoptar. Depende de muchos factores. Sin embargo, se recomiendan los siguientes valores para exigir al valor de seguridad con el fin de garantizar la seguridad frente al deslizamiento:

FACTORES DE SEGURIDAD GLOBALES Y PROBABILIDAD DE ROTURA
(MEYERHOF, 1985. Cort. de National Research Council (Canadá))

Tipo de proyecto	Factor de seguridad global	Probabilidad de rotura
Terraplenes	1,3-1,5	10^{-2}
Estructuras de contención de tierras y excavaciones	1,5-2	10^{-3}
Cimentaciones	2-3	10^{-4}

FACTORES DE SEGURIDAD MINIMOS
(TERZAGHI Y PECK, 1967. Cort. de John Wiley & Sons)

Tipo de rotura	Tipo de problema	Factor de seguridad
Corte	Trabajos de tierra	1,3-1,5
	Estructuras de tierra	1,5-2
	Cimentaciones	2-3
Filtraciones	Levantamientos	1,5-2,5
	Erosión interna, salida del gradiente	3-5

FACTORES DE SEGURIDAD PARCIALES
(MEYERHOF, 1970. Cort. de National Research Council (Canadá))

ITEM	Parámetro resistente	Factor de seguridad
• Estructuras de tierra	Cohesión	1,5
	Ángulo de rozamiento interno	1,2
	Cohesión y ángulo rozamiento interno	1,3-1,5
• Cimentaciones	Cohesión	2,0-2,5
	Ángulo de rozamiento interno	1,2-1,3
• Peso propio y cargas permanentes	—	1,0
• Presiones de agua	—	1,0-1,2
• Cargas «vivas» móviles	—	1,2-1,5

Figura 21. Factores de seguridad habituales

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

En las tablas se exponen algunos de los valores de seguridad más empleados y extendidos. Aun así, la práctica más habitual en Geotecnia consiste en definir los valores resistentes del terreno y actuar sobre ellos, minorándolos por medio de un solo factor de seguridad.

1.5.5 Resultados de los cálculos realizados

Se resume el análisis de estabilidad en las situaciones consideradas como deslizamiento original y situación actual de la ladera. Para ello se ha realizado mediante la utilización del programa Slide 7.0.

Los cálculos en detalle se encuentran en el documento "**Análisis de la inestabilidad**", Anejo N°1.

1.5.5.1 Reconstrucción del deslizamiento original

Para reconstruir el mecanismo de rotura que se sospecha es preciso en primer lugar, establecer la topografía original. Esto se ha hecho prolongando las curvas de nivel actuales a ambos lados de la masa deslizante.

Por último, se establecen las siguientes hipótesis para obtener dicho mecanismo de rotura:

- El talud se encontraba saturado
- Los parámetros resistentes tenían valores cercanos a los residuales (Caso 1)

Para las condiciones normales muestran factores de seguridad (F_s) del orden $< 1,00$, muy por debajo a los valores mínimos exigidos por los criterios de diseño de la Guía de Cimentaciones en Obras de Carreteras (Ministerio de Fomento, 2004).

El deslizamiento se debe de producir para un valor de factor de seguridad FS igual a 0,523. Esto permite tantear soluciones y ajustar así, los parámetros resistentes del terreno.

El estudio de esta situación ha conducido a los siguientes resultados:

Se obtiene un factor de seguridad $FS = 0,571$ con los parámetros resistentes residuales, lo cual confirma las hipótesis de partida. En la

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

figura 3 puede verse la forma del deslizamiento y la salida de ordenador del cálculo realizado.

