

ESTABILIDAD DE TALUDES EN SUELOS

INVESTIGACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN SUELOS (SOLUCIONES FLEXIBLES)

Luis Ortuño
Uriel y Asociados, S.A.
Universidad Politécnica de Madrid
lortuno@urielyasociados.es

ÍNDICE

1 - INTRODUCCIÓN	4
2 - METODOLOGÍA DE ESTUDIO.....	4
2.1 - Generalidades. Un enfoque “médico”.....	4
2.2 - Estudio previo en gabinete.....	5
2.3 - Reconocimiento visual inicial.....	9
2.4 - Otros trabajos preliminares	10
2.4.1 - Obtención de información local.....	10
2.4.2 - Obtención de planos topográficos.....	10
2.4.3 - Preparación, sobre la base topográfica, de planos geológicos y geomorfológicos.....	11
2.4.4 - Dibujo de los alzados de los taludes deslizados, sobre foto seriada o sobre plano	13
2.4.5 - Ejecución de prospecciones sencillas.....	13
2.4.6 - Elaboración de fichas de inventario.....	14
2.5 - Prospecciones geotécnicas y ensayos de laboratorio	16
2.6 - Auscultación básica.....	18
2.6.1 - Localización de superficies de deslizamiento y seguimiento de las deformaciones.....	18
2.6.2 - Determinación y seguimiento de niveles piezométricos.....	23
2.6.3 - . Otros factores a considerar con relación a la influencia del agua.....	24
2.7 - Análisis retrospectivos.....	24
3 - ACTUACIONES CORRECTORAS. MEDIDAS “FLEXIBLES”.....	25
3.1 - Generalidades.....	25
3.2 - Modificaciones en la geometría del talud.....	26
3.2.1 - Suavización de pendiente.....	26
3.2.2 - Excavaciones en coronación (descarga).....	30

3.2.3 - Rellenos de pie del talud (combinación de una modificación de geometría junto con la introducción de un elemento de contención).....	33
3.3 - Estructuras flexibles de contención.....	40
3.3.1 - Macizos de suelo reforzado.....	40
3.3.2 - Taludes clavados (“Soil nailing”).....	41
3.4 - Mantos superficiales de contención. Reptaciones y flujos de barro.....	42
3.5 - Actuaciones basadas en el drenaje.....	47
3.5.1 - Drenaje somero en taludes. Zanjas drenantes.....	47
3.5.2 - Drenaje profundo.....	52
3.5.3 - Drenes “californianos”.....	53
3.5.4 - Pozos de drenaje.....	56
4 - GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN GEOTÉCNICA PARA EL MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN DE CARRETERAS CON PROBLEMAS DE INESTABILIDAD DE LADERAS.....	59
5 - BIBLIOGRAFÍA.....	65

INVESTIGACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN SUELOS (SOLUCIONES FLEXIBLES)

1 - INTRODUCCIÓN

Una vez tratados los conceptos y métodos principales del cálculo de estabilidad, en los apartados siguientes se describen de forma somera los pasos a seguir en el estudio y/o interpretación de problemas de estabilidad de taludes y laderas.

En general se ha supuesto que el terreno es de tipo suelo. Los taludes rocosos sólo se tratarán de una forma puntual para mostrar algún ejemplo interesante, dado que su problemática y metodología propias se tratarán en otra parte de este curso.

A continuación se describen algunas de las soluciones que habitualmente resultan más económicas, explicando su fundamento y aplicación, lo que no quiere decir que sirvan para solucionar todo tipo de problemas. En este sentido, habida cuenta del enorme abanico de actuaciones posibles, se ha optado por reducir inicialmente la casuística y hacer especial hincapié en estas líneas en lo que llamaremos “soluciones flexibles”, que son las que menos medios especiales requieren y, por consiguiente, las comúnmente más económicas. Más adelante se tratarán otro tipo de soluciones más “rígidas” (y en general más costosas).

Finalmente, se ha dedicado un capítulo a la “gestión de la información geotécnica viaria”. El objetivo del mismo es mostrar algunas ideas y ejemplos interesantes sobre el empleo organizado de la información que se genera en una red viaria de comunicaciones, ya sea por carretera o ferrocarril, de manera que sirva de ayuda en la evaluación de riesgos e incluso en el análisis de inversiones.

2 - METODOLOGÍA DE ESTUDIO.

2.1 - Generalidades. Un enfoque “médico”.

El estudio y resolución de un fenómeno de inestabilidad, como cualquier otra manifestación patológica, tiene muchas similitudes con la Medicina. Así, en el caso de un deslizamiento producido, si no se realiza un diagnóstico geológico-geotécnico acertado y se descubre el origen o las causas de la inestabilidad, será difícil dar con un remedio realmente efectivo.

Aprovechando la similitud anterior y con la mayor generalidad, en el estudio de un problema de estabilidad será recomendable seguir las siguientes etapas:

- 1.- Elaboración de un “historial clínico” (análisis de problemas similares anteriores, estudio de antecedentes próximos en materiales similares, etc.).
- 2.- Realización de un primer reconocimiento o exploración sencillos. Emisión de un diagnóstico tentativo y establecimiento de algún tratamiento provisional, si resulta necesario.
- 3.- Realización de análisis de mayor detalle para (investigación geotécnica preliminar) y, en caso necesario, realización de pruebas o exploraciones más complejas (investigación y auscultación especiales).
- 4.- Estudio de resultados obtenidos en las pruebas efectuadas. Establecimiento del “cuadro clínico definitivo”, obtención de un diagnóstico definitivo y toma de decisiones en cuanto al tratamiento.
- 5.- Aplicación del tratamiento (ejecución) y seguimiento de la evolución (auscultación).

Obviamente la relación anterior es muy general. En ocasiones no todas las etapas anteriores son necesarias, y muchas veces se puede alcanzar un diagnóstico acertado sólo con las primeras. En cualquier caso, manteniendo la generalidad, el proceso anterior llevado al ámbito geológico-geotécnico de un problema de estabilidad de taludes y laderas tendría su traducción directa en las siguientes etapas de estudio:

2.2 - Estudio previo en gabinete.

La primera etapa debe consistir en el estudio de la información previa disponible. En este sentido existen numerosos documentos generales de interés, que pueden ser consultados, ya que pueden proporcionar una información muy valiosa en cuanto al tipo de formaciones existentes y sus problemas potenciales. Entre la documentación más habitual cabe destacar:

- Mapas topográficos
- Mapas geológicos
- Mapas geotécnicos

- Mapas especiales (riesgos de inestabilidad de laderas, hidrológicos, expansividad, etc).

Resulta asimismo del mayor interés consultar las fotografías aéreas. Los técnicos adiestrados en la observación de estas fotos, en general geólogos especializados en ingeniería civil, pueden detectar y acotar con sorprendente sencillez la existencia de problemas de estabilidad en la zona de estudio o en su entorno.

El empleo de foto aérea resulta muy útil para estudiar inestabilidades asociadas a grandes deslizamientos preexistentes, difícilmente visibles si no es “a vista de pájaro”. También resulta muy valioso para obtener una visión global de la geomorfología y de los posibles problemas de una amplia zona, en la que por ejemplo haya que insertar un trazado.

Hasta tal punto resulta efectivo que, en numerosas ocasiones, si se hubiera realizado una consulta adecuada de foto aérea antes de la construcción de un determinado tramo de carretera o ferrocarril, se habría conocido a priori la existencia de problemas y se podría haber actuado en consecuencia.

A modo de ejemplo, en la Figura 1 se muestra un “montaje fotogeológico” de una ladera en Alora (Málaga), en la que las vías del ferrocarril se encontraban afectadas por movimientos periódicos que obligaban a reparaciones sistemáticas. El problema parecía local, y así se había estudiado hasta el momento, aplicando reparaciones también locales que nunca llegaban a hacer desaparecer por completo los problemas, que volvían a aparecer pasado un tiempo.

La foto aérea y una interpretación geomorfológica adecuada reflejaron que las dimensiones de la masa deslizada superaban en planta los 2 Km de longitud, lo que había dado lugar, entre otras cosas, a la desaparición de los meandros originales del río, que había sido “empujado” hasta formar tramos de cauce considerablemente rectilíneos. Es evidente que un simple estudio puntual del desmonte anejo a la vía no habría podido en absoluto establecer un diagnóstico adecuado.

Un segundo ejemplo se muestra en la Figura 2, que muestra la interpretación geomorfológica de un gran deslizamiento en La Riba (Tarragona), que había provocado serios desperfectos en la vía del ferrocarril, en la carretera CN-340 y en algunos de los edificios de la localidad. La ejecución en el pasado de medidas de contención bastante contundentes, como potentes escolleros o muros anclados, no resultó fructuosa, probablemente por no haber alcanzado una visión global suficiente y no haber apreciado el

alcance y génesis del deslizamiento (que puso en movimiento unos 800.000 m³ de tierras). Una combinación adecuada de estudios en campo junto con el análisis de la foto aérea permitieron obtener una visión más realista del problema y dirigir con mejores perspectivas de éxito las nuevas medidas de estabilización (Broc, V. et al., 1997).

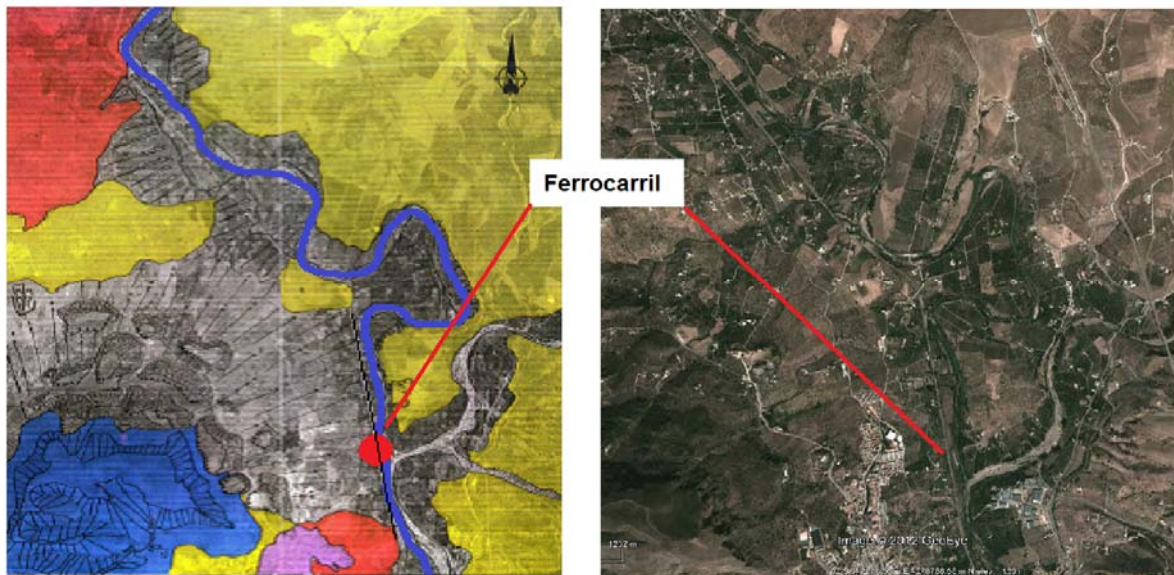


Figura 1: Planta fotogeológica de movimientos de terreno en Alora (Málaga)

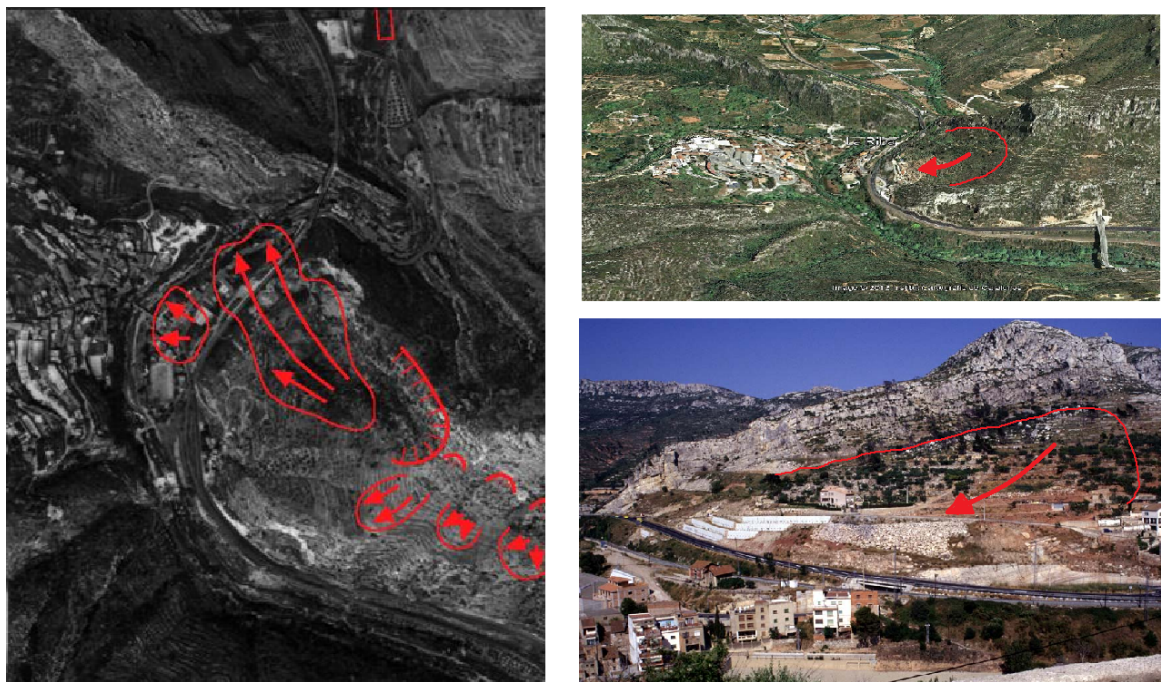


Figura 2: Deslizamiento de la Riba. Interpretación de foto aérea

Merecedora de atención es también la toponimia de la zona a estudiar. Así, como topónimos tales como “Arenas de San Juan”, “Yaserías”, etc indican el tipo de terreno predominante en una determinada zona, otros pueden además contener información relacionada con la estabilidad de los taludes. A modo de ejemplo, la carretera entre Ardales y Campillos, en la provincia de Málaga, registró durante los temporales de lluvias de hace unos años más de 100 deslizamientos en sus desmontes y laderas, discurriendo en su tramo más conflictivo por una amplia finca que, de forma muy ilustrativa, llevaba en nombre de “Los Destrozos” (Figura 3)



Figura 3: Reptación natural de taludes en “los Destrozos” (Málaga).

Si la documentación anterior resulta útil para establecer un marco de referencia que nos ayude a comprender y evaluar el alcance de los problemas de inestabilidad de laderas, no cabe duda que aún se puede avanzar considerablemente en la generación de información previa, o lo que es lo mismo, en la elaboración del “historial” geotécnico de cada zona o región.

En este sentido, a menudo cuando debemos enfrentarnos con un determinado problema local, observamos cómo en los alrededores también surgieron otros problemas, que debieron ser estudiados en su momento por otros especialistas. Obviamente sería muy

beneficioso contar con la información geológico-geotécnica generada anteriormente en las proximidades: las investigaciones y conclusiones de proyecto, los problemas surgidos durante la construcción y la forma en que fueron acometidos, las investigaciones complementarias, los estudios realizados y los detalles constructivos de las soluciones ejecutadas, etc. Desgraciadamente, es muy habitual que nada de ello se encuentre disponible y haya que empezar “casi de cero”, simplemente con la información cualitativa de las observaciones realizadas en campo o con el recuerdo de alguno de los técnicos que participaron en alguno de los casos.

Sin embargo, hoy en día se dispone de herramientas informáticas suficientemente potentes como para poder generar bases de datos suficientes que cubran estas lagunas. El esfuerzo que esta tarea requiere, cuando se intenta llevar a cabo, suele proceder de las Administraciones competentes en materia de conservación de carreteras de la zona de estudio, que son las más directamente involucradas en las incidencias de su red viaria, y por lo tanto poseen un mejor conocimiento de la misma y de sus problemas. En consecuencia, resultará muy valioso llevar a cabo una serie de consultas en este sentido. En el capítulo dedicado a “gestión de información geotécnica” se tratarán algunos ejemplos interesantes en este sentido.

2.3 - Reconocimiento visual inicial.

Una fase muy importante en la elaboración de un estudio de estabilidad, solapada o no con la anterior, es la realización de un primer reconocimiento visual de la zona, que debe ser llevado a cabo por técnicos especialistas (geólogos e ingenieros) suficientemente adiestrados para comprender las condiciones geológico-geotécnicas existentes.

Si se trata de estudiar una inestabilidad ya producida es preciso agilizar al máximo esta fase, con suerte todavía muy próxima a la generación del deslizamiento, con el fin de poder observar las “huellas frescas” del deslizamiento, aún no difuminadas por la lluvia, las labores de limpieza o los movimientos de reajuste del talud. También es el momento para planificar y decidir los primeros trabajos que pueden ser acometidos de forma inmediata, con facilidad y con muy bajo coste, y para adoptar las primeras medidas provisionales que permitan establecer un nivel de servicio aceptable, o, si se considera que la situación presenta un riesgo evidente, para recomendar el corte provisional del tráfico y su desvío.