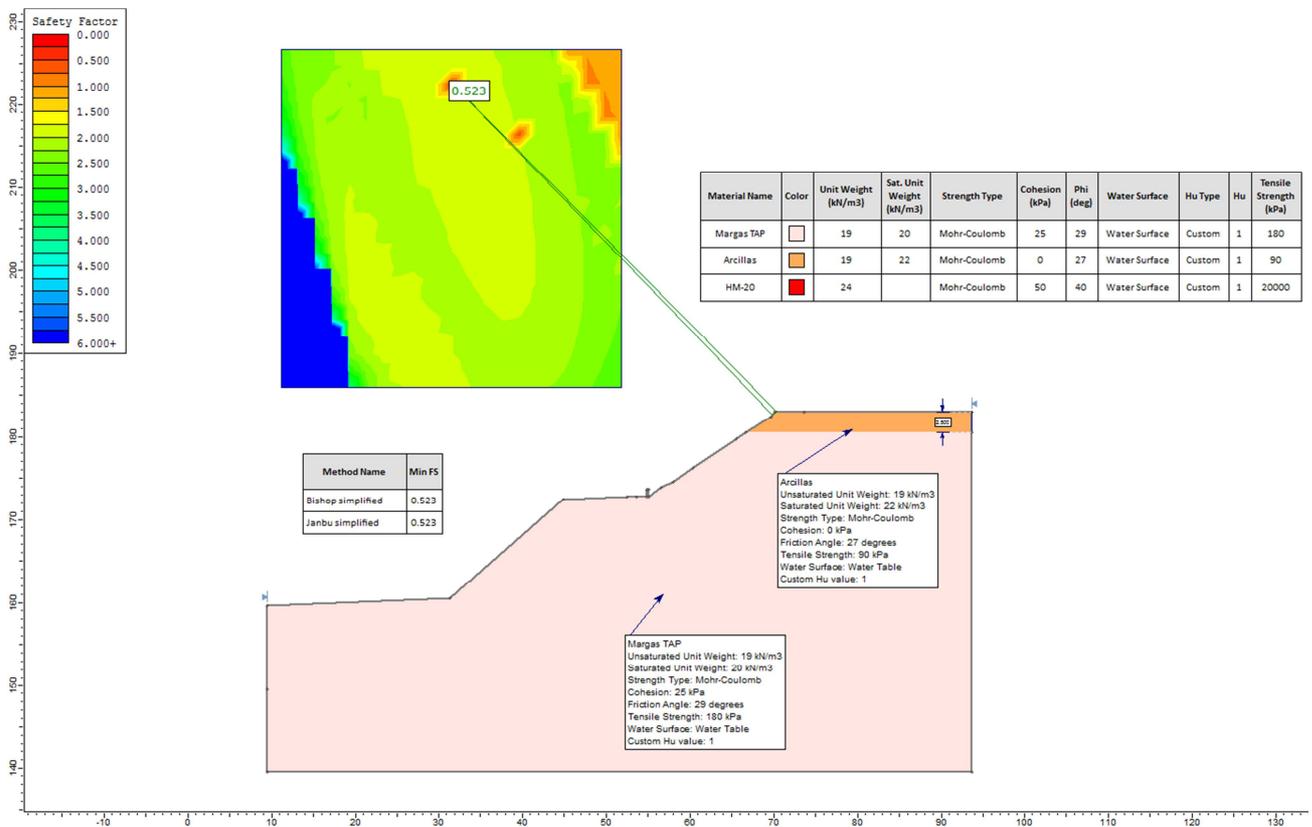


Figura22. Hipótesis de partida. Fuente propia

1.5.5.2 Situación actual de la ladera

Actualmente la ladera no muestra señales de movimientos recientes. Solamente se han encontrado evidencias como surcos y grietas superficiales en el pie del talud inferior o coronación superior pero en todo caso se encuentra la zona despejada, limpia y saneada.

Las hipótesis que se han supuesto para analizar la estabilidad de la ladera en la situación actual son las siguientes:

- Terreno saturado
- Parámetros Resistentes residuales (Caso1)

En esta situación los resultados obtenidos son los siguientes:

El deslizamiento principal está estabilizado, con el perfil geométrico actual, aun así se sigue teniendo problemas de inestabilidad principalmente en las arcillas donde el cálculo obtenido indica un

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

circulo de rotura parcial y un FS= 1,2 estando este factor de seguridad por debajo del mínimo requerido

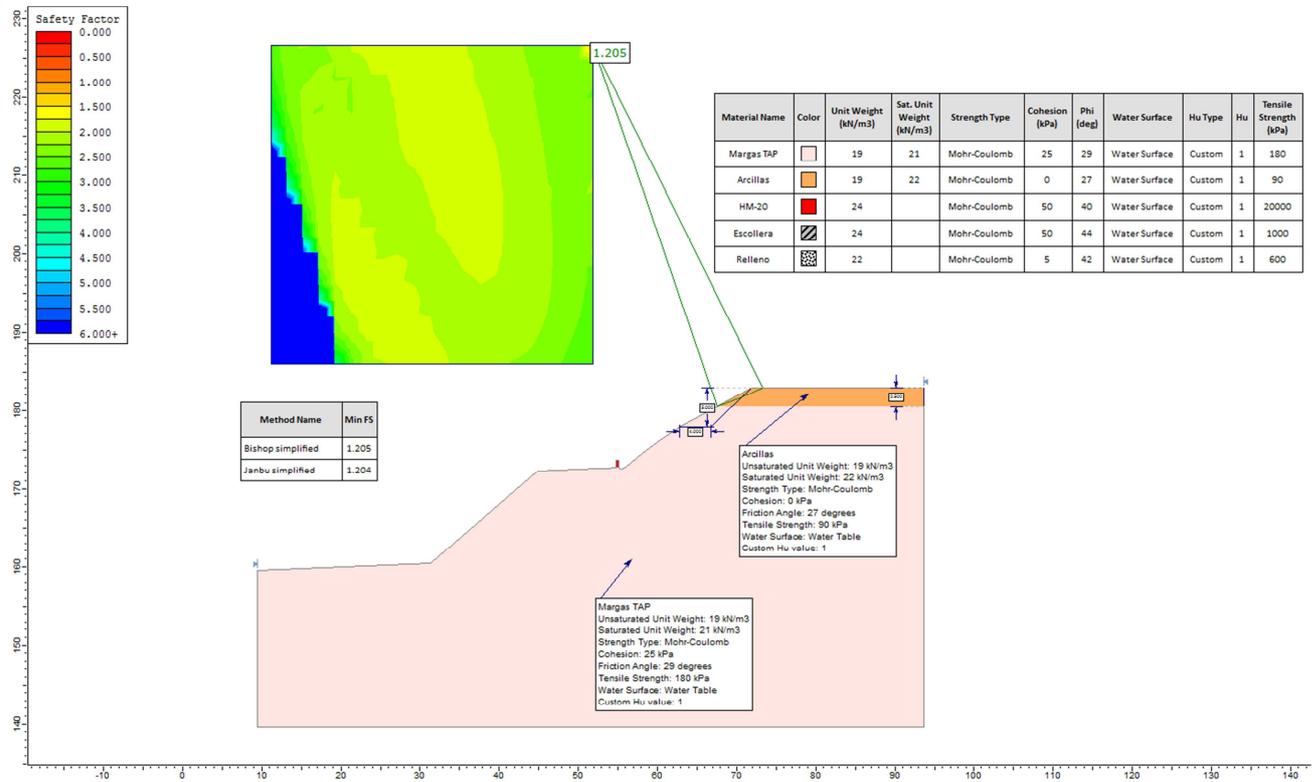


Figura23. Hipótesis de estabilidad actual. Fuente propia

Se deduce de estos resultados que la reparación de los taludes no producirá una inestabilidad general de la ladera.

Sin embargo el desmonte es claramente inestable y deben adoptarse medidas correctoras.

1.6 Estudio de soluciones

1.6.1 Medidas correctoras

Según se ha comprobado en capítulos anteriores se ha probado que, en el terreno no se prevé que se produzca una inestabilidad global de toda la masa sino que, en distintos puntos, se ocasionarán distintos tipos de inestabilidades que, en resumen, pueden ser las siguientes:

- **TALUD SUPERIOR:** riesgo de coladas de barro afectada por el fenómeno de saturación del suelo y, en consecuencia, deslizamiento de parte del talud con su vegetación y agua acumulada.
- **TALUD INFERIOR:** riesgo mínimo de deslizamiento aunque puede quedar afectado como consecuencia del talud anterior.

Por tanto no habrá una solución global única sino más bien una solución puntual en la zona con problemas localizados. Por tanto, a partir de este punto el primer paso consiste conocer cuáles son las posibles soluciones constructivas que corrigen o impiden esta inestabilidad para, a continuación, elegir las más adecuadas en el caso concreto que se estudia.

1.6.2 Revisión de alternativas viables

Como es obvio, en obras lineales de nuevo trazado y sobre terrenos accidentados, tal y como es el caso de la Carretera CV-615, se pueden combinar tres tipos de actuaciones encaminadas a garantizar la seguridad de las obras realizadas, a lo largo de la vida útil de la misma.

A saber: modificación del trazado o del diseño del talud y estabilización de taludes.

Es evidente que la primera de las actuaciones es la más inmediata, en fase de proyecto, y solo en caso de que no sea posible realizar una modificación del trazado o un redimensionamiento del talud, se recurre a otras medidas: las de estabilización y/o protección.

Tradicionalmente se consideran como soluciones técnicas a adoptar frente a las inestabilidades dos grandes grupos:

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

- I. *Medidas de prevención y sostenimiento*: Encaminadas a prever los posibles riesgos de una inestabilidad de materiales en un talud o ladera, controlando y fijando el recorrido de los mismos, y evitando que puedan producir daños.
- II. *Medidas de sostenimiento y corrección*: Encaminadas a corregir en su lugar de origen el peligro potencial, neutralizándolo y fijándolo en su posición para evitar que se movilice y pueda ocasionar daños.

Las actuaciones encaminadas a mantener las condiciones de estabilidad del talud consisten en utilizar técnicas que no permitan el movimiento, que impiden la erosión o que obstaculicen la rotura global del mismo.

Únicamente en el caso en que no se puede impedir el movimiento de los fragmentos de piedras o del talud en origen es cuando se recurre a medidas de protección.

En la mayoría de los casos la solución óptima supone combinar estos tres tipos de actuaciones. Resulta pues imprescindible, en este punto del trabajo, elaborar una revisión previa de las diferentes soluciones de estabilización así como de los métodos de protección más frecuentemente empleados en la actualidad.

Dadas las características específicas de los movimientos del terreno: deslizamientos y/o desprendimientos, las soluciones a llevar a cabo se pueden clasificar según distintos criterios, no excluyentes.

En algunos casos, las medidas de prevención y sostenimiento y las medidas de sostenimiento y corrección son de difícil diferenciación y se interponen.

Según Berthet-Rambaud (2004, tomado de Casanovas 2006), estas medidas anteriores pueden ser:

- ✓ **ACTIVAS**: Tratan de modificar la propagación del desprendimiento.
- ✓ **PASIVAS**: Tratan de modificar las condiciones de inicio del desprendimiento.

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

Cada una de estas puede ser además:

- ✓ TEMPORALES: Implican una intervención y/o decisión puntual en condiciones particulares o excepcionales.
- ✓ PERMANENTES: Funcionan sin necesidad de una intervención humana puntual.

De este modo, las medidas de prevención, protección y/o corrección, se englobarán en los tipos anteriores y se pueden considerar, en definitiva:

- Medidas temporales pasivas
- Medidas temporales activas
- Medidas permanentes activas
- Medidas permanentes pasivas

A continuación vamos a repasar cada uno de estos grupos, con especial detenimiento en aquellas que puedan ser adoptadas en el caso que nos ocupa.

1.6.3 Medidas temporales pasivas

Las medidas temporales pasivas son las primeras que se adoptan cuando se producen por primera vez en un talud o ladera o cuando se reactivan desprendimientos que se creían estabilizados.



Figura24. Señal de desprendimiento.

Se puede considerar dentro de las medidas temporales pasivas el caso de la SEÑALIZACIÓN

Es habitual la señalización de zonas de desprendimientos y aunque está clara su "pasividad", no lo es tanto su "temporalidad", pues en muchos casos adquiere carácter permanente.

1.6.4 Medidas temporales activas

Se consideran como medidas temporales activas aquellas cuyo objetivo es provocar la caída de las zonas potencialmente inestables en condiciones controladas. La medida más habituales son: Limpieza y saneo

LIMPIEZA Y SANEO

Es una labor muy simple pero no menos importante, que consiste en detectar masas inestables y provocar su caída; su éxito radica en la accesibilidad del punto de inestabilidad.

Requiere la inspección frecuente de zonas o puntos potencialmente peligrosos, constituyendo un procedimiento aceptable para las vías de poco tránsito y baja frecuencia de accidentes. En el caso de carreteras, tiene el inconveniente del posible deterioro de la superficie de rodadura de la calzada tras el impacto de los fragmentos de roca a eliminar.

Es de señalar que esta tarea, en general, se ejecuta como paso inicial en los emplazamientos en los cuales se aplicará alguna de las soluciones de estabilización y protección que se verán con posterioridad.

En lugares inaccesibles para la maquinaria, la eliminación del suelo inestable sólo puede hacerse de forma manual, mediante personal especializado, que mediante técnicas de escalada accede hasta los puntos de actuación y con herramientas manuales procede al derribo de la masa.

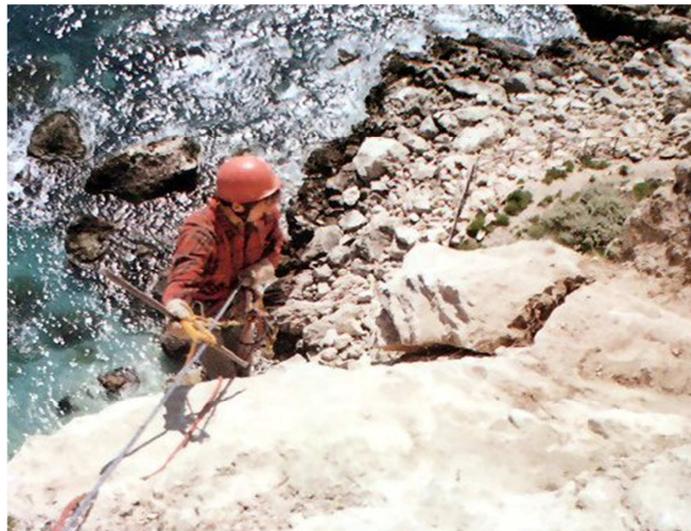


Figura 25. Saneo manual.