Se debe recorrer bien toda la zona, más allá de los límites de cualquier problema localizado, con el fin de obtener una visión de conjunto.

2.4 - Otros trabajos preliminares

De forma complementaria, resulta habitual llevar a cabo algunas otras tareas, entre las que cabe citar las siguientes:

2.4.1 - Obtención de información local.

Este es un complemento a veces imprescindible, que debe completarse “in situ” con la ayuda de los técnicos responsables de la obra. Al estudiar un deslizamiento, es muy importante conocer cuándo ocurrió, cómo se produjo, si hubo signos previos (fisuras, agrietamientos, etc). Los técnicos de las administraciones locales son los que más saben de sus carreteras, las conocen en cada uno de sus kilómetros y aglutinan la información de qué se hizo en cada punto y qué resultado dio. Son los responsables de su mantenimiento y conocen su “historial”.

En el símil con la Medicina, serían los “médicos de cabecera” que conocen bien a sus pacientes y saben qué tratamientos son más efectivos, cuáles se han intentado y cuáles han funcionado. Si en alguna ocasión requieren la ayuda de un especialista geotécnico, la transmisión del historial clínico y la colaboración continuada durante todo el proceso de estudio resultan de una trascendencia primordial para alcanzar un buen diagnóstico y, sobre todo, para no errar en el tratamiento.

También resulta muy interesante investigar “el saber popular”, ya que a menudo las gentes del lugar conocen muy bien las zonas más problemáticas y su historia, los puntos de afluencia o acumulación de agua, etc. Atienza, M. & Ortuño, L. (1998) muestran algunos ejemplos significativos andaluces, como la identificación “popular” de la ladera más problemática en el trazado Lucena-Cabra (Córdoba) cuando se encontraba todavía en proyecto, y que realmente resultó finalmente la más conflictiva en la obra; los comentarios de personas de avanzada edad sobre la existencia de manantiales largo tiempo inactivos (e ignorados en proyecto) bajo los terraplenes deslizados de la A-92 en la Venta del Molinillo (Granada), más un largo etcétera. Como ya se ha mencionado anteriormente, merecedora de atención es también la toponimia de la zona.

2.4.2 - Obtención de planos topográficos

Si se trata de deslizamientos ya producidos, será del mayor interés conseguir una cartografía detallada de la zona deslizada y sus alrededores, no sólo de después de la inestabilidad, sino también anterior a ella.

La comparación entre ambas, especialmente en lo que se refiere a la representación de secciones transversales en la dirección del movimiento, suele permitir analizar de forma precisa las dimensiones y la geometría de la masa de suelo desplazada, aspectos éstos del mayor interés a la hora de interpretar el mecanismo de deslizamiento y de estudiar las posibles soluciones a acometer.

2.4.3 - Preparación, sobre la base topográfica, de planos geológicos y geomorfológicos.

También especialmente para el caso de deslizamientos ocurridos, con este tipo de planos se facilita la determinación de los límites de las zonas movilizadas, el estudio de la dirección del movimiento y el establecimiento de su historia, ayudando a establecer si los movimientos son recientes o si por el contrario son el efecto de la reactivación de una ladera que presenta huellas morfológicas de deslizamientos pasados.

Son bastantes los elementos que deben ser considerados en una cartografía geomorfológica. Entre ellos cabe destacar las grietas en el terreno y pavimentos, los daños en construcciones, los vuelcos y agrietamientos de muros, la inclinación de árboles y postes, los bloques desprendidos, los elementos antrópicos enfocados a la contención y su estado (gaviones, contrafuertes, muros), los puntos de afluencia de agua o especial humedad, etc.

Además de la simple representación gráfica, deben medirse y plasmarse todas aquéllas manifestaciones que ayuden a analizar la magnitud, alcance y profundidad del deslizamiento: la apertura de las grietas, los saltos entre labios, la situación y dimensiones de los escarpes, la dirección aparente del movimiento (mediante la observación de estrías en el terreno, de obras rotas y trasladadas, de raíces arrastradas, etc.).

A modo de ejemplo, la Figura 4 muestra un plano geológico-geomorfológico de un deslizamiento en Comiols (Lérida), en donde se puede apreciar el alcance de las masas deslizadas, los escarpes producidos y demás detalles relevantes para el estudio. También figura la ubicación de los sondeos de investigación realizados y la situación de los perfiles transversales generados.

La Figura 5, por su parte, recoge la planta del gran deslizamiento de La Riba antes comentado.

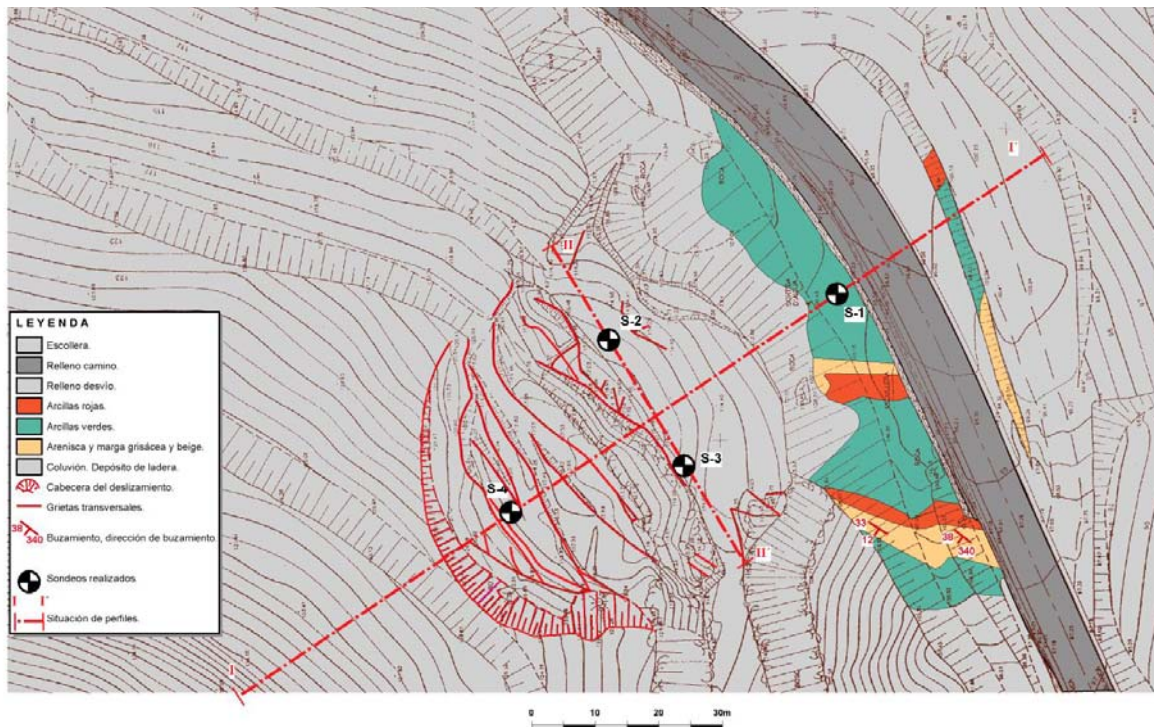


Figura 4: Planta geomorfológica de un deslizamiento en Comiols (Lérida). Se observan el alcance de la masa deslizada, la forma de “cuchara” en planta, los escarpes producidos, etc.

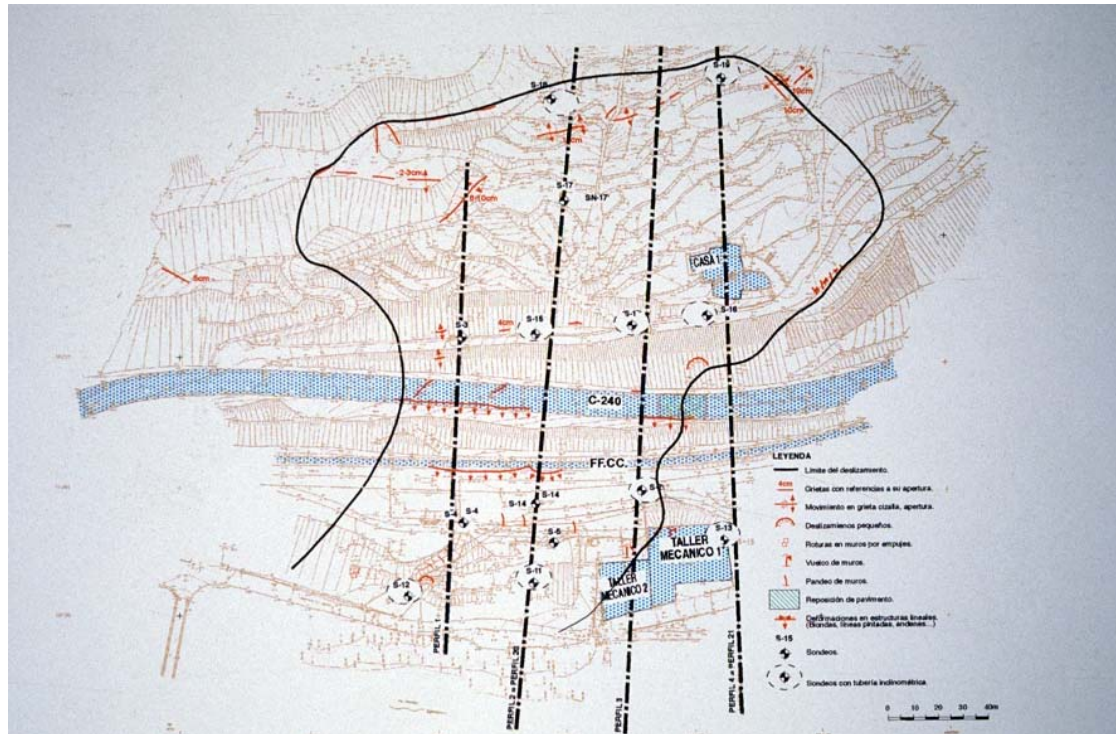


Figura 5: Planta geomorfológica de un gran deslizamiento en La Riba (Tarragona)

2.4.4 - Dibujo de los alzados de los taludes deslizados, sobre foto seriada o sobre plano

Además de las representaciones en planta, la obtención de alzados de los taludes permite representar desde otro punto de vista las condiciones geológicas y los signos visibles de las inestabilidades (grietas, “cucharas de deslizamiento”, etc.), lo que puede ayudar en la interpretación de las inestabilidades y en la adopción de soluciones.

De especial interés resulta este tipo de representación cuando se trata de analizar varios taludes de un viario ya construido, por ejemplo para la elaboración de estudios de conservación y mantenimiento. La representación de las diversas patologías y problemas observados sobre fotografías frontales de los taludes puede facilitar de manera muy considerable la clasificación y sectorización de los mismos, y por lo tanto la selección de las diversas soluciones a aplicar. Evidentemente pueden servir además para realizar un seguimiento lo largo del tiempo de la evolución de dichos taludes en cuanto a la progresión de los eventuales problemas de deterioro encontrados, o del funcionamiento y adecuación de las soluciones ejecutadas. Más adelante, cuando se traten los estudios de gestión, se ahondará en cierta medida sobre estos aspectos.

En cualquiera de los casos y como ejemplo, la Figura 6 muestra la representación en alzado de un talud rocoso. En el que se distinguen, aparte de las dimensiones acotadas del desmote, las unidades geológicas diferenciadas, su estructura y las inestabilidades producidas, lo que permite diferenciar los problemas ocurridos, sectorizar las zonas a reparar, y, en definitiva, ayudar a interpretar, comprender y solucionar los problemas surgidos.

2.4.5 - Ejecución de prospecciones sencillas

También en fases muy preliminares en los estudios de estabilidad puede resultar interesante llevar a cabo algunas prospecciones sencillas y económicas que faciliten la interpretación geológica y geomorfológica inicial. Dentro de este grupo de investigaciones sencillas se podrían incluir, además de los recorridos de campo, los levantamientos de estaciones geomecánicas o los puntos de observación geológica, la ejecución de calicatas, ya sean manuales o con ayuda de retroexcavadora.

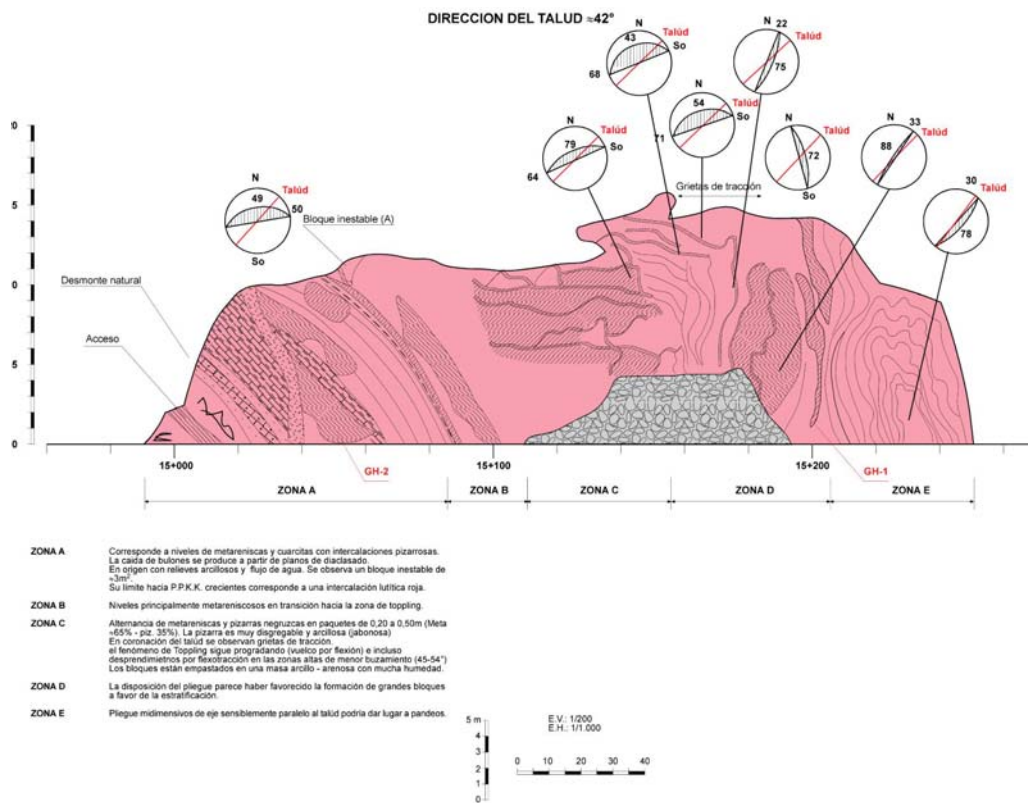


Figura 6: Desmonte en la CN-621. Cistierna (León). (Tomada de un informe de U&A)

2.4.6 - Elaboración de fichas de inventario.

Cuando en los alrededores existen otras obras en las que se han ejecutado taludes sobre materiales geológicos similares a los de la zona en estudio, puede resultar de gran interés recopilar de forma ordenada información relevante referente a los mismos.

Con este fin se suelen preparar fichas más o menos estandarizadas en las que se puedan plasmar de forma resumida los aspectos más significativos desde el punto de vista de la estabilidad (situación, geometría, altura, inclinación, formaciones geológicas afectadas, estructura, patologías observadas, etc.). Este tipo de recopilación de información sistemática permite obtener una idea muy valiosa de las dimensiones habituales de los taludes practicados en las diferentes formaciones geológicas de un determinado entorno, de cómo ha sido su comportamiento, de los problemas que han tenido, y a veces de cómo se han resuelto (qué tratamiento se han aplicado y cómo ha funcionado).

Un ejemplo de este tipo de fichas se muestra en la Figura 7.