La labor de saneo manual debe ser realizada por personal muy especializado, capaz de discernir que bloque debe o no ser saneado, en qué momento y con qué herramienta. Un saneo incorrecto puede generar mayores inestabilidades.

La peligrosidad es evidente, y la necesidad de estudiar el talud antes de la actuación es obvia. Puntos de "amarre", líneas de vida, posibles trayectorias de bloques o vías de escape son elementos que el equipo de trabajo debe estudiar con minuciosidad antes de comenzar cualquier saneo.

Si en toda actividad ligada a la estabilización de taludes, la especialización del personal es prioritaria, ninguna técnica requiere tanto una experiencia y perfecta coordinación entre todos los componentes del equipo como el saneo manual de bloques.

1.6.4.1 Medidas permanentes activas

El objetivo de estas medidas es evitar que el fenómeno pueda iniciarse. Son más útiles y adecuadas para problemas puntuales y definidos, y aunque también pueden aplicarse a situaciones de gran extensión y de difícil definición, en la mayoría de estos casos debe acudirse a las medidas permanentes pasivas.

Se pueden considerar las siguientes:

- Reexcavación
- Gunitado
 - Puntual o Sistemático
 - Armado
- Hormigón
 - Estructuras de contención: Muros
- Otros
 - vegetación
 - drenaje

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

REEXCAVACIÓN

Es uno de los métodos más utilizados en la mejora de las condiciones de estabilidad de los taludes; es un método correctivo y está ligado a deslizamientos en el cuerpo del talud. Un factor que influye de manera significativa en la inestabilidad, ha sido el mantener una sección tipo en todos los taludes a lo largo del trazado, sin atender adecuadamente el estado y la estructura del terreno.

Cuando la estructura del terreno lo permite, se puede reducir el peligro realizando el corte escalonado del talud, para crear una serie de bermas que permitan la recepción de piedras resultantes de pequeños derrumbes, evitando que vayan a parar a la calzada.

Hay que tener en cuenta que las labores de excavación para la modificación de los taludes, además de los volúmenes de obra adicionales a ejecutar, tienen un costo por metro cúbico mayor por las dificultades en la ejecución.

GUNITADO

La estabilización y revestimiento con gunita, de taludes y excavaciones es, hoy en día una técnica muy usada en la construcción. Está encaminada a reducir o minimizar la alteración de la pared del talud por efecto del proceso de meteorización. Garantiza el sellado de las juntas y adiciona un soporte estructural.

Para su confección se emplearán áridos naturales o producto de machaqueo, con una curva granulométrica que dependerá del fin con que se emplee -mortero u hormigón; en cualquier caso continua y con tamaños inferiores a 25 mm.

El cemento a emplear en general es Portland 350 o PUZ 350, salvo caso en que vaya a estar expuesto a aguas con alta concentración de sulfatos, en los que se empleará cemento resistente a sulfatos.

Se deberá emplear armadura siempre que tenga que resistir esfuerzos estructurales o de temperatura. Por lo general consiste en una malla alambre de triple torsión o malla de acero electrosoldado, dependiendo de su finalidad.

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

Existen experiencias satisfactorias en empleo de fibras de vidrio, poliéster, polietileno y acero con refuerzo mezclado integralmente en la gunita. Fundamentalmente este refuerzo por medio de fibras tiende, en casos, a sustituir armaduras.

En los taludes existen fundamentalmente dos procedimientos de utilización:

- Mortero proyectado en capas: Está destinada para la protección de superficies contra la meteorización; el espesor medio puede oscilar entre 0,07 y 0,10m.
- Hormigón proyectado en masa: Su principal función es rellenar grietas o fisuras e inmovilizar pequeños bloques inestables, así como contribuir a regularizar superficies.



Figura 26. Gunitado sobre un talud con malla como armado.

El empleo de gunita armada con fibras es sumamente efectivo en taludes rocosos irregulares, donde puede lograr que la armadura llegue a todos los puntos, cosa que resulta sumamente difícil de conseguir cuando se emplean otros tipos de armadura.

El gunitado tiene el inconveniente de ser una solución antiestética y costosa, pero en muchos casos imprescindible. Las soluciones a base de gunitado, si están adecuadamente ejecutadas y aplicadas en los lugares correctos, reducen notablemente el proceso de alteración de las rocas y son de gran durabilidad.

Los fracasos del gunitado se deben normalmente a las causas como la aplicación sobre superficies sucias, inadecuado espesor del tratamiento,

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

aplicación sobre taludes de suelos finos y arcillosos e inadecuado drenaje. En estos casos el tratamiento se desprende y se acelera el proceso de alteración y erosión del talud.

HORMIGÓN

➤ Estructuras de contención: muros

Los muros para la contención, antiguamente se hacían con mampostería pero con la introducción del hormigón como material de construcción, se inicia la ejecución de muros en masa o de gravedad que evolucionan a muros estructurales de hormigón armado en sus múltiples variantes y más recientemente a muros prefabricados y muros jardinera, entre otros.

Si se utiliza como solución a una rotura de tipo global. Es necesario tener en cuenta que la estructura de contención ha de contener la superficie de deslizamiento formada o por formarse.

Los muros se pueden construir no sólo cerca de la calzada al nivel de la cuneta, sino en cualquier lugar de la ladera o del talud donde las condiciones lo requieran. Es cada vez mayor el número de muros de contención que incorporan anclajes profundos y tensados como fuerza estabilizadora permanente.

El empleo de muros de contención es común para corregir el movimiento o deslizamiento de grandes capas o para prevenirlos en zonas en que sean de temer, de hecho su principal campo de aplicación es la prevención.

Esta solución se ha considerado como una posible alternativa a la solución que se adopte y se han realizado cálculos de estabilidad de un muro armado tipo ménsula. (Ver Anejo N°2).

Pese a ello no es una buena solución porque afectaría a las servidumbres y los campos agrícolas próximos tanto si este está en trasdós o en intradós ya que es un muro ménsula.

Esto hace que no sea viable esta solución ya que no permitirían hacerlo, por expropiaciones e invasión de parcelas



Figura 27. Tipología de muros más empleados.

OTROS:

➤ Vegetación

Se trata de un método preventivo y correctivo de inestabilidades cuyo origen principal sea la erosión. Los movimientos de tierra que acompañan la excavación de desmontes, inevitablemente, ocasionan la destrucción de la capa vegetal, dejando el terreno expuesto a los agentes medioambientales.

El objetivo de utilizar vegetación es disminuir el contenido de agua y proporcionar consistencia en la zona más superficial, por el entramado mecánico de sus raíces.

Como es lógico las plantas toman el agua que necesitan del suelo en que crecen, pudiéndose plantear criterios para la selección del tipo de especies recomendado en cada caso; en principio se deberán emplear especies autóctonas para evitar problemas en la adaptación al ambiente. La experiencia ha probado que es más efectivo para defender taludes la plantación continua de pastos y especies arbustivas, en lugar de árboles.

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

Hay zonas en que la reforestación se produce de forma casi natural e inevitable y sin embargo hay otras en que resulta muy difícil el crecimiento vegetal.

En muchos lugares se aplica como solución la hidrosiembra; su tarea consiste en evitar erosiones a medio y largo plazo, así como inestabilidades en espacios pequeños y aunque no evitan las caídas, si detienen los bolos incluidos en una masa de suelo.

En casos simples, basta con hidrosiembra, debiéndose cumplir que el subsuelo no esté demasiado seco, debiendo, además mostrar un poder de retención del agua.

La hidrosiembra tiene una capacidad limitada de protección contra las erosiones superficiales; por lo que no es recomendable su aplicación en grandes pendientes.

En los casos más difíciles se deben aplicar dos capas, una primera capa vegetal de base donde estén almacenadas las materias alimenticias y la humedad y encima una capa de hidrosiembra.

La aplicación de una alfombra vegetal presenta una posibilidad viable, en lugares pequeños y de mal acceso, a un precio económico en relación con los procedimientos de revegetación más laboriosos

Esta solución no es buena porque en próximas avenidas, acabará volviendo a surgir el mismo problema que se tenía de inestabilidad de taludes.

➤ Drenaje

Una fuente común de mal funcionamiento ha sido el descuido del drenaje de la propia estructura. Este elemento que siempre es fundamental, resulta de vital importancia por razones obvias, cuando el muro se relaciona con problemas de estabilidad de taludes.

Debe considerarse que el coste del drenaje es muy pequeño en relación al coste total y que en cambio su importancia es primordial para la seguridad del muro.

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

Es importante que se ubique en coronación del talud superior a la carretera unas bajantes que permitan recoger el agua y desagüe en el barranco de la Font Freda.



Figura 28. Cuneta trapezoidal al pie de talud.

1.6.5 Medidas permanentes pasivas

Pretenden, de modo permanente, modificar la propagación de la inestabilidad.

Son medidas encaminadas a prever los posibles riesgos de un desprendimiento de materiales en un talud o ladera, controlando y fijando el recorrido de los materiales, y evitando que puedan producir daños.

En la mayoría de los casos, por la extensión, intensidad o características de los desprendimientos son las únicas medidas "abordables" y útiles si están bien diseñadas.

Dado que la "magnitud" de los desprendimientos puede ser muy variada, la tipología de estas medidas también lo es. Se pueden clasificar en los siguientes grupos:

- Mallas o redes
 - De alambres: colgadas o adosadas
- Zanjas de pie
 - Cunetas
 - Fosos de recogida

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

- Muros de detención
 - Gaviones
 - Hormigón
 - Elementos especiales

MALLAS Y REDES

- Malla de alambre de triple torsión

El revestimiento del talud con mallas metálicas de triple torsión, es un tratamiento eficaz y que ha sido muy utilizado en las carreteras y autopistas de todo el mundo.

Teniendo en cuenta la proximidad de la malla al talud, la densidad de anclado y la forma de colocación, se pueden clasificar en mallas colgadas o adosadas al terreno.

Mallas colgadas

Evitan que las piedras que se desprenden de lo alto del talud, tomen velocidad y que, al tropezar con los salientes, vuelen y caigan directamente sobre la calzada, encauzando su movimiento lentamente entre la pared rocosa y la malla hasta el pie del talud, donde los desprendimientos se acumulan.



Figura 29. Malla colgada.

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

En la coronación del talud la malla se sujeta mediante un cable anclado a la superficie de la ladera, con bulones o piquetes. En la cara del talud la malla se mantiene libre y en la parte inferior se amarra con barras de acero gruesas para garantizar su contacto con la ladera. La parte inferior de la malla se termina a 0,5-1 m por encima del pie del talud para facilitar el mantenimiento.

Esta solución puede permitir en zonas muy ajustadas, limitar el ancho en la base del desmonte, acercando el pie de los taludes al borde de la calzada.

ZANJAS DE PIE

Las zanjas o cunetones de pie son adecuados para recoger pequeños desprendimientos (caídas planas, cuñas, vuelcos, colapsos, ...)

En general las trayectorias con rebotes son las más difíciles de predecir y hay factores, como las bermas intermedias, que pueden aumentar su peligrosidad. Las trayectorias pueden complicarse con la geometría del talud y dependerán además de la rugosidad del talud, de la forma de los fragmentos, de su volumen y otros muchos factores.

Cuando las zanjas de pie alcanzan unas dimensiones considerables (sobre todo en profundidad) o cuando no se encuentran entre el talud o ladera y una vía de comunicación (o incluso no se encuentran "al pie" del talud), suelen denominarse Fosos de recogida. Estos "fosos", por otra parte, suelen requerir, para su conformación, de la colaboración de otras de las medidas como muros, pantallas, caballones, etc.

MUROS DE DETENCIÓN

Se denominan así, frente a los muros de sostenimiento o de contención, porque con ellos no se pretende sostener ni contener sino detener los bloques desprendidos desde cualquier punto del talud.