INVENTARIO DE TALUDES (CARRETERA ACTUAL)	DESMONTE 3		
<div style="background-color: #cccccc; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">LOCALIZACION</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p style="text-align: center; margin: 0;">SITUACION CON RESPECTO AL NUEVO TRAMO</p> <p>ITINERARIO: JEREZ - LOS BARRIOS</p> <p>CARRETERA: A-381..TRAMO.V</p> <p>P.K. PROXIMO: 1+020-1+146</p> </div>			
<div style="background-color: #cccccc; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">CARACTERISTICAS GEOMETRICAS:</div> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; border: 1px solid black; padding: 5px; vertical-align: top;"> <p>MARGEN DERECHA: <input type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> No</p> <p>Longitud:</p> <p>Altura:</p> <p>Inclinación :</p> <p>Medida de protección existente:</p> </td> <td style="width: 50%; border: 1px solid black; padding: 5px; vertical-align: top;"> <p>MARGEN IZQUIERDA: <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No</p> <p>Longitud: 140,00 m</p> <p>Altura: 6,00 m - 7,00 m</p> <p>Inclinación: 27° (2H : 1V)</p> <p>Medida de protección existente: NO</p> </td> </tr> </table>		<p>MARGEN DERECHA: <input type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> No</p> <p>Longitud:</p> <p>Altura:</p> <p>Inclinación :</p> <p>Medida de protección existente:</p>	<p>MARGEN IZQUIERDA: <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No</p> <p>Longitud: 140,00 m</p> <p>Altura: 6,00 m - 7,00 m</p> <p>Inclinación: 27° (2H : 1V)</p> <p>Medida de protección existente: NO</p>
<p>MARGEN DERECHA: <input type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> No</p> <p>Longitud:</p> <p>Altura:</p> <p>Inclinación :</p> <p>Medida de protección existente:</p>	<p>MARGEN IZQUIERDA: <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No</p> <p>Longitud: 140,00 m</p> <p>Altura: 6,00 m - 7,00 m</p> <p>Inclinación: 27° (2H : 1V)</p> <p>Medida de protección existente: NO</p>		
<div style="background-color: #cccccc; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">GEOLOGIA:</div> <p>DESCRIPCION GEOLOGICA: A-2 / A3</p> <p>INCIDENCIA CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS Y CLIMATICAS: SECO</p> <p>INCIDENCIA CONDICIONES ESTRUCTURALES:</p>			
	<div style="background-color: #cccccc; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">ESTABILIDAD:</div> <p><input type="checkbox"/> ESTABLE <input type="checkbox"/> INEST. LOCALES <input checked="" type="checkbox"/> INESTABLE</p> <p>TIPO DE INESTABILIDAD:</p> <p><input type="checkbox"/> SUSTRATO <input type="checkbox"/> RECUBRIMIENTO <input type="checkbox"/> AMBOS</p> <p>DESCRIPCION DE INESTABILIDADES: Grietas en cabecera y deslizamientos rotacionales.</p>		
<p>OBSERVACIONES ADICIONALES:</p> 			

Figura 7: Ficha tipo de un inventario de taludes

Ahondando un poco en este asunto, si finalmente se dispone de suficiente información, puede resultar interesante representar el conjunto de datos del inventario en gráficos que aglutinen toda la información obtenida de forma sencilla. De especial utilidad es la representación cualitativa de las condiciones de estabilidad para formaciones geológicas homogéneas en función de la altura y la pendiente de sus taludes. Como puede apreciarse en la Figura 8, esta representación sencilla proporciona una idea clara de lo que habitualmente resulta estable en la zona de estudio, permitiendo además determinar si los desmontes a proyectar han de considerarse singulares (más altos o más inclinados de lo que hasta el momento resulta convencional en la zona), y por lo tanto merecedores de un estudio especial.

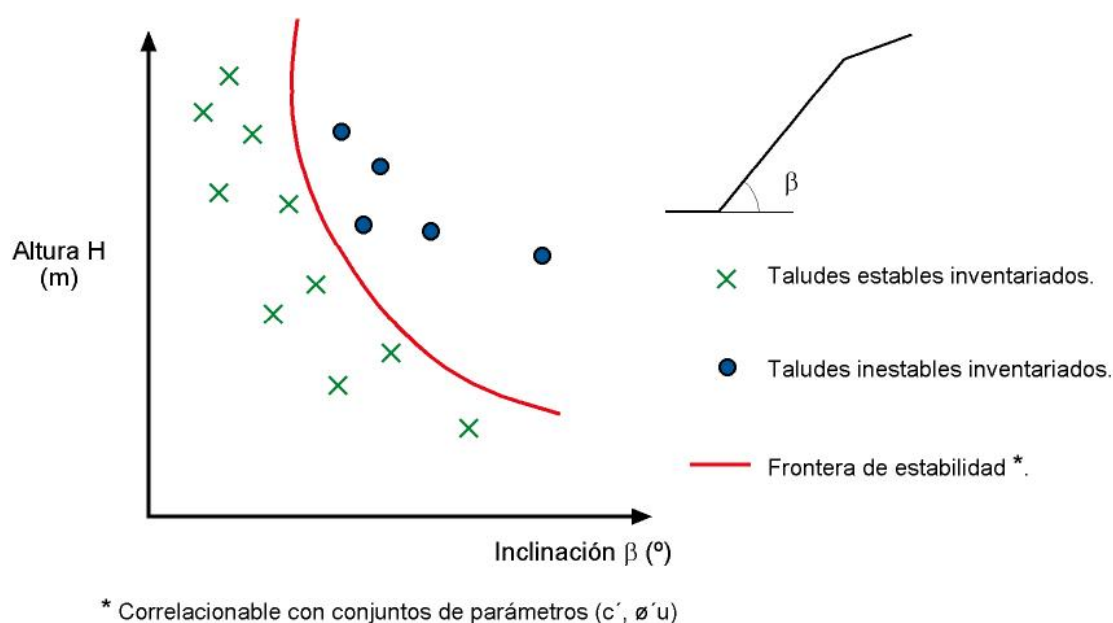


Figura 8: Gráfico resumen de un inventario de taludes en suelos homogéneos,

2.5 - Prospecciones geotécnicas y ensayos de laboratorio

El trabajo geológico-geotécnico de superficie realizado en las primeras etapas es fundamental para la planificación de la campaña de reconocimiento. Una campaña bien diseñada debe buscar la resolución de las incógnitas que no es capaz de resolver completamente la cartografía o los trabajos “de superficie”.

Los trabajos de esta índole más usuales en campo consisten en la excavación de calicatas y en la realización de sondeos mecánicos. Es difícil establecer a priori cuál es el reconocimiento a emplear en cada caso, pues depende de la naturaleza del problema y la

profundidad que se desea alcanzar. En general, se suelen emplear las calicatas cuando la zona a estudiar es poco profunda, ya que permiten una observación directa del terreno. Los penetrómetros continuos (dinámicos o estáticos) son útiles cuando se conoce la existencia de un recubrimiento flojo o poco consistente sobre un terreno duro, ya que llegan a marcar bien la profundidad del contacto. Los sondeos mecánicos se usan para la investigación y toma de muestras a mayor profundidad. Otro tipo de reconocimientos como las investigaciones geofísicas, piezoconos, etc. también pueden emplearse en función del problema en estudio.

En lo que respecta a la disposición de estas prospecciones, se deben plantear de manera que permitan obtener perfiles estratigráficos transversales representativos de los desmontes o laderas objeto de estudio. Cuando se estudian inestabilidades son especialmente importantes los perfiles que siguen la dirección del movimiento; (habitualmente, pero no necesariamente, las líneas de máxima pendiente). En la Figura 9 se recoge un perfil de este tipo para el gran deslizamiento de La Riba (Tarragona) mostrado anteriormente.

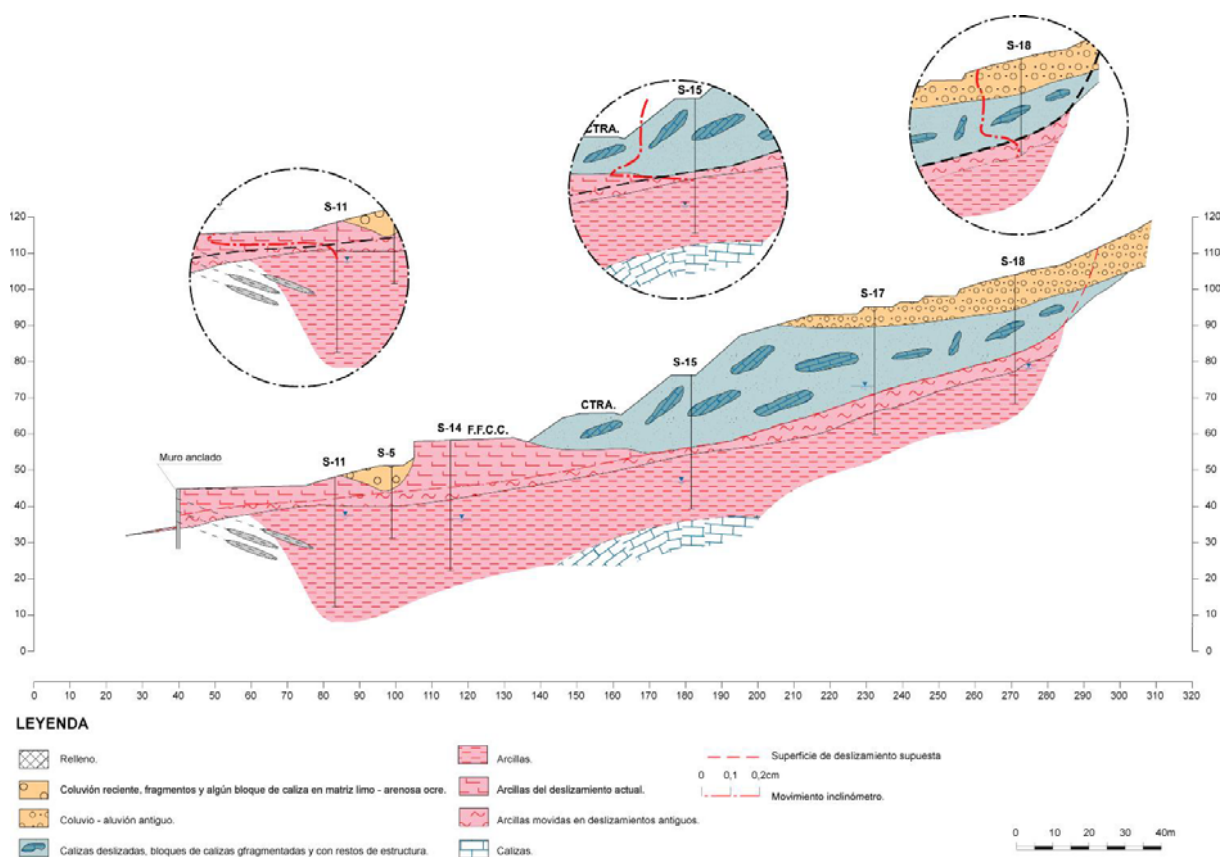


Figura 9: Perfil del deslizamiento de La Riba (Tarragona). Se muestran la geología, los sondeos y las lecturas inclinométricas.

Por último, con las muestras obtenidas se han de llevar a cabo los ensayos de laboratorio necesarios para identificar la naturaleza y estado de los terrenos involucrados, así como para determinar sus características resistentes.

2.6 - Auscultación básica.

2.6.1 - Localización de superficies de deslizamiento y seguimiento de las deformaciones.

Uno de los factores más importantes en el estudio de taludes inestables es sin duda la localización de la superficie de deslizamiento. Sólo con un adecuado conocimiento de la misma se puede llegar a evaluar la masa de terreno involucrada, (y por lo tanto el volumen de suelo a contener), el tipo de movimiento y, en fin, el alcance adecuado de las medidas de actuación.

En ocasiones las observaciones geomorfológicas y las prospecciones permiten estimar estas superficies (por la ubicación de las grietas, sus escarpes y aperturas, por el movimiento de árboles y otros elementos, por la forma final de la masa deslizada, por los resultados de las calicatas, sondeos, etc). Sin embargo, en otros casos esta labor no resulta en absoluto sencilla.

Si existe la sospecha de que el deslizamiento pueda encontrarse activo y al mismo tiempo hay dudas sobre la localización de la superficie a favor de la cuál se produce el movimiento, resulta muy recomendable realizar una auscultación del mismo. Para ello se pueden emplear distintos procedimientos, aislada o conjuntamente. Los más sencillos pueden consistir simplemente en un seguimiento topográfico de superficie, a sumar al resto de observaciones geomorfológicas ya descritas. En la Figura 10 se muestran dos ejemplos conceptuales en los que se supone que se realiza un seguimiento de algunas estaquillas dispuestas en la zona de forma apropiada (Hutchinson, J.N. (1983).

El primer caso podría corresponder a un deslizamiento en arcillas homogéneas. Se dispone como información previa del salto en cabecera y su dirección de movimiento, así como, quizás un cierto levantamiento al pie. Todo ello parece indicar un deslizamiento rotacional.

En estas circunstancias, en la hipótesis de un círculo de deslizamiento, cabría esperar que los vectores de movimiento de las estaquillas muestren aproximadamente un único “centro de rotación”. Empleando dicho centro, pero tomando como radio la distancia hasta el

escarpe de coronación, se podría inferir la situación aproximada de la superficie de deslizamiento real, aunque se encuentre a profundidad.

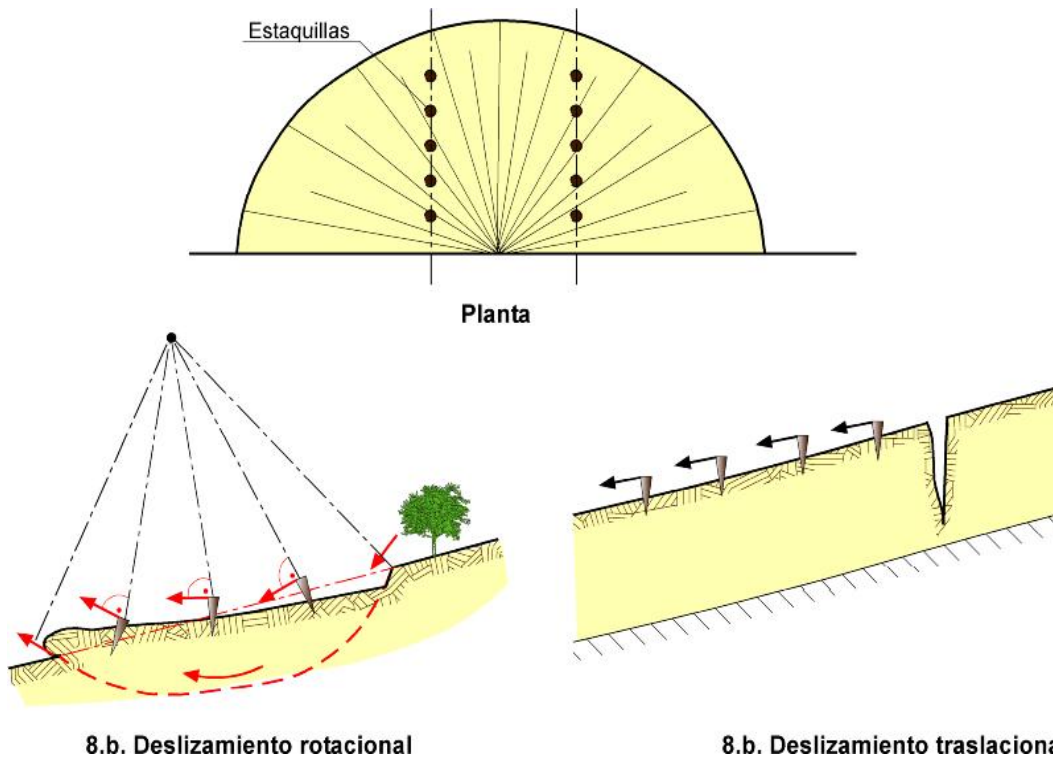


Figura 10: Interpretación de movimientos en superficie mediante topografía.

En el segundo caso, sin embargo, tanto los signos exteriores como los vectores de movimiento de las estaquillas son marcadamente paralelos y sugieren un movimiento traslacional. En estas circunstancias y sin otra información, no es posible lógicamente deducir la situación de la superficie de deslizamiento, pero se tendrá una “buena pista” y tenderemos a buscar con nuestras investigaciones cambios litológicos o zonas de especial debilidad que se ajusten a la dirección de movimiento observada (éste podría ser el caso de un coluvión deslizando sobre un sustrato rocoso).

Un paso adelante en la detección de superficies de deslizamiento profundas, que en realidad no supone costo alguno, consiste en aprovechar los sondeos de investigación para instalar lo que en terminología anglosajona se denominan “poor boys” (Hutchinson, J.N. op. cit.). Como muestra la Figura 11, se trata de introducir un elemento hasta el fondo del sondeo, habitualmente un tubo metálico de un metro de longitud, atado a una cuerda que alcanza la superficie del terreno.