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

Los muros de detención no solo se construyen como obstáculo para detener a los bloques, sino como elemento para configurar un enorme (más o menos) foso de recogida de bloques.

Se pueden considerar estos tipos:

➤ Muros de gaviones

La estructura de la obra de realizada con gaviones se caracteriza por los siguientes factores: es monolítica y continua, flexible y drenante, teniendo además un importante valor ecológico por su adaptabilidad al medio.

Existe una versión en alambre de acero dulce galvanizado que forma una bolsa, dentro de la cual se colocan geotextiles compuestos de fibras sintéticas tridimensionales y manto orgánico, para hacer crecer la vegetación.

Su utilización está recomendada para taludes de poca pendiente; en la mayoría de los casos combinando con el recubrimiento de todo el talud con mallas de triple torsión.

➤ Muros de hormigón-In situ o Prefabricados

Son muy rígidos luego para bloques que desarrollan para altas energías no es una solución adecuada ya que es posible que rompan en el impacto.

Por otro lado, especialmente los muros prefabricados son de fácil ejecución. Su principal ventaja radica en que pueden combinarse con otros elementos



Figura 30. Muro de escollera.

1.7 Descripción de la solución adoptada

Modelizando la solución planteada mediante cálculos, (detallados en el Anejo N°1 **"Análisis de la inestabilidad"**), se comprueba la estabilidad del conjunto de la ladera.

Se plantea la solución que a continuación se explica (detallada en los planos 6, 7 y 8 del Anejo N° 3 **"Planos"**):

1. Se resuelve la inestabilidad del talud inferior mediante la construcción de un muro de escollera de sección altura variable en los 35 m de la carretera CV-615, entre el PK 4+985 y PK 5+020. Una alternativa a esta solución podría consistir en la construcción de un muro de hormigón armado cuyo diseño se incluye en el segundo anejo de este trabajo.
2. Se resuelve la inestabilidad del talud superior mediante una reexcavación en una longitud de 30 m, a 5 m de altura desde el pie del talud se ejecuta una berma de 4 m de anchura, se coloca un malla colgada desde esta altura y revistiendo los últimos 4 m de altura de la superficie del talud con 20 cm de gunita.

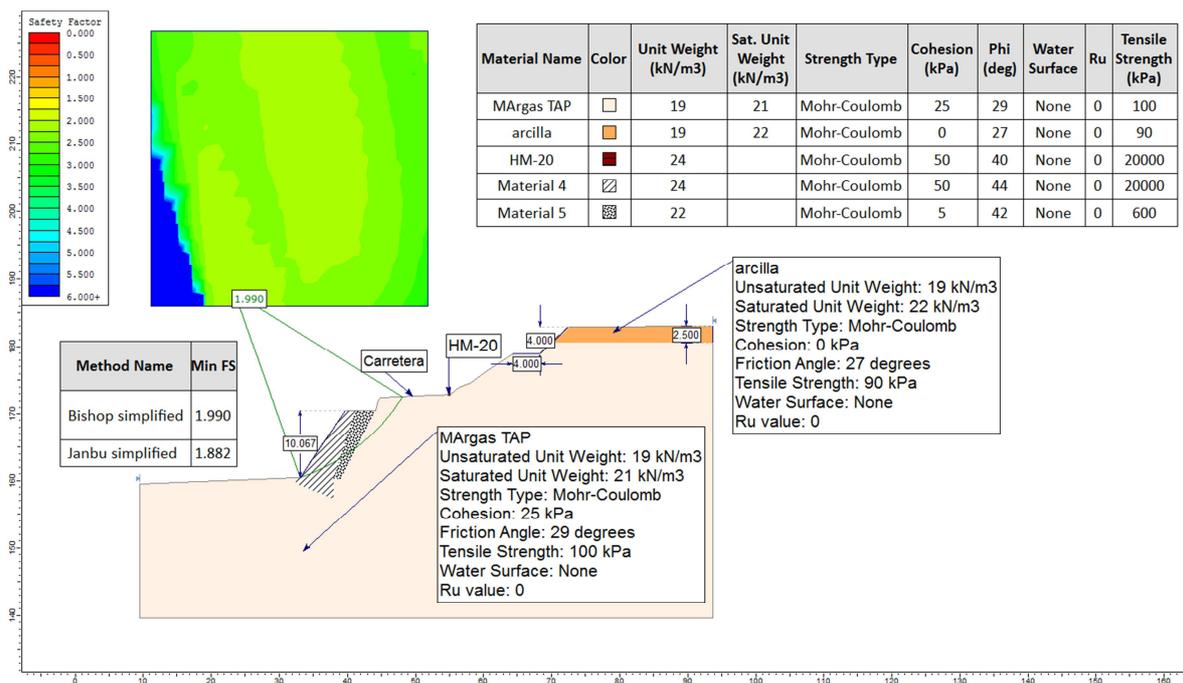


Figura 31. Cálculo de la solución propuesta de muro de escollera. Fuente propia.

Siguiendo las directrices de la Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera, se ha estimado el Factor de Seguridad (FS) de los taludes una vez estabilizados. Dicho factor se ha visto incrementado hasta un mínimo de 1,990, mayor al estimado en condiciones normales, muy por encima de los valores mínimos exigido por los criterios de diseño de la Guía de Cimentaciones en Obras de Carreteras (Ministerio de Fomento, 2004) para procesos de cargas permanentes a largo plazo ($1.4 < FS < 1.5$).

Por lo tanto, la solución óptima que se propone para realizar la estabilización de los taludes, es necesario ejecutar los siguientes trabajos:

1.7.1 Retirada de arbolado y vegetación.

En primer lugar se realizará una retirada de arbolado y vegetación existente en los taludes, que está en peligro de caer y limpieza de todo el perímetro de la actuación.

Esta acción la realizarán los operarios con medios mecánicos y/o manuales, y provistos de las necesarias medidas de protección, estando en todo momento unidos a una línea de vida instalada en coronación de la loma. Anteriormente a la realización de cualquier trabajo en el talud, se realizará una línea de vida, para los operarios que trabajen en el talud de forma segura.

1.7.2 Excavación del talud inferior.

A pesar de que el talud inferior saturado presenta una estabilidad con coeficiente de seguridad alto, durante el proceso de excavación para la ejecución del muro, (ya sea el caso de que esté en seco), el coeficiente de seguridad disminuye drásticamente.

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

Por ello, con el fin de garantizar la seguridad de los trabajadores, y evitando que se produzca un deslizamiento durante la ejecución de la excavación, se deberá proceder a la ejecución de la excavación y del propio muro de escollera por bataches al tresbolillo.

Con carácter previo, se comprobará que el talud esté en condiciones adecuadas: superficie regular, ausencia de salientes o terreno inestable, zonas con restos vegetales y otros materiales no deseados, afloramiento de aguas, etc. Se limpiarán los materiales extraños y se refinará la excavación hasta dejar superficies regulares.

Asimismo destacar, que si durante la ejecución de las distintas fases, se producen fenómenos meteorológicos, como lluvia, que puedan altera los parámetros tensodeformacionales para las margas o incluso las arcillas del talud superior, se deberán extremar las precauciones de seguridad de la obra, así como para los usuarios de la vía, ya que el coeficiente de seguridad del talud, será muy inferior a 1, por lo que no será estable. Por ello, se recomienda realizar este muro en época estacional favorable.



Figura 32. Perfilado de un talud con maquinaria.

1.7.3 Ejecución de muro de escollera.

Una vez ejecutada la excavación por bataches, se deberá proceder a la ejecución del muro de escollera completo en el batache correspondiente, con bloques de escollera con peso superiores a los 500 Kg.

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

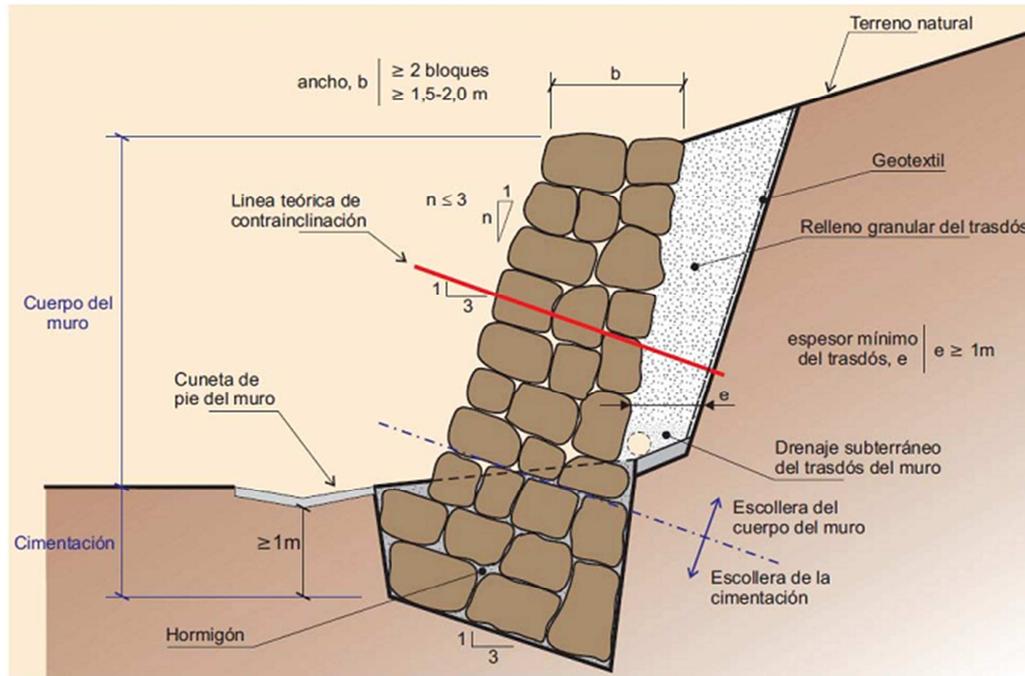


Figura 33. Definición del muro de escollera colocada propuesta. Fuente: Figura 2.1 de la Guía para el proyecto y la ejecución de muros de escollera en obras de carretera (M^o Fomento, 2007).

Las dimensiones del muro de escollera se pueden describir como un muro de 10 m de altura y 46,5 m de ancho, de sección constante en los 35 m centrales y dejando 5,75 m a cada lado una zona de transición para finalizar el muro en sentido longitudinal. Además el fuste es de sección variable pasando de 5 m en el pie a 1,5 m en coronación, punto donde el material de relleno adopta mayor espesor. Posee una inclinación en el fuste de 1/2,50 además de la pendiente en coronación del 10% para evitar acumulación de agua o material no deseable.

En caso de optar por la alternativa del muro de hormigón este debería tener las siguientes dimensiones: un fuste de canto variable desde 1 m en su arranque a 0,50 m en coronación, llegando a 12 m de altura se apoya sobre una zapata de 1 m de ancho y 5,5 m de largo que se reparte en 3 m en la puntera y 1,5 m en el talón. Abarcaría una longitud total de 35 m también pero este no es necesario según los cálculos del anejo N^o 5 **“Cálculos de empujes de tierras y diseño del muro”** de tacón.

1.7.4 Reexcavación

En el talud superior deberá de realizarse los trabajos de excavación mediante carga y empuje con la ayuda de una pala cargadora y camiones volquete hasta una altura de 5 m. Es importante mantener el perfilado del nuevo talud para conseguir una adecuada estabilidad. Luego se deberá de acondicionar una berma de 4 m de longitud para reducir el peso del talud y evitar que se desestabilice.

1.7.5 Colocación de una Malla de triple torsión y Hormigón proyectado

Una vez realizada la reexcavación se procederá a colocar en el talud en terraplén una malla colgada anclada cada 2 metros en la berma y en el resto del talud en desmonte un revestimiento de hormigón proyectado (Gunita) con fibras de acero para sostener el estrato de las arcillas. Así como también será necesario agujerear la superficie gunitada para un adecuado drenaje.

1.7.6 Drenaje superficial.

Se dispondrán de cunetas de guarda en coronación del talud superior y cunetas de pie bajo el muro de escollera así como sobre la berma, bajo el talud protegido con gunita. La cuneta interior de la calzada existente se aconseja limpiarla a fondo o incluso aumentar su sección, para evacuar todo el caudal que se pueda generar.