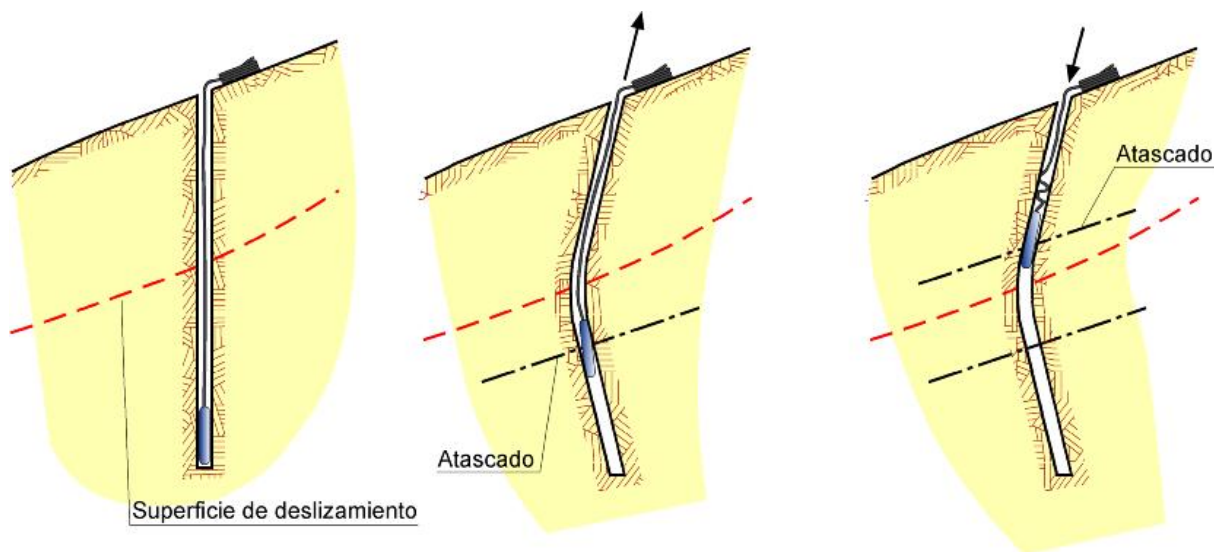


Figura 11: Instalación y empleo de testigos detectores de movimiento (“poor boys”)

Si transcurrido un cierto tiempo desde la introducción del tubo se producen más movimientos, al intentar extraerlo podrá quedar atascado en las proximidades, por debajo de la superficie o franja de deslizamiento. De la longitud de cuerda extraída se podrá deducir un límite inferior de la profundidad de la superficie buscada. Si a continuación se introduce otro tubo desde la boca del sondeo, éste verá interrumpido su avance a una determinada profundidad, por encima de la superficie de deslizamiento buscada. Interpolando entre ambas lecturas se tendrá una idea de la profundidad real que alcanza la inestabilidad.

Evidentemente, para que este sistema tenga posibilidades de éxito será necesario dejar revestido el sondeo e introducir los tubos en su interior, de manera que se eviten los desmoronamientos de las paredes. Para ello no es necesario efectuar un revestimiento “en toda regla”, bastando con las habituales tuberías de PVC ranurado que se emplean para detectar y seguir la evolución del nivel freático. De esta forma el sistema servirá también para estudiar dicha evolución. Como detalle de importancia, es necesario proteger el emboquillado del sondeo y la cuerda del testigo colocando una tapa segura.

En cualquier caso, el procedimiento más preciso para detectar superficies de deslizamiento y analizar la evolución de los movimientos del terreno radica en cualquier caso en el empleo de inclinómetros. En la Figura 12 se muestran las características fundamentales de este sistema.

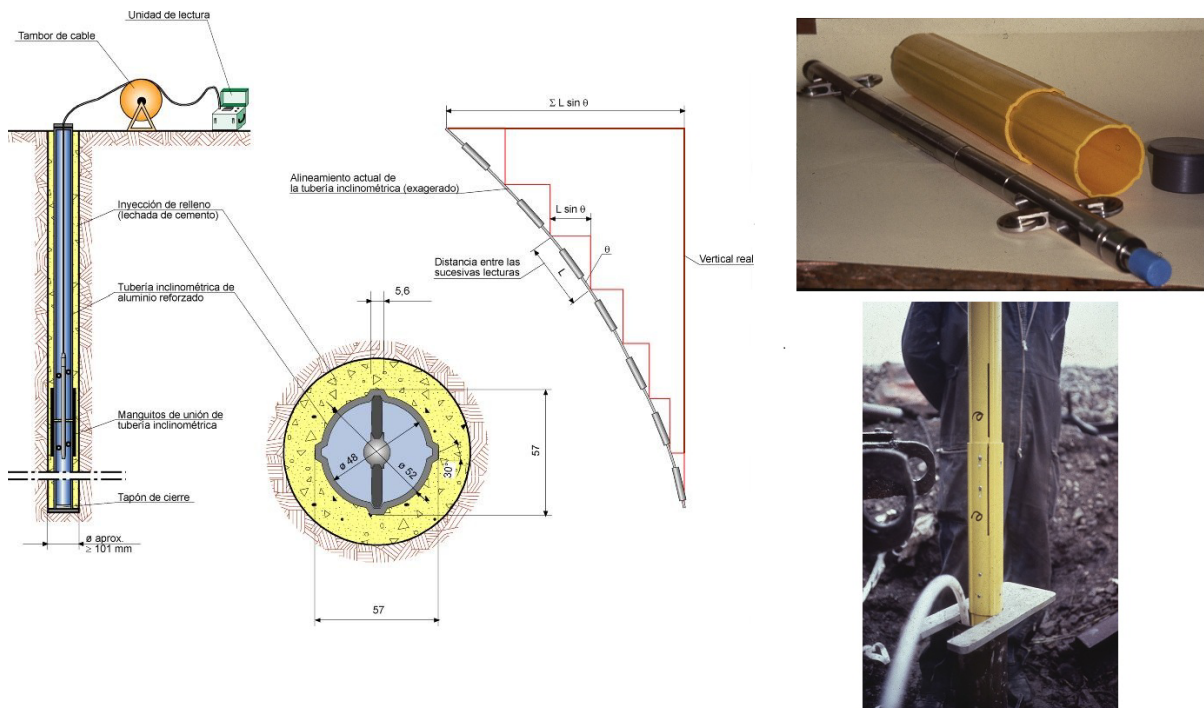


Figura 12: Esquemas de funcionamiento y detalles de inclinómetros

El procedimiento consiste en ejecutar sondeos (a ser posible aprovechando los de investigación geotécnica general) para instalar en su interior una tubería flexible, frecuentemente de aluminio, dotada con dos parejas de acanaladuras que siguen diámetros perpendiculares. El espacio anular entre la tubería acanalada y la perforación se rellena con un material de una deformabilidad similar al terreno circundante (comúnmente una mezcla de bentonita). La profundidad de los sondeos ha de ser suficiente como para asegurar que una cierta longitud de la tubería quede empotrada en una zona estable y sin movimientos.

Una vez realizadas estas operaciones se puede introducir en el sondeo un torpedo inclinométrico en el momento que se desee. Dicho torpedo es básicamente un tubo de acero dotado de una pareja de ruedecitas diametralmente opuestas que se pueden hacer deslizar por dos acanaladuras de la tubería, también diametralmente opuestas. En su interior contiene unos dispositivos que permiten registrar la inclinación del torpedo en el plano diametral que contiene a ruedas y acanaladuras.

A medida que el deslizamiento progresa, la tubería flexible tiende a acompañar al terreno en su movimiento, dada su similar rigidez. Si en un momento determinado queremos conocer la forma que adopta la directriz de la tubería, se introduce el torpedo hasta el fondo del sondeo

y se va elevando paulatinamente en pequeños tramos de 0,5 a 1 m. Para cada uno de estos posicionamientos se puede registrar la inclinación del torpedo. Conociendo dicha inclinación en cada punto de lectura y la distancia entre lecturas consecutivas, por simple integración de abajo hacia arriba se puede obtener la deformada de la tubería. La diferencia entre esa deformada y una primera lectura inicial de referencia proporciona los movimientos acumulados del terreno a cada profundidad.

Obviamente se realizan al menos dos pasadas del torpedo, orientándolo en cada ocasión para que las ruedas deslicen en las dos direcciones perpendiculares que forman las parejas de acanaladuras de la tubería¹. De esta manera se obtiene para cada profundidad de lectura el ángulo de inclinación en dos direcciones perpendiculares y por, composición, la orientación real del movimiento

Este sistema resulta muy preciso para detectar superficies de deslizamiento y para analizar la evolución de la velocidad de movimiento. En la Figura 13 se muestra un ejemplo de cómo el uso de inclinómetros permitió detectar con fiabilidad una extensa superficie de deslizamiento que llegó a afectar a una línea férrea principal y a una autopista de peaje ubicadas sobre la misma ladera.

En el caso de que la velocidad y la magnitud del movimiento sean grandes, los inclinómetros pueden presentar como principal inconveniente una escasa vida útil, ya que la tubería puede llegar a romperse. Cuando se prevé que éste pueda ser el caso pero aun así resulte conveniente (por no decir necesario) instalar este tipo de instrumentos, se debe especificar de forma clara la necesidad de llevar a cabo la instalación y las 2 o 3 primeras lecturas (la lectura inicial y una o dos más) a la mayor brevedad y con pequeños intervalos de tiempo entre ellas, a veces de apenas 24 horas. Es importante recalcar este aspecto porque no es infrecuente que las empresas que ejecutan estos trabajos no conozcan los detalles del deslizamiento y, simplemente por motivos organizativos prefieran esperar a haber ejecutado todos los sondeos e instalado todos los aparatos previstos para realizar la lectura inicial (lectura 0). En estas circunstancias, si el movimiento es muy rápido, pueden perderse los

¹ En realidad, para cada dirección fijada por una pareja de acanaladuras diametralmente opuestas se efectúan también dos lecturas. En la primera se introduce el torpedo en una posición, y en la segunda éste se gira 180°. De esta forma se comprueba la eliminación de posibles errores.

inclinómetros antes de usarlos².

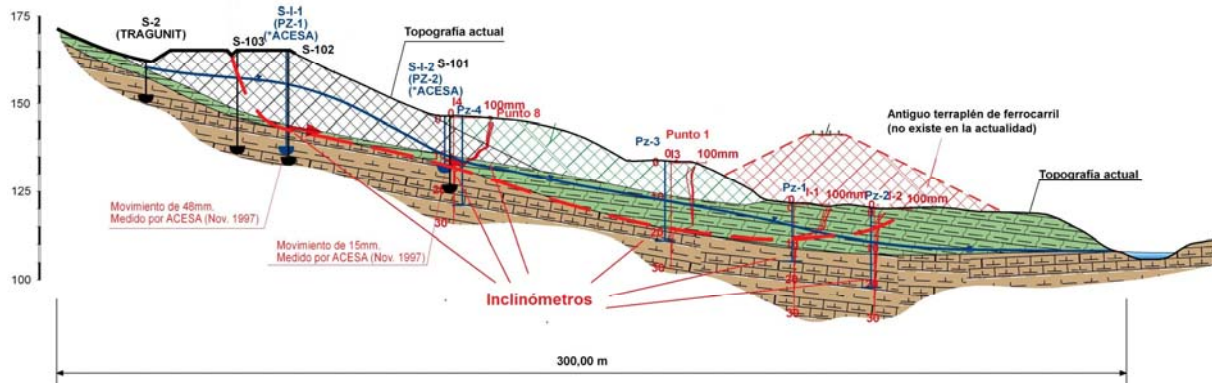


Figura 13: Superficie de rotura detectada con inclinómetros en un deslizamiento de dimensiones considerables (Sant Sadurní, Barcelona).

2.6.2 - Determinación y seguimiento de niveles piezométricos.

Para el diseño de nuevos taludes se deben estimar los regímenes de presión intersticial más desfavorables que pueden darse a lo largo de la construcción y vida útil de la obra, que pueden no ser los mismos que los medidos en el momento de realizar las investigaciones de proyecto. En el caso de deslizamientos ya producidos, se ha de intentar conocer las condiciones piezométricas que regían en el momento de la inestabilidad, realizar un seguimiento de su evolución e intentar inferir las condiciones que podrán darse una vez acometidas las medidas de reparación.

Con este fin se debe recopilar toda la información posible en cuanto a las afluencias de agua y presencia de humedades, mediante la elaboración en las primeras fases de estudio de un mapa hidrogeológico. Adicionalmente se deben recopilar los datos pluviométricos de las estaciones cercanas.

Además de estos datos, los reconocimientos se deben dirigir a establecer los niveles piezométricos existentes en la zona de interés y en sus alrededores. Como primera posibilidad se pueden aprovechar los sondeos de investigación e instalar tuberías ranuradas de PVC. En casos más complejos o cuando se estima necesario un seguimiento más

² En alguna ocasión desafortunada ha bastado con que entre la instalación de la tubería en el terreno y la primera lectura haya transcurrido un fin de semana o un solo día festivo para que el inclinómetro se haya perdido sin remisión.

detallado, se puede acudir a la instalación de piezómetros de cuerda vibrante en niveles o profundidades prefijadas. Obviamente en el caso de deslizamientos ya producidos, estas operaciones han de realizarse a la mayor brevedad.

2.6.3 - Otros factores a considerar con relación a la influencia del agua.

Es evidente que pueden existir en el terreno circunstancias especiales que se vean afectadas por el agua, y por tanto tengan una cierta influencia sobre las condiciones de estabilidad. Entre estos factores cabe señalar la posible desaparición de enlaces o cementaciones por efecto de la circulación de agua (lixiviación, disolución, etc.), la alteración del suelo y la modificación de sus características geomecánicas producida por los ciclos humedad-sequedad o hielo-deshielo, etc.

La singularidad de cada uno de estos problemas hace que su análisis sobrepase los objetivos y la extensión marcados inicialmente para estas líneas.

2.7 - Análisis retrospectivos.

Cuando interesa estudiar una inestabilidad ya producida, la información geológico-geotécnica descrita en los apartados anteriores habrá permitido la construcción de un modelo interpretativo que se ajuste en la mayor medida a la realidad observada.

No cabe duda que dicha interpretación habrá comenzado desde el momento de las primeras consultas y visitas. El proceso abierto desde ese instante con los reconocimientos, los trabajos de campo y la auscultación no harán más que profundizar constantemente en el conocimiento del terreno y en la elaboración de un buen modelo que explique suficientemente las causas desencadenantes del deslizamiento, ajustándose en cada momento a las nuevas “pistas” e indicios geotécnicos que vayan descubriéndose. En definitiva, han de finalizar con un diagnóstico adecuado de la situación.

Para la construcción del modelo es necesario hacer uso de las herramientas de cálculo descritas en otras partes del curso. Básicamente lo que se persigue con ello, una vez estimada la superficie de deslizamiento, conocidas o estimadas las condiciones del agua y las litologías existentes, es la determinación de los parámetros resistentes del terreno que explican la rotura producida. A este proceso se le denomina “análisis retrospectivo”.

Este procedimiento puede parecer redundante con los análisis de laboratorio realizados, pero no lo es. En realidad, los resultados de los análisis retrospectivos suelen mostrar

discrepancias, a veces sustanciales, con los resultados de laboratorio, sobre todo cuando se trata de arcillas plásticas sobreconsolidadas. De hecho, en numerosas ocasiones los parámetros deducidos de estos ensayos no serían capaces de explicar adecuadamente la ocurrencia de los deslizamientos.

Las razones de estas discrepancias son múltiples (efectos de escala, fragilidad en resistencia de la arcilla, rotura progresiva, anisotropía, etc.) y, dado que exceden el alcance de estas líneas, pueden ser consultadas por el lector interesado en Chandler, R. J. (1984a) y Chandler, R. J. (1984b).

En resumen, es recomendable realizar los análisis retrospectivos y también obtener los resultados de los ensayos de laboratorio con el fin de comprender mejor las características intrínsecas del suelo.

Con los parámetros seleccionados se pueden ya analizar y calcular las diferentes posibilidades de actuación. Las últimas fases metodológicas serían finalmente la construcción de los taludes con las medidas seleccionadas y el seguimiento de su evolución.

3 - ACTUACIONES CORRECTORAS. MEDIDAS “FLEXIBLES”.

3.1 - Generalidades.

Cuando un talud resulta potencialmente inestable se pueden adoptar medidas que tiendan, bien a aumentar el efecto de las variables o elementos favorables para la estabilidad, bien a reducir el efecto de aquéllas que resultan desfavorables. Sobre todas ellas se puede actuar aisladamente o en conjunto, dando lugar a un amplio abanico de posibilidades.

A efectos descriptivos resulta interesante dividir las medidas de estabilización en dos grandes grupos. Las primeras, denominadas “flexibles”, son aquéllas que manejan nada o muy poco “hormigón (concreto) armado” y se caracterizan por, una vez implantadas, admitir considerables movimientos de reajuste, refuerzos adicionales, etc. Estas son probablemente, además, las que menos medios especiales requieren y por ende, las más económicas, y por ello suelen tener una aplicación muy generalizada.

Las segundas, que en contraste con las anteriores se denominan “rígidas”, son aquéllas en las que se incluyen o instalan elementos de refuerzo de rigidez considerable (pilotes, anclajes, etc) y que no admiten movimientos adicionales significativos. Obviamente, cuando

se aplican este tipo de soluciones se tiende a ser más contundente en el diseño, dado el riesgo de rotura que conlleva un dimensionamiento insuficiente.

Habida cuenta del enorme abanico de posibilidades de estabilización disponible hoy en día, se ha optado por centrar la descripción que sigue en algunas de las soluciones “flexibles” más simples e intuitivas. El motivo radica en que, como se ha apuntado, en términos generales éstas son las habitualmente más económicas en deslizamientos en suelos. Obviamente existirán situaciones en las que la instalación de pilotes, anclajes, muros, etc, sea no sólo más apropiada sino, quizás, más económica, pero la ya excesiva extensión de estas líneas hacen necesario limitar el alcance de la misma.

3.2 - Modificaciones en la geometría del talud³.

Esta es una de las actuaciones más económicas en la estabilización de taludes, cuando es posible, ya que al fin y al cabo, una vez producido el movimiento, es muy frecuente tener que acudir con maquinaria de movimiento de tierras para retirar el terreno deslizado.

3.2.1 - Suavización de pendiente.

Es un principio básico y casi intuitivo que en un terreno homogéneo con cohesión, el coeficiente de seguridad disminuye a medida que aumentan la pendiente o la altura del talud. Por lo tanto, cuando se desea aumentar el grado de seguridad, se intenta diseñar taludes menos altos y más suaves.

Con el fin de mostrar de forma gráfica los efectos de los tendidos de talud, en la Figura 14 se ha representado, para un determinado terreno dotado de cohesión, la relación entre la altura del talud y su ángulo de inclinación para diversos coeficientes de seguridad. Es decir, las líneas representadas muestran las combinaciones altura-inclinación que proporcionan un mismo factor de seguridad.

Para la obtención de éstas curvas de "isoseguridad" se ha supuesto que el talud se encuentra seco, y se han empleado los ábacos de Hoek & Bray (1981) para la obtención de los coeficientes de seguridad. Obviamente se pueden obtener familias de curvas similares para cualquier otro tipo de terreno o para cualquier hipótesis de agua. Lógicamente además,

³ Muchas de las ideas y figuras de este apartado se han tomado de los apuntes sobre la asignatura de taludes del Master en Ingeniería Geológica de la Universidad Complutense de Madrid, que el autor comenzó a impartir en 1989.

aunque se varíen estos parámetros, la “forma” de las curvas resultará muy semejante a la mostrada en la figura.

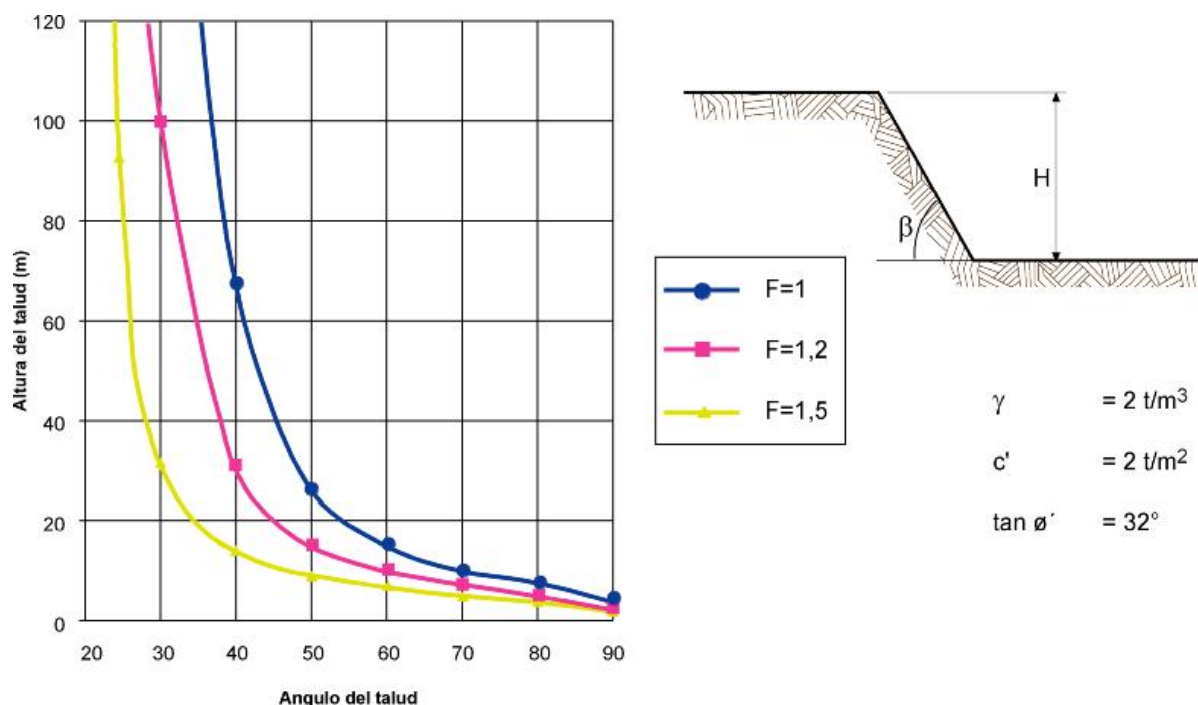


Figura 14: Combinaciones altura-pendiente en un talud de coronación horizontal que proporcionan el mismo factor de seguridad.

Cuando se trata de estudiar deslizamientos acaecidos, la forma anterior de representar las condiciones de seguridad puede ser muy valiosa en el caso de que exista información fiable sobre varias inestabilidades acaecidas en el mismo tipo de material en una misma área geográfica. Así, si el tipo de terreno es similar, algo que se puede comprobar de forma sencilla mediante una investigación elemental, y las condiciones de hidrogeológicas también son similares, cabe esperar que los puntos representativos (ángulo, altura) de cada talud deslizado en el gráfico anterior se agrupen alrededor de la línea representativa de coeficiente de seguridad $F=1$, lo que ayuda significativamente en la selección de parámetros de resistencia al corte a asignar para nuevos diseños o reparaciones (en definitiva, esta información aporta fiabilidad del punto de vista del análisis retrospectivo).

Por otra parte, si se cuenta con esta información la simple representación organizada de los taludes problemáticos en la zona de estudio nos indicará cuáles son los límites que deberíamos no intentar sobrepasar para futuras actuaciones, a no ser que sea necesario y se adopten medidas especiales.

El efecto de la suavización de pendiente se complica en cierta medida cuando se trata de excavar un desmote en una ladera de fuerte pendiente. En estas circunstancias el retaluzado, que tiende a aumentar el coeficiente de seguridad, implica directamente un aumento de la altura del talud, que a su vez tiende a reducirlo.

A modo de ejemplo, en la Figura 15 se representa una situación hipotética en la que es necesario excavar una plataforma horizontal de unos 30 m de anchura (por ejemplo para emplazar una carretera) en una ladera cuya pendiente es de 20° . Las características del terreno son las indicadas en la figura. Como puede comprobarse, la suavización de pendiente sigue proporcionando en este caso particular, un aumento del factor de seguridad, si bien su crecimiento será lógicamente mucho más discreto que en la hipótesis de altura constante del talud (terreno horizontal).

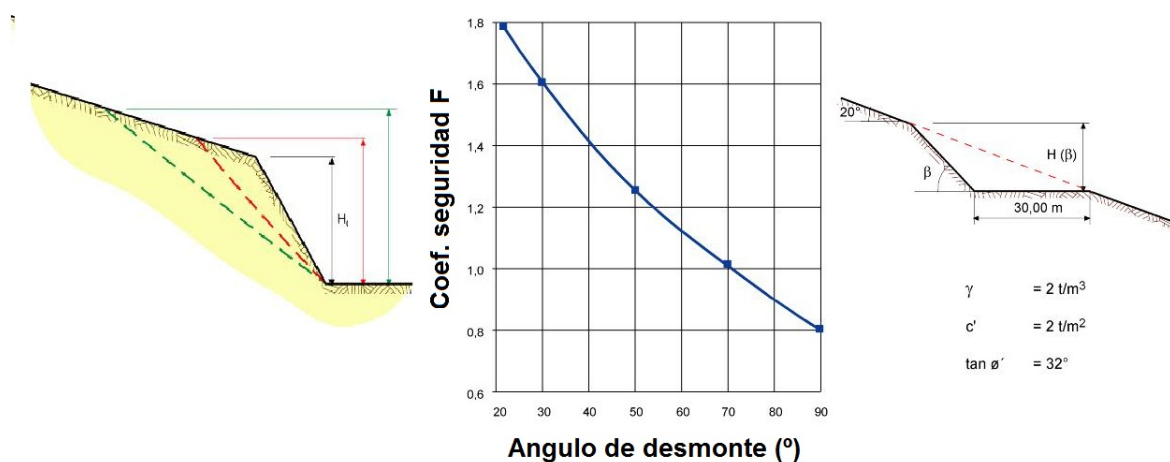


Figura 15: Efecto de la variación de la altura de la excavación en terrenos en pendiente

Independientemente de las consideraciones anteriores, en muchos casos el mayor inconveniente de tender un talud en laderas con fuerte pendiente es el considerable aumento del volumen de excavación, así como la mayor afección de terrenos y posibles expropiaciones, lo que a menudo obliga a desechar su aplicación. Por otra parte, con el tendido se expone más superficie a la acción del agua, lo que puede favorecer la erosión superficial, si bien permite una más sencilla revegetación.

En el caso de terrenos granulares o de suelos arcillosos que no tienen o han perdido su cohesión, el coeficiente de seguridad es esencialmente igual a la relación de las tangentes entre el ángulo de rozamiento interno del suelo y el ángulo de inclinación del talud, de manera que el efecto de una suavización de pendiente es inmediato⁴. En la figura 16 se

⁴ Sin tener en cuenta los efectos de la presión intersticial, que lógicamente disminuyen dicho coeficiente.

representa la relación altura-pendiente para diversos coeficientes de seguridad y para el mismo terreno de 32° de ángulo de rozamiento interno del caso anterior, esta vez sin cohesión. Como puede apreciarse, las líneas de igual factor de seguridad pierden toda curvatura, quedando verticales, lo que indica que la altura del talud es indiferente.

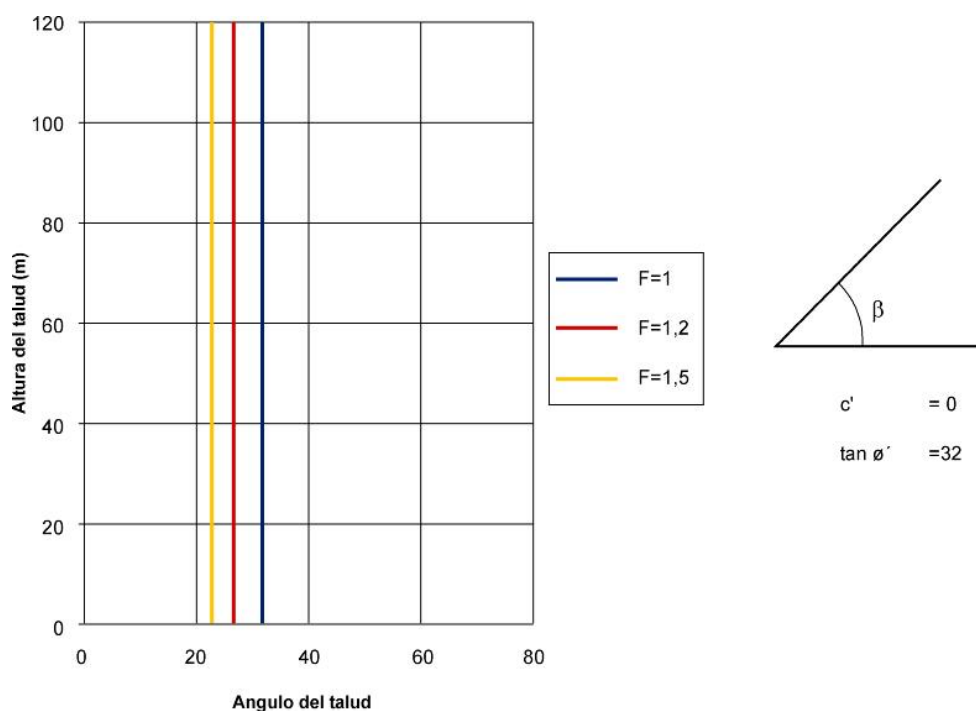


Figura 16: Combinaciones altura-pendiente en un talud de coronación horizontal que proporcionan el mismo factor de seguridad. Terreno sin cohesión

Sin embargo, cuando el deslizamiento se produce a favor de un plano de debilidad predeterminado en el que no hay cohesión, la simple reducción de pendiente puede ser inútil, dado que el factor de seguridad no depende del peso de la masa deslizante.

Un ejemplo de esta situación se produjo a las obras de la autovía de circunvalación de Oviedo (Asturias) en su tramo El Cueto-Matalablisma (Figura 17). En esta obra se detectó la presencia de capas muy delgadas de arcillas de muy baja resistencia, intercaladas en un macizo de caliza y margas. Esas capas buzaban perpendicularmente a la calzada, y prácticamente en paralelo a la pendiente natural de la ladera, del orden de unos 15 a 20° , dando lugar a deslizamientos traslacionales en bloque, lo que hacía inútil cualquier intento de suavización de pendiente.



Figura 17: Deslizamientos traslacionales en la autovía del Cueto (Asturias)

Para finalizar, hay que indicar que cualquier modificación de la geometría de un talud lleva consigo una variación de los factores de seguridad de cualquier superficie de deslizamiento potencial. Por ello es muy recomendable, cuando se realiza una suavización de talud en terrenos con cohesión, asegurarse de que la descarga que produce no reduce los factores de seguridad de otras superficies potenciales por debajo de límites establecidos para cada caso.

3.2.2 - Excavaciones en coronación (descarga).

De entre las modificaciones en geometría de taludes potencialmente inestables, ésta es quizás una de las más interesantes y efectivas, cuando es posible llevarla a cabo. En la Figura 18 se muestra cómo para deslizamientos de tipo rotacional, la eliminación de una porción de la cabecera puede proporcionar varios efectos beneficiosos:

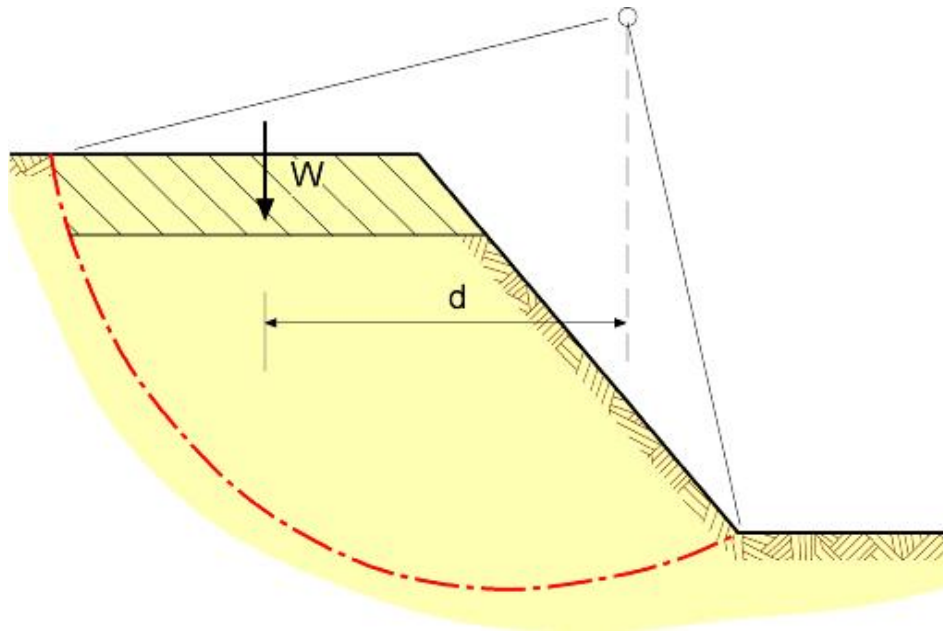


Figura 18: Estabilización de un talud por excavación en cabecera.

- Reduce la altura del talud.
- Elimina una porción importante de peso desestabilizador, dado que las tierras inscritas en superficies de deslizamiento de directriz circular suelen presentar su mayor anchura en coronación o cerca de ella.
- Disminuye considerablemente el “momento volcador”, ya que el “brazo” de ese peso desestabilizador a retirar suele ser máximo.

Evidentemente, la retirada de parte de la masa en cabecera da lugar a la creación de un nuevo talud en la ladera. De nuevo, es necesario asegurarse de que esta acción no reduce significativamente el factor de seguridad de otras superficies potenciales de inestabilidad más profundas, y de que el nuevo talud en coronación no desestabiliza la ladera por encima de él (Figura 19).

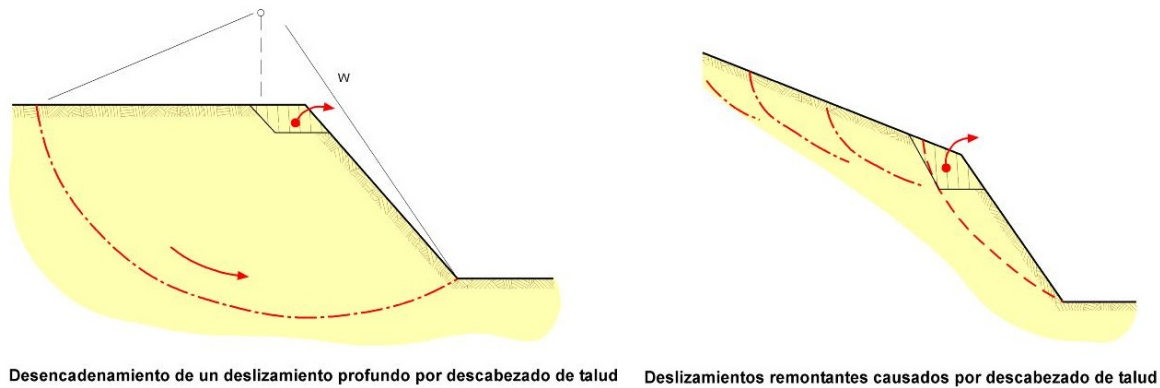


Figura 19: Posibles efectos negativos a analizar en la excavaciones en cabecera de talud.