En la parte superior habrá que proporcionar una pendiente del 10% desde los extremos de la obra (30 m) hacia el Pk 5+000, en la berma y coronación del talud superior. Donde se instalarán dos bajantes que comuniquen las cunetas en los distintos niveles.

A continuación para evacuar toda el agua que se pueda recoger en la margen izquierda, (el de la propia carretera y los 30 m de nuevos taludes) se hará por medio de la cuneta colectora detrás del murete de medio pie que se encontrara limpia o ampliada de sección. Para las medidas de drenaje superficial del muro de escollera, se hará por medio de la cuneta al pie del muro de escollera que conducirá el agua al barranco.

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

1.8 Resumen de la valoración económica

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

1 OPERACIONES PREVIAS	26.418,16 €
2 REEXCAVACIÓN	22.418,35 €
3 DRENAJE	4.695,66 €
4 MEDIDAS DE PROTECCIÓN DE TALUDES	164.346,38 €
5 RESTAURACIÓN DEL PAISAJE	2.937,33 €

Total PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL: 220.815,88 €

El Presupuesto de Ejecución Material asciende a la cantidad de:

**DOSCIENTOS VEINTE MIL OCHOCIENTOS QUINCE EUROS
CON OCHENTA Y OCHO CENTIMOS**

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	220.815,88 €
GASTOS GENERALES (13%).....	28.706,06 €
BENEFICIO INDUSTRIAL (6%).....	13.248,95 €

Total PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA: 262.770,90 €

El Presupuesto de Ejecución por Contrata asciende a la cantidad de:

**DOSCIENTOS SESENTA Y DOS MIL SETECIENTOS SETENTA EUROS
CON NOVEINTA CENTIMOS**

PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	262.770,90 €
I.V.A. (18%)	55.181,89 €

Total PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN: 317.952,79 €

El Presupuesto Base de Licitación asciende a la cantidad de:

**TRESCIENTOS DIECISIETE MILNOVECIENTOS CINCUENTA Y DOS EUROS
CON SETENTA Y NUEVE CENTIMOS**

1.9 Conclusiones

Con el fin de minimizar las consecuencias de posibles movimientos de los taludes existentes en el tramo afectado, ante los más que probables episodios de lluvias intensas en el futuro similares a las ocurridas en diciembre de 2016, y con objeto de reconstruir los taludes afectados por el deslizamiento actual, se llega a las siguientes conclusiones, referentes a la contención de los taludes:

- I.* La primera medida consistiría en el saneo de los taludes existente en el tramo afectado por la inestabilidad. Retirada de vegetación y terreno removidos así como otros elementos que hayan quedado afectados. Limpieza exhaustiva de cunetas y del trasdós del murete de guarda existente en el margen derecho de la calzada de la carretera CV 615 del tramo afectado.

- II.* En el talud de desmonte del margen izquierdo de la carretera (según Pk creciente), construcción de un muro de contención tipo escollera colocada en el pie de la ladera, siguiendo las indicaciones de la Guía para el Proyecto y la Ejecución de Muros de Escollera en Obras de Carretera (Ministerio de Fomento, 2007).

Los materiales a utilizar para la construcción de este muro, según recomendaciones del M^o de Fomento, deberán cumplir las prescripciones de la citada guía. Para garantizar la permeabilidad del muro, es importante reseñar que puede recebarse la escollera con hormigón en masa aunque es más recomendable solo en la cimentación del muro.

En cuanto al material de relleno del trasdós, se recomienda utilizar un material de cantera machacado, de granulometría uniforme de tamaño máximo comprendido entre 40-60 mm. Para evitar la contaminación de finos procedentes de la ladera, se deberá colocar un geotextil entre la ladera y el material de relleno así como un tubo dren para mantener seco y protegido el muro.

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

En cuanto al drenaje, se llega a las siguientes conclusiones:

- I.* Se deben diseñar los elementos de drenaje necesarios distinguiendo entre el drenaje superficial (cunetas a pie de muro) y el subterráneo (dren en el trasdós del muro). El primero se debe definir de acuerdo con lo especificado en la norma 5.2-IC y el segundo siguiendo las recomendaciones de la OC 17/2003. En lo referente al drenaje subterráneo, debe evitarse la acumulación de aguas en el trasdós y el cimiento del muro. Se deben definir las cotas y pendientes finales de hormigonado del cimiento para impedir la acumulación del agua en los mismos, garantizando su salida.

- II.* La Guía recomienda no construir bajantes u otros elementos sobre los muros de escollera, salvo que se proyecten medidas especiales que avalen su buen comportamiento, aun cuando en el paramento de escollera se produjeran movimientos decimétricos. Siguiendo estas indicaciones no se aconseja darle servicio a la tajea existente y evacuar el agua por una cuneta bajo el pie del muro, llevándola al barranco más cercano.

- III.* En el talud de desmonte de la carretera, en cabeza de talud, justo en la zona donde aparece un surco de recogida de agua de escorrentía que procede de las parcelas colindantes (Pk 4+990), se recomienda colocar sobre el talud un encachado de piedra natural, con placas de piedra de unos 20 cm de espesor trabada y rellenas sus juntas con mortero de cemento tipo M45. Esta actuación tiene un doble cometido, por un lado servir como elemento protector frente a la erosión y arrastre de suelo y vegetación y, por otro lado, impedir la acumulación de agua sobre las arcillas más superficiales que provoca el cambio de consistencia de este material y , en consecuencia, la "colada de barro".

Estudio y propuesta de soluciones para la inestabilidad de los taludes de la carretera CV-615, Carrícola, (Valencia)

El presupuesto base de licitación de las actuaciones recomendadas ascienden a 317.952,79 €.

Con eso se da por finalizado este trabajo habiendo alcanzado los objetivos inicialmente planteados a juicio del autor.

Valencia, Septiembre de 2017

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized 'A' followed by a vertical line and a horizontal stroke at the bottom.

Fdo: Andreu Soler Llopis