Por último, para evitar que la plataforma creada en la coronación de la masa inestable se convierta en una zona de acumulación e infiltración de agua, es conveniente dotarla de una pendiente adecuada y de los elementos de evacuación pertinentes. Además, en deslizamientos de dimensiones considerables es recomendable revegetar con el fin de evitar el posible impacto visual.



Figura 20: Proceso de ejecución de descabezado en un talud de la carretera entre Rute e Iznajar (Córdoba). (Foto L. Ortuño).

3.2.3 - Rellenos de pie del talud (combinación de una modificación de geometría junto con la introducción de un elemento de contención).

La ejecución de este tipo de rellenos es sin lugar a dudas una de las actuaciones más frecuentes, siendo muy habitual encontrarlas a lo largo de muchos kilómetros de red viaria (Figura 21).



Figura 21: Muro de escollera y relleno de trasdós en desmonte. Autovía Jerez-Los Barrios (Cádiz). (Foto L. Ortuño)

La filosofía de esta medida puede ser doble. Por una parte, recordando el esquema del equilibrio de masas estabilizadoras y desestabilizadoras para deslizamientos rotacionales de los capítulos de cálculo (Figura 22), es evidente que la introducción de un peso adicional al pie de un deslizamiento proporciona un momento estabilizador y aumenta automáticamente su factor de seguridad.

Por otra parte, si el relleno al pie se efectúa con un material de suficiente calidad, lo que es muy frecuente, también puede hacerse uso de su mayor resistencia al corte haciéndolo penetrar bajo el pie del talud para que intercepte las superficies de deslizamiento más desfavorables. Dicho de otro modo, al profundizar con el muro se obliga de alguna forma a que las superficies críticas también profundicen buscando la rotura a través del terreno natural, más débil que el relleno.

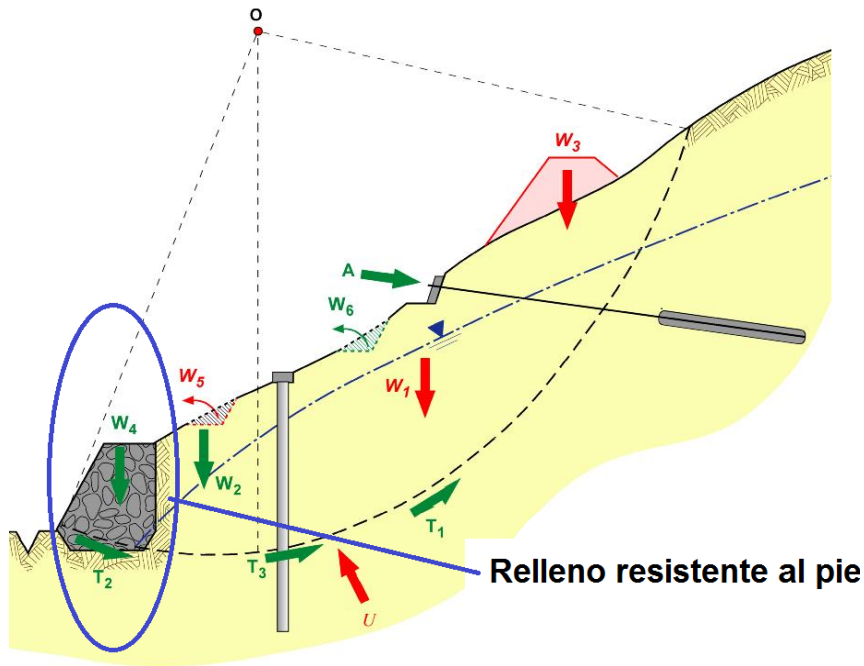


Figura 22: Efectos estabilizadores y desestabilizadores en deslizamientos circulares

Obviamente en estas situaciones hay que asegurarse de que cualquier otra superficie de deslizamiento posible que pase tanto por encima como por debajo del relleno de calidad cumpla también con los coeficientes mínimos establecidos (Figura 23).

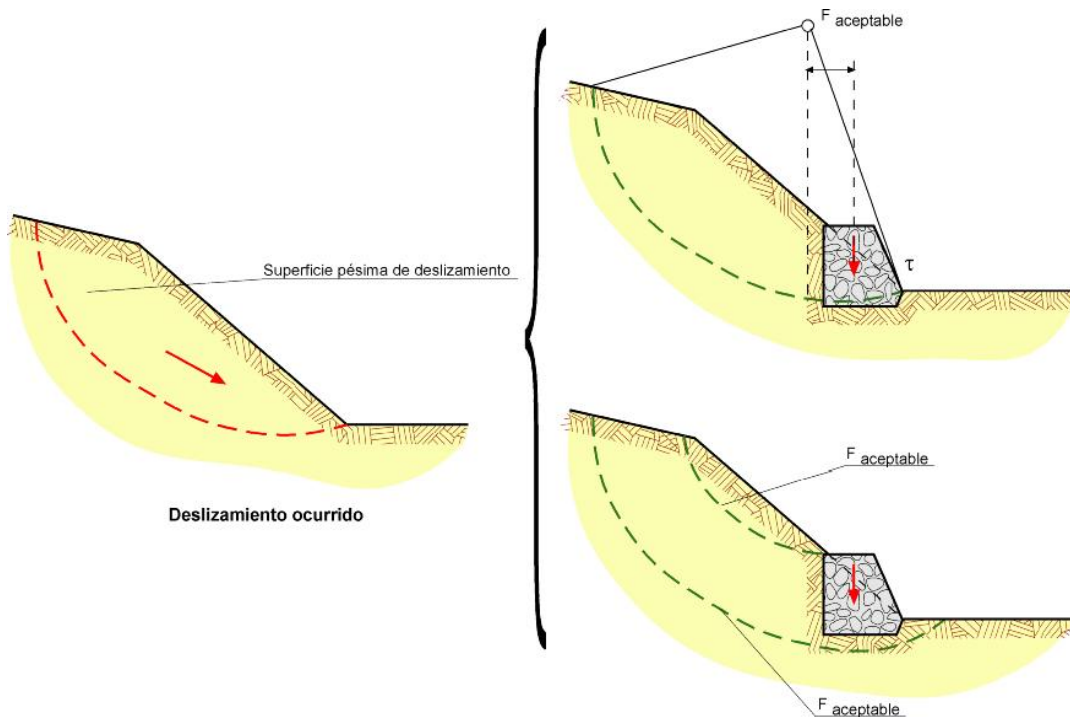


Figura 23: Rellenos estabilizadores al pie de talud. Comprobaciones necesarias.

Por último, estos rellenos también pueden emplearse como auténticos muros de gravedad para contener el empuje de deslizamientos marcadamente traslacionales. La Figura 24 muestra esquemáticamente una de las disposiciones empleadas en la autovía del Cueto, a la que se ha hecho referencia anteriormente.

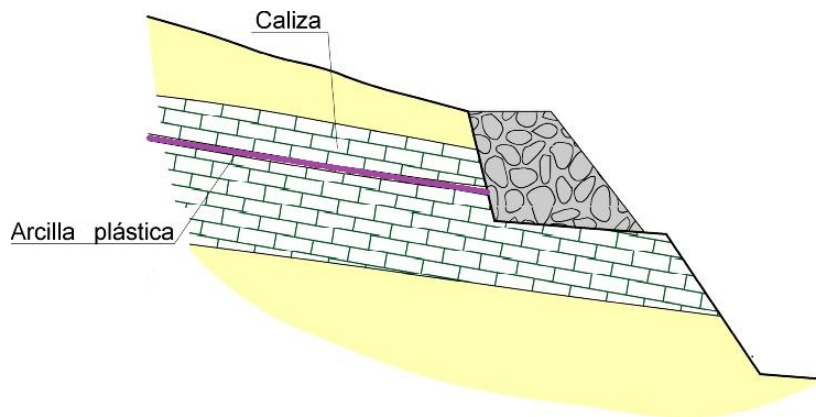


Figura 24: Aplicación de un muro de escollera en la contención de un deslizamiento traslacional

Los materiales empleados en general para estos elementos suelen ser granulares, de tamaño grande y muy permeables. Con ello se consigue, además de peso, una elevada resistencia al corte. El primer ejemplo típico es el de las escolleras, con las que pueden obtenerse fácilmente ángulos de rozamiento interno del orden de los 50° . Además, cuando se colocan con habilidad, el acabado de la superficie puede ser sorprendentemente bueno, lo que en alguna medida reduce su impacto visual.

El inconveniente fundamental que suelen presentar estas actuaciones en carreteras es la falta de espacio para instalar el relleno, lo que a menudo obliga a excavar ligeramente el talud natural existente con pendientes elevadas, algo que debe realizarse con precaución y por tramos cortos (bataches) si el talud se encuentra ya deslizado.

Cuando por dicha falta de espacio se desea dotar al “muro” de escollera de una pendiente exterior fuerte, se puede acudir a recibir ligeramente los bloques de roca con hormigón, con el fin de dotar al sistema de cohesión, pero sin llegar a reducir la permeabilidad, factor fundamental para asegurar la captación y evacuación del agua que provenga del interior del terreno.

Los gaviones son una alternativa a los escollerados (Figura 25). Permiten emplear materiales granulares de menor tamaño (gravas), proporcionando resultados resistentes

similares y quizás un menor impacto visual. El “secreto” de estos elementos radica en el confinamiento que producen las “cajas” de malla metálica en donde se introduce la grava, que sirven para aumentar sustancialmente la resistencia al corte disponible. Por otro lado, constituyen una solución de elevada flexibilidad, admitiendo deformaciones de reajuste importantes sin detrimento de su resistencia (Figura 25 y Figura 26).



Figura 25: Contención de gaviones. Carretera Ubeda-Baeza (Jaén). Foto L. Ortuño)



Figura 26: Flexibilidad de las contención de gaviones. Carretera Jerez-Los Barrios (Cádiz). (Foto L. Ortuño)

Siguiendo con esta misma filosofía, a veces una solución económica puede consistir en construir simplemente un pequeño tacón de refuerzo y contención al pie, más un relleno de tierras compactadas en su trasdós. Esta idea, mostrada en la Figura 27, puede ser ventajosa desde tres puntos de vista. En primer lugar se consigue el refuerzo del pie, tanto por peso como por resistencia al corte. Como segundo efecto, el relleno de tierras, por su propio peso, confina la parte media del talud y aumenta el coeficiente de seguridad de superficies potenciales de deslizamiento que tiendan a desarrollarse por encima del pie escollero. Por último, el mismo relleno sirve para suavizar y reducir la altura final del talud de desmonte descubierto en terreno natural, quedando así más seguro.

El detalle mostrado en la Figura 28 corresponde a la definición de proyecto de una actuación de este tipo, específicamente para la obra mostrada en la Figura 21. Esta misma idea de combinación de refuerzos al pie y rellenos en trasdós puede aplicarse obviamente al caso de los gaviones (Figura 29)

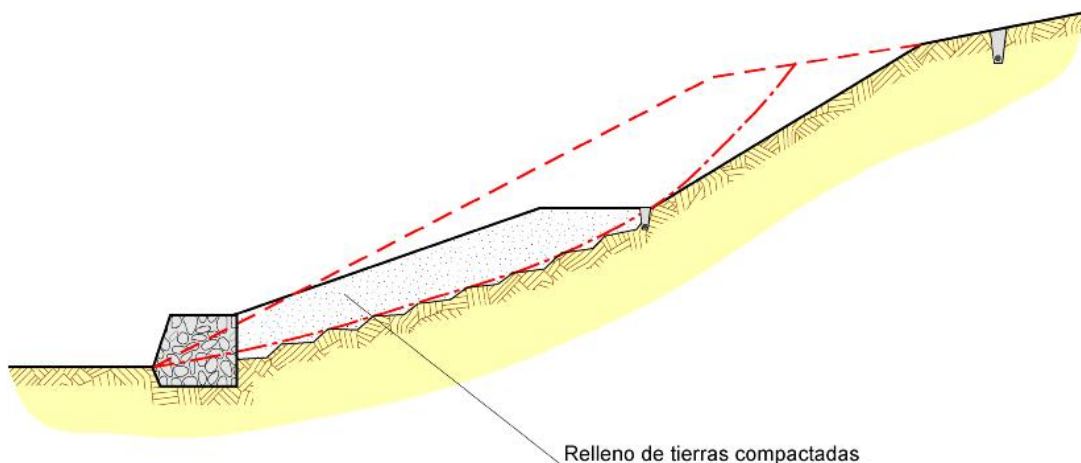


Figura 27: Pie de escollera trasdosado con un relleno de tierras.

Obviamente para que esta solución sea operativa desde el punto de vista de la ejecución, la anchura del relleno de tierras que trasdosa el muro de pie ha de ser suficiente como para que circule sobre ella un compactador convencional. Del mismo modo, al igual que en el caso del descabezado, habrá que dotar a la plataforma superior del relleno de tierras la pendiente necesaria para conducir las aguas, prever cunetas, etc.

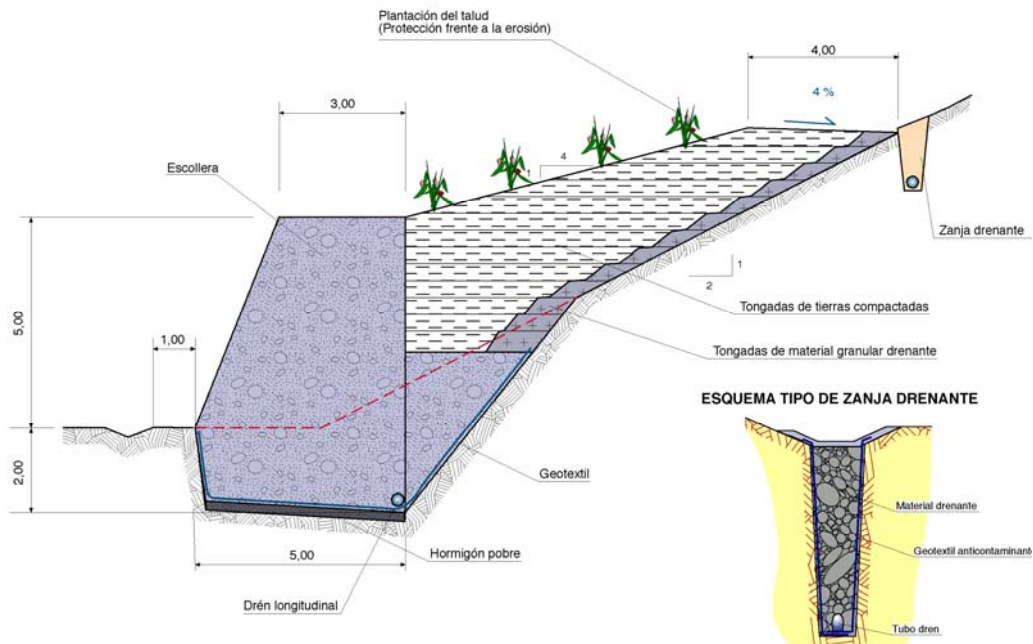


Figura 28: Combinación de escollera y relleno estabilizador empleado en la Autovía Jerez-Los Barrios.



Figura 29: Muro de gaviones y relleno de trasdós en Rute-Iznájar (Córdoba). (Foto L. Ortuño).

Llevada hasta un cierto extremo, y siempre que exista un cierto margen de maniobra para el establecimiento de la inclinación y altura de los taludes en los desmontes, esta la solución puede simplificarse (y economizarse) aún más, pudiendo llegar a emplear simplemente

rellenos de tierras compactadas como elemento estabilizador principal. Las dos figuras siguientes muestran un ejemplo de este tipo de actuación en una carretera cordobesa.



Figura 30: Ejemplo de relleno estabilizador de tierras (limitador de altura máxima del talud). Carretera de Rute a Iznájar (Córdoba). (Foto L. Ortuño).



Figura 31: Detalle de la bajante para conducción de agua del relleno estabilizador de la figura anterior.

3.3 - Estructuras flexibles de contención

3.3.1 - Macizos de suelo reforzado

Además de muros de escollera o gaviones anteriores, en principio se puede emplear cualquier otro elemento que proporcione peso estabilizador al pie del talud, aumente la resistencia al corte media o funcione como una auténtico muro de contención frente a los empujes del terreno.

Manteniendo la idea de flexibilidad, a menudo deseable, se pueden emplear macizos de suelo reforzado (con geomallas, tierra armada, etc). En la Figura 32 se muestra un ejemplo tomado de Bonaparte, R. et al (1989), en donde se aprecia cómo las dimensiones generosas del macizo reforzado hacen que en realidad cumpla tres funciones beneficiosas: que pueda suponerse como un gran muro de gravedad dispuesto para soportar los empujes del deslizamiento, que mediante la profundización necesaria actúe como elemento de aumento de la resistencia al corte en el plano de deslizamiento y que por su propio peso de lugar a un momento estabilizador importante.

Como es fácil comprender, la ventaja fundamental de este tipo de actuación radica en la posibilidad de emplear materiales tipo suelo que, aunque han de mantener una cierta calidad, eliminan la necesidad de acudir a escolleras o gravas, a veces muy costosas por las distancias de transporte desde las canteras o yacimientos.

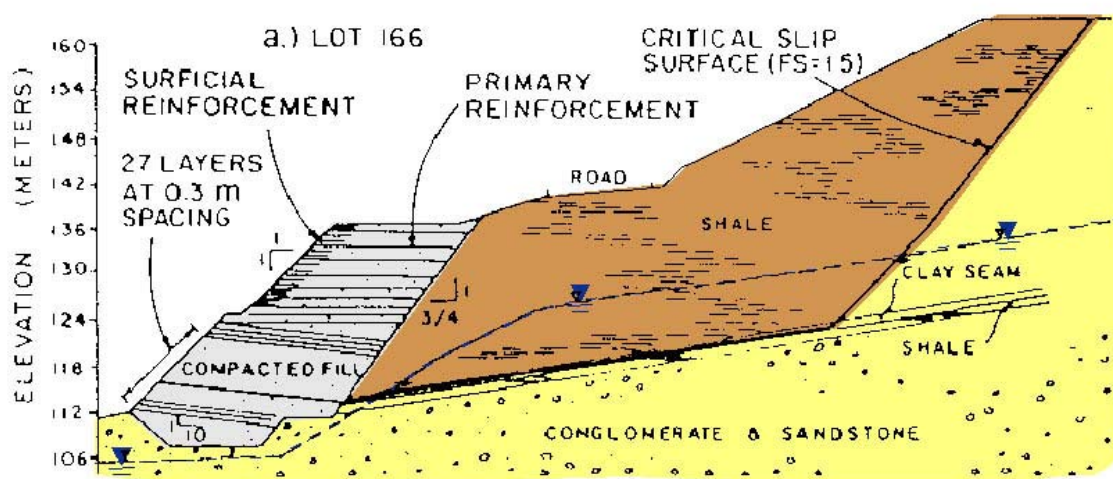


Figura 32: Ejemplo de estabilización mediante un muro de suelo reforzado (según Bonaparte, R. Et al., 1989).

La filosofía general de diseño en un suelo reforzado de esta manera es muy similar a la de una tierra armada, en donde en lugar de los flejes metálicos se emplean geomallas. Ambas soluciones resultan considerablemente flexibles y permiten obtener paramentos muy verticalizados, que pueden rematarse de una forma estéticamente atractiva mediante plantaciones.

En la Figura 33 se muestra otro ejemplo diseñado para la contención de un deslizamiento durante la ejecución de la Ronda Este de Málaga, finalmente construido con una combinación de tierra armada y anclajes activos.

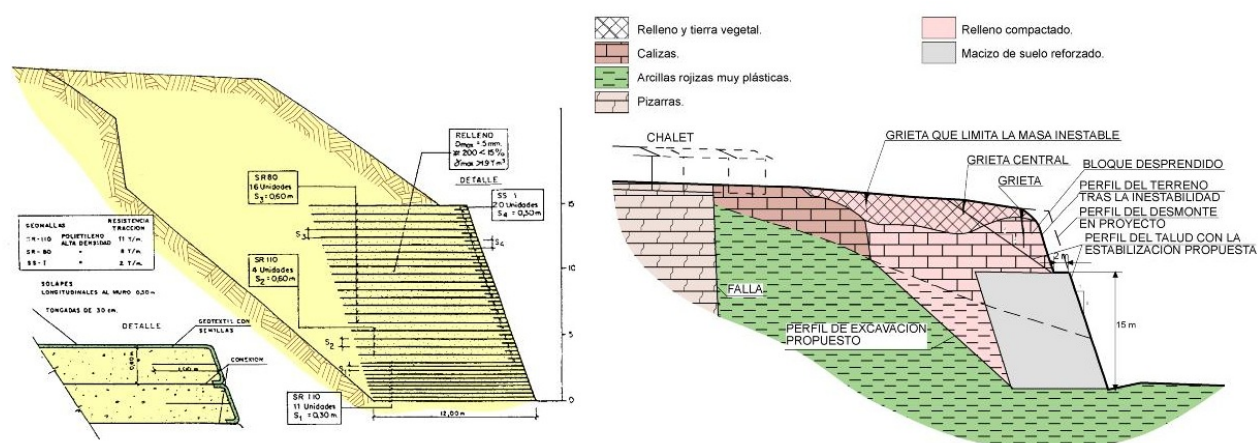


Figura 33: Detalle de una propuesta de estabilización mediante suelo reforzado en la Ronda Este de Málaga.

3.3.2 - Taludes clavados (“Soil nailing”).

Cuando se trata de reforzar un desmoronamiento en suelo a medida que se excava, se puede aplicar la misma filosofía de diseño anterior de la tierra armada o del suelo reforzado, acudiendo a la ejecución de “taludes clavados”.

Básicamente este sistema puede describirse, siguiendo la definición de las “Recommendations Clouterre, 1991, como “el refuerzo del terreno (a medida que avanza la excavación) mediante la introducción de barras pasivas, generalmente subhorizontales, que trabajan fundamentalmente a tracción (si bien pueden también desarrollar esfuerzos “considerables” a flexión y cizallamiento)”.

Como se indicado, los “taludes clavados” presentan una gran similitud conceptual con la “tierra armada”. Las diferencias estriban en que los flejes de la tierra armada son en este caso “clavos” o redondos de acero, y que el suelo que se refuerza no es un relleno compactado por tongadas, sino el terreno natural (Figura 34).

El talud de suelo reforzado se complementa con la ejecución de un paramento que impida la caída de tierra entre los puntos en los que se sitúan los bulones. Este efecto se consigue, habitualmente, mediante la ejecución de una “piel” de hormigón proyectado, que suele reforzarse mediante una malla de acero.

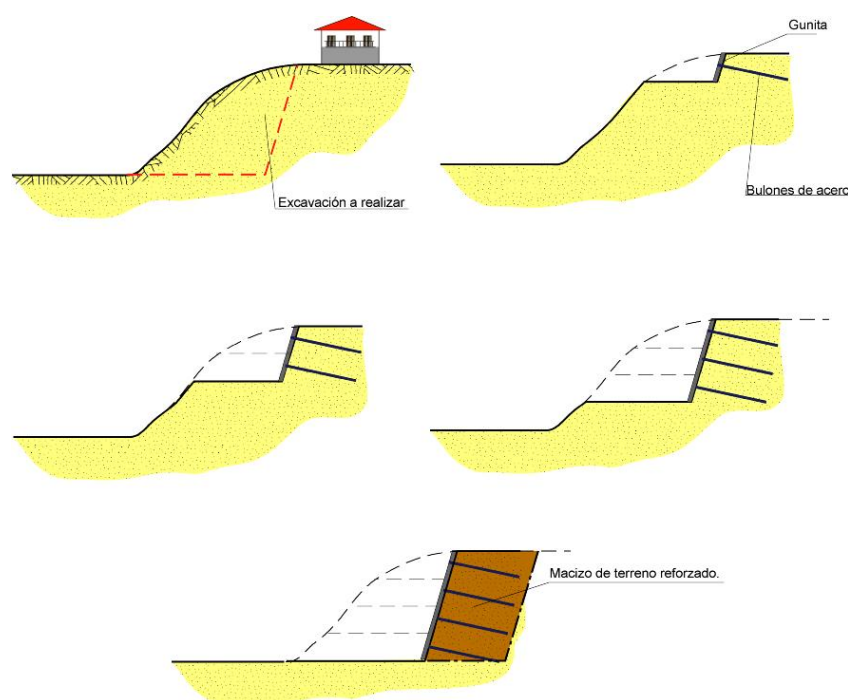


Figura 34: Esquema conceptual del claveteado de taludes.

En el presente curso se dedica una clase especial para este tipo de tratamiento, de manera que no se ahondará más sobre ello por el momento.

3.4 - Mantos superficiales de contención. Reptaciones y flujos de barro⁵

Este grupo de problemas se da fundamentalmente en laderas y desmontes formados por materiales arcillosos y margosos de alta plasticidad, que afloran abundantemente en muchas regiones españolas (especialmente en Andalucía). La Figura 35 muestra esquemáticamente el proceso de degradación de algunos de estos taludes cuando el clima

⁵ este apartado está extraído su mayor parte de Atienza, M. & Ortuño, L. (1997)

resulta marcadamente estacional (períodos húmedos y secos bien diferenciados).

Durante el período seco la insolación da probablemente lugar a la apertura de fisuras, preexistentes o nuevas. La penetración de las mismas varía lógicamente en función del tipo de terreno, de su plasticidad (capacidad de hinchamiento -retracción), de su grado de meteorización, etc., pero, en general, en muchos de los casos andaluces observados apenas alcanza unos 2 ó 3 m.

Con las lluvias, el agua puede penetrar fácilmente a favor de las fisuras y grietas en ese espesor limitado, humectando profundamente el terreno, reduciendo su resistencia al corte e induciendo presiones intersticiales en una cierta banda más o menos superficial.

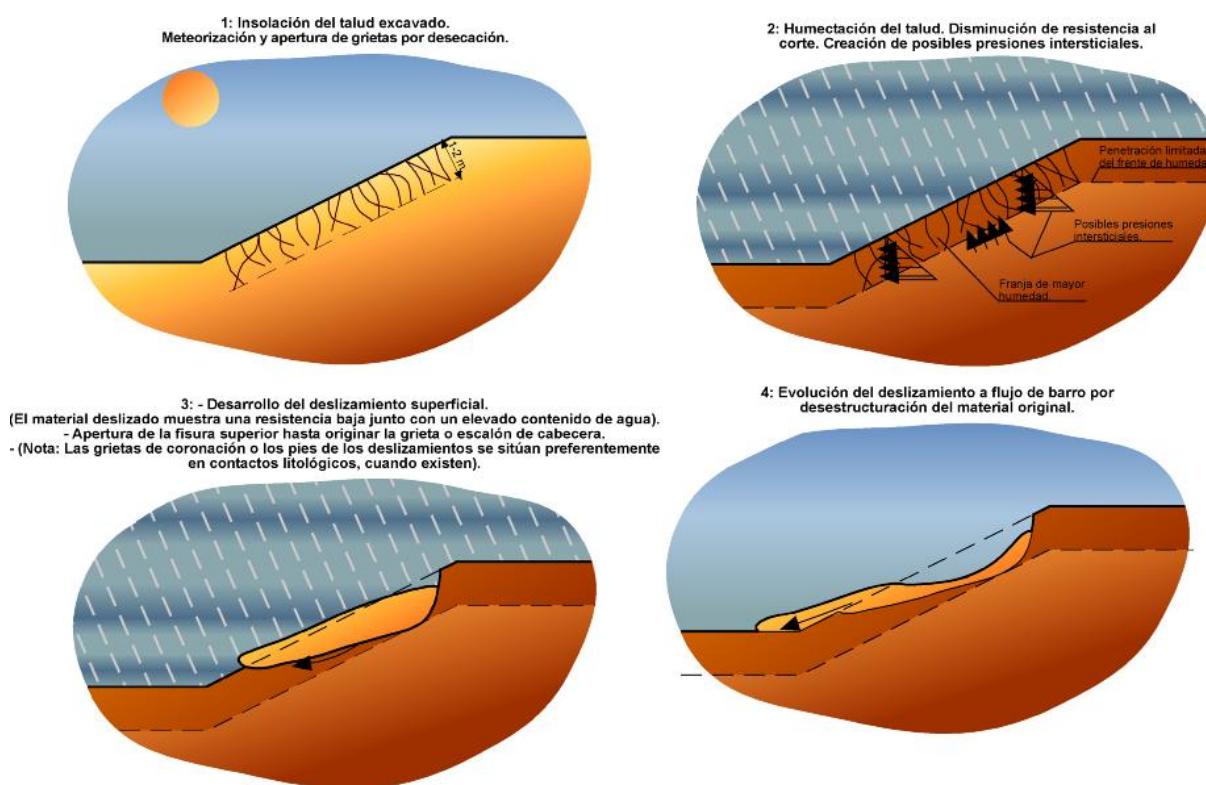


Figura 35: Modelo de formación de deslizamiento someros y flujos de barro en arcillas plásticas.

Si bajo las condiciones anteriores se produce una inestabilidad, el terreno deslizado suele formar una "cuchara" relativamente somera, cuya cabecera y pie se circunscriben habitualmente a los límites del talud (no progresan mucho más allá de la coronación del desmonte, ni tampoco penetran por debajo de su base). Frecuentemente, cualquier contacto litológico existente en la superficie del desmonte o la ladera sirve también para limitar superior o inferior mente la masa deslizada. Por último, la masa desestructurada de suelo

termina por formar un flujo de barro que desliza por la superficie del talud hasta la calzada.

En las figuras siguientes se muestran algunos ejemplos de este tipo de patologías, tanto en laderas naturales como en desmontes excavados.



Figura 36: Reptaciones espontáneas en la Venta del Cordobés (Málaga). (Foto Miguel Ángel Oliveros).



Figura 37: Deterioro y lobulación de un desmonte. Carretera de Jaén a Baeza (Jaén). (Foto Miguel Angel Oliveros)



Figura 38: Deterioro generalizado de taludes de la carretera de Morón a Pruna (Sevilla). (Foto L. P).

Aparte de la acción "geotécnicamente convencional" del agua de lluvia descrita anteriormente, un factor principal que contribuye a la escasa estabilidad de este tipo de desmontes y laderas radica en los cambios estructurales producidos por la meteorización superficial del material, en especial los derivados de los ciclos sequedad –humedad del clima estacional, que transforman la estructura de la arcilla original.

La pequeña escala de este tipo de inestabilidades más o menos superficiales, suele dar lugar al aterramiento de las cunetas y, en ocasiones, a la invasión de la calzada. Para hacer frente a estos problemas se han empleado con éxito mantos de protección, encachados con pedraplén y escollera, y rellenos compactados de tierras, todo ello combinado naturalmente con un adecuado sistema de captación y drenaje de las aguas.

Las siguientes figuras muestran algunas disposiciones y ejemplos en este tipo de situaciones.

Figura 8.1. Manto de protección con escollera



Figura 8.2. Impermeabilización y drenaje superficial

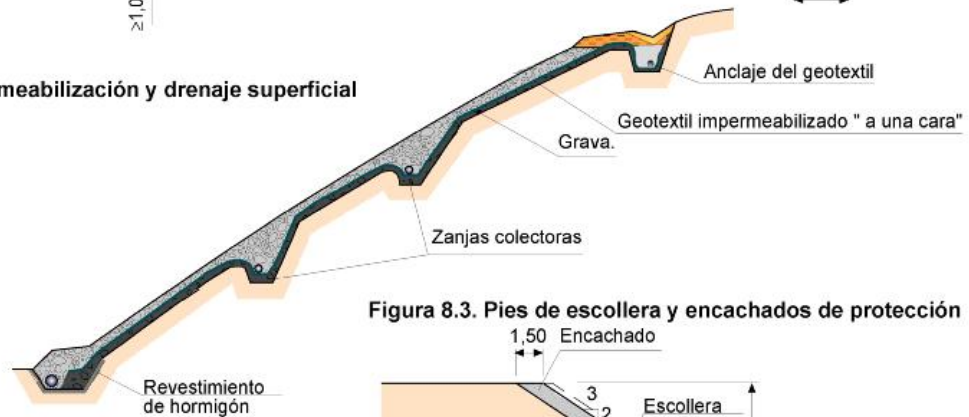


Figura 8.3. Pies de escollera y encachados de protección

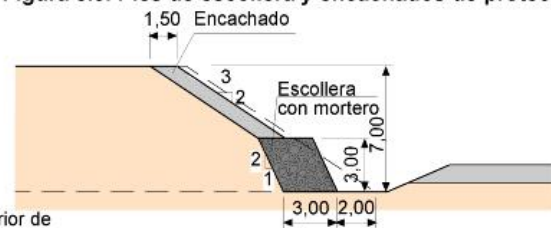


Figura 8.4. Macizo de tierras compactadas



Figura 39: Soluciones empleadas para hacer frente a deslizamientos superficiales en desmontes arcillo -margosos andaluces (tomada de Atienza, M. & Ortuño, L. (1997))



Figura 40: Encachado con pedraplén del talud mostrado en la Figura 37.

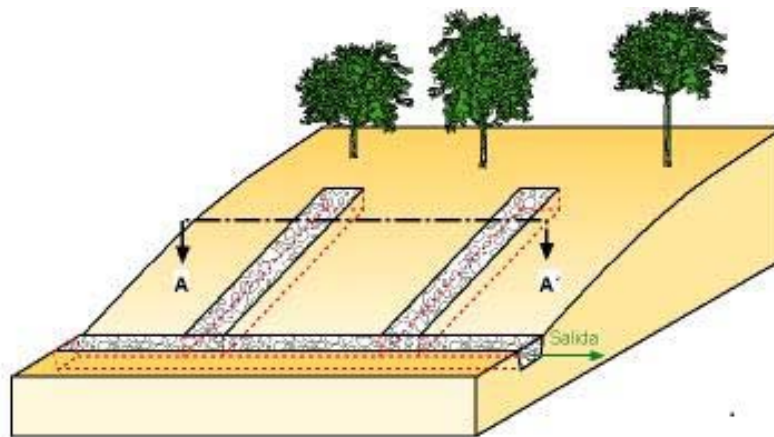
3.5 - Actuaciones basadas en el drenaje.

La resistencia al corte del terreno depende muy directamente de su contenido de agua y de la presión intersticial. De hecho, el agua constituye un elemento desestabilizador de primera magnitud, quizás el de mayor importancia, y estamos bien acostumbrados a que muchos deslizamientos se produzcan en los períodos especialmente lluviosos. Por ello, si se introducen medidas de drenaje que permitan disminuir la concentración de humedad y las presiones intersticiales existentes, se aumenta significativamente el coeficiente de seguridad.

3.5.1 - Drenaje somero en taludes. Zanjas drenantes.

Cuando el nivel freático se encuentra muy somero puede resultar interesante y efectivo construir zanjas de captación que sirvan para rebajar el nivel freático y, por lo tanto, reduzcan las presiones intersticiales.

Un primer tipo de zanjas bastante empleadas en la estabilización de laderas de pequeña inclinación son aquéllas que se construyen siguiendo líneas de máxima pendiente del (Figura 41).



25.a: Esquema general de las zanjas

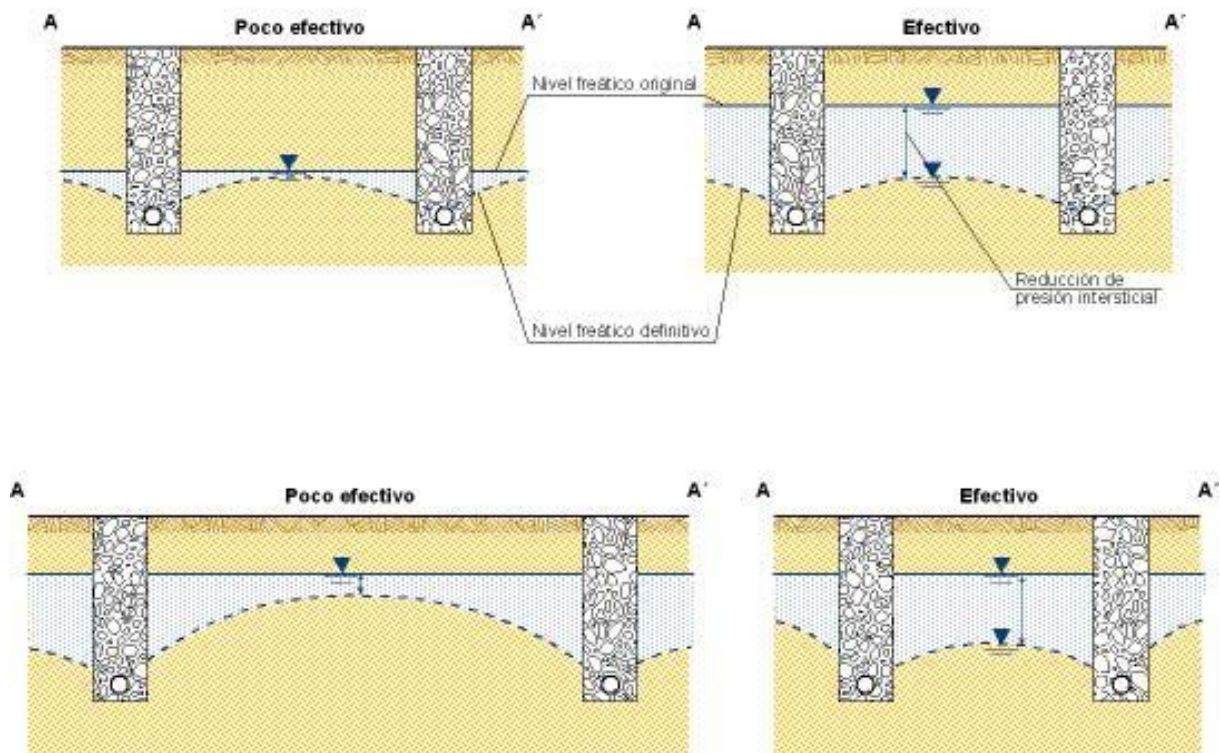


Figura 41: Zanjas drenantes someras siguiendo líneas de máxima pendiente

Se ejecutan con retroexcavadora y se rellenan con un material granular permeable. Si es necesario se coloca un geotextil para evitar la migración de finos, pudiendo instalarse también un dren colector en su fondo. Obviamente, un detalle fundamental es dotar de una salida adecuada a las aguas captadas.

Habida cuenta que lo que se persigue es el rebajamiento del nivel freático, para que sean efectivas es necesario que las zanjas penetren suficientemente bajo él con el fin de crear una diferencia de potencial suficiente como para que el agua fluya y termine por producir una nueva línea de saturación significativamente más baja. También es necesario limitar la distancia entre zanjas contiguas por el mismo motivo.

Si el terreno a estabilizar es arcilloso, hay que tener en cuenta que su reducida permeabilidad hará que transcurra un tiempo, posiblemente considerable, hasta que se produzca el rebajamiento definitivo⁶. Para el dimensionamiento inicial de este tipo de drenajes existen ábacos de uso sencillo que permiten obtener una idea rápida de la eficacia del sistema (Hutchinson, 1977).

Con carácter más epidérmico, cuando las inestabilidades resultan superficiales y localizadas, y responden a procesos como los anteriormente descritos de degradación de un pequeño espesor de terreno, puede resultar conveniente dotar a los encachados de protección ejecutados a modo de parches de las inestabilidades producidas de un sistema de drenaje y evacuación de las aguas mediante zanjas (Figura 42).



Figura 42: Encachados y zanjas de drenaje en la autovía del Cueto (Asturias) (Foto L. Ortuño).

⁶ En algunos casos bien documentados de arcillas británicas, se ha podido comprobar que el rebajamiento deseado (y el aumento de factor de seguridad asociado) puede tardar del orden de un año en producirse.

Cuando existe una superficie de deslizamiento relativamente somera, se ha de sopesar la conveniencia de alcanzarla y atravesarla con las zanjas. De esta manera se puede hacer uso del elevado rozamiento interno del material granular de relleno de dichas zanjas y aumentar aunque sea localmente la resistencia al corte disponible en la superficie de deslizamiento. Las zanjas así construidas pasan a actuar a modo de contrafuertes, produciendo un incremento del factor de seguridad, añadido al efecto del drenaje (Figura 43).

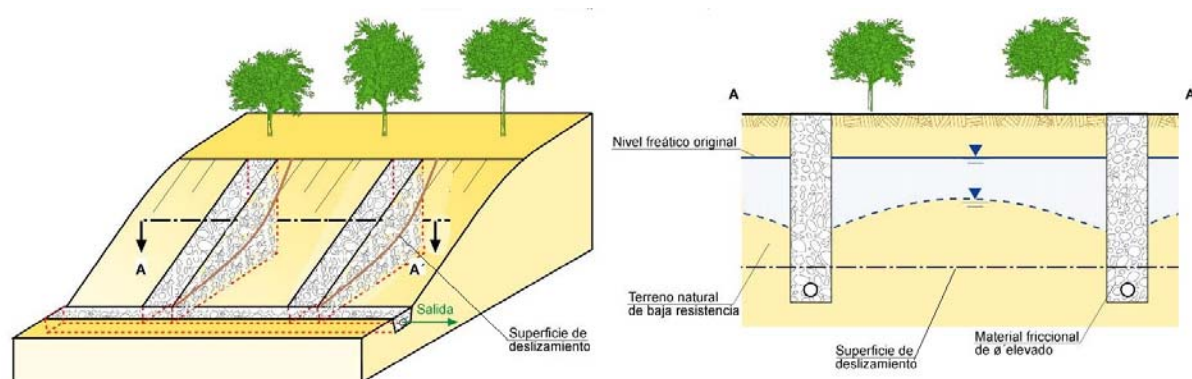


Figura 43: Combinación de drenaje y refuerzo. Zanjas contrafuerte

En ocasiones la pendiente del talud es muy acusada como para ejecutar zanjas siguiendo líneas de máxima pendiente, o las condiciones geológicas resultan desfavorables para dicha orientación. En estas circunstancias puede ser interesante acudir a la ejecución de las zanjas siguiendo las líneas de nivel del desmonte o la ladera.

Este fue el caso de alguno de los taludes excavados en la Ronda Exterior de Oviedo, mostrados en la Figura 44 (Ortuño, L., 1998). El terreno estaba constituido mayoritariamente por arenas, entre las que se intercalaban capas arcillosas subhorizontales o con ligera pendiente hacia la calzada. Con un nivel freático elevado, a poco de comenzar la construcción con los taludes originales de proyecto, se comprobó cómo la circulación de agua a través del terreno producía arrastres, erosiones remontantes y tubificaciones justo por encima de los contactos con los niveles arcillosos, e incluso algunos deslizamientos rotacionales superficiales.

En donde los taludes finales no habían sido aún excavados en su totalidad se llevaron a cabo zanjas de drenaje paralelas a la traza. Estas zanjas se dispusieron escalonadamente en la coronación de bermas, de manera que se asegurara el “corte” efectivo de cualquier capa arcillosa intercalada.

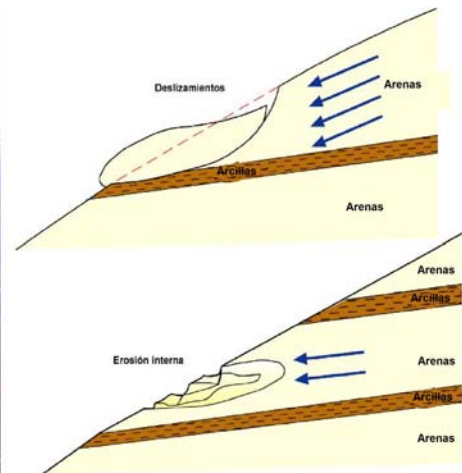


Figura 44: Mecanismos de inestabilidad en desmontes sobre arenas en la Ronda Exterior de Oviedo (Asturias). (Foto L. Ortuño).

En la Figura 45 se muestran los detalles del tratamiento, pudiendo observar cómo las zanjas llegaban a solapar en profundidad. Con este tratamiento se perseguía la interceptación del agua freática dentro de la ladera antes de que pudiera aflorar a la superficie del talud y provocara su erosión. Complementariamente servirían para reducir el nivel de presiones intersticiales desde el punto de vista de la estabilidad general.

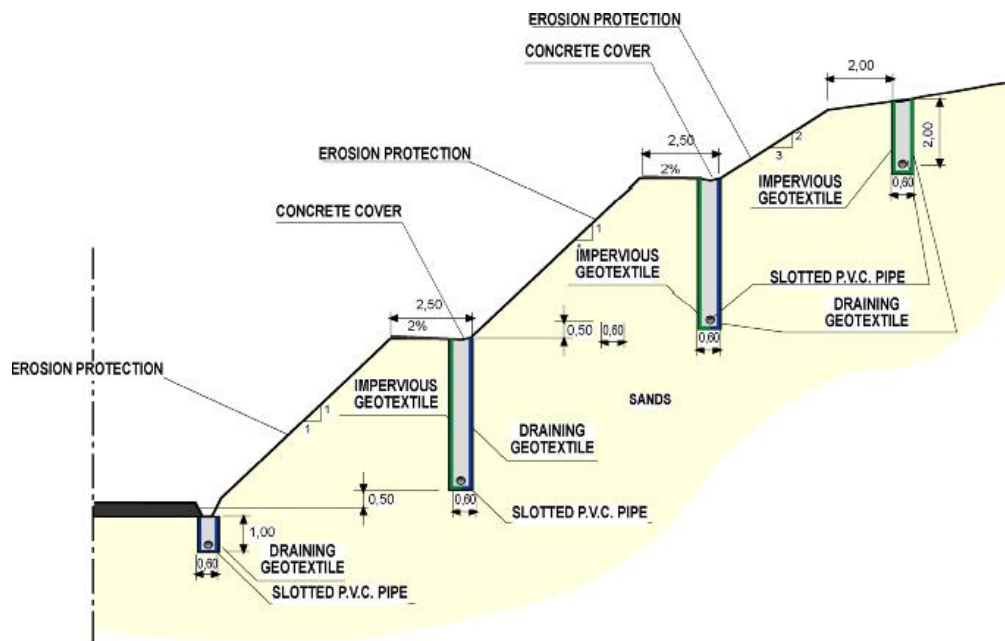


Figura 45: Medidas correctoras en desmontes excavados en formaciones arenosas. Autovía del Cueto.

3.5.2 - Drenaje profundo.

Si las necesidades de drenaje hacen recomendable efectuar la interceptación de las aguas o producir el rebajamiento de la línea de saturación (nivel freático) por debajo de lo que una retroexcavadora convencional es capaz de alcanzar de forma económica y sin grandes excavaciones complementarias, es necesario acudir a sistemas algo más complejos. A continuación se describen algunos de los más sencillos y económicos.

3.5.2.1 - *Pantallas drenantes.*

Las pantallas drenantes son una extrapolación de las zanjas anteriores (Figura 46). La diferencia fundamental radica exclusivamente en la profundidad que es posible alcanzar con ellas, que suele requerir el empleo de maquinaria análoga a la de ejecución de pantallas continuas de hormigón (concreto) armado, tan empleadas para la ejecución de excavaciones en medio urbano.

Se trata por lo tanto de excavar bataches tan profundos como sea necesario, rellenándolos posteriormente con grava para dotarles de la permeabilidad deseada. La contención de la excavación se realiza, si el terreno no es autoestable, mediante lodos bentoníticos, como también resulta habitual en la metodología de ejecución de pantallas.

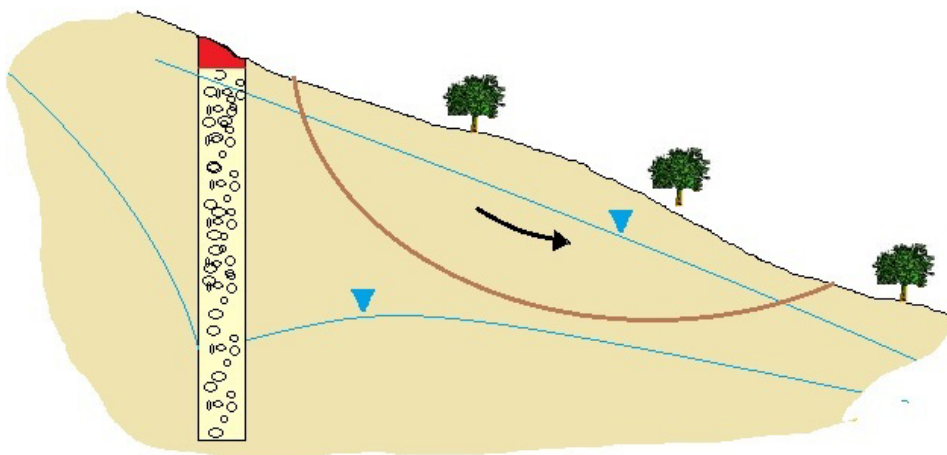


Figura 46: Pantalla de drenaje

El problema potencial de este sistema puede surgir precisamente del empleo inadecuado de los lodos de contención. Así, la bentonita forma una película que se adhiere a las paredes de la excavación (“cake”), película que resulta muy impermeable y por lo tanto beneficiosa cuando se trata de construir una pantalla de hormigón. Sin embargo, si se pretende construir una pantalla drenante, es necesario rellenar con la grava los bataches de excavación en presencia de los lodos. De otra manera no sería estable. Si no se adoptan las debidas

precauciones y se elimina ese “cake”, el efecto de permeabilidad y drenaje deseado puede incluso anularse por completo.

Para hacer frente a este efecto hace algunos años, se forzaba a la floculación de la bentonita mediante el empleo de sustancias especiales. Hoy en día la ejecución de este sistema resulta más simple gracias al empleo de lodos biodegradables.

Uno de los aspectos a tener en cuenta en el diseño de estas pantallas es la necesidad de proporcionar una salida al agua captada. Así, una posibilidad consiste en ir dotando al fondo de la pantalla de una pendiente suficiente hasta encontrar una salida al borde del talud. Si esto no es posible, resulta a veces necesario efectuar perforaciones dirigidas desde ladera abajo, de manera que penetren ligeramente en la pantalla y le sirvan de desagüe.

Finalmente, al igual que con las zanjas que siguen líneas de nivel, es importante extremar las precauciones en la ubicación de la pantalla y alejarla de la cabecera de deslizamientos existentes, con el fin de evitar que la discontinuidad creada por la misma sea aprovechada como coronación de una nueva inestabilidad ()

3.5.3 - Drenes “californianos”.

Cuando interesa reducir presiones intersticiales en zonas de difícil acceso en las que no es posible acometer zanjas o pantallas, puede resultar operativo llevar a cabo perforaciones ascendentes, comúnmente llamadas drenes californianos (Figura 47).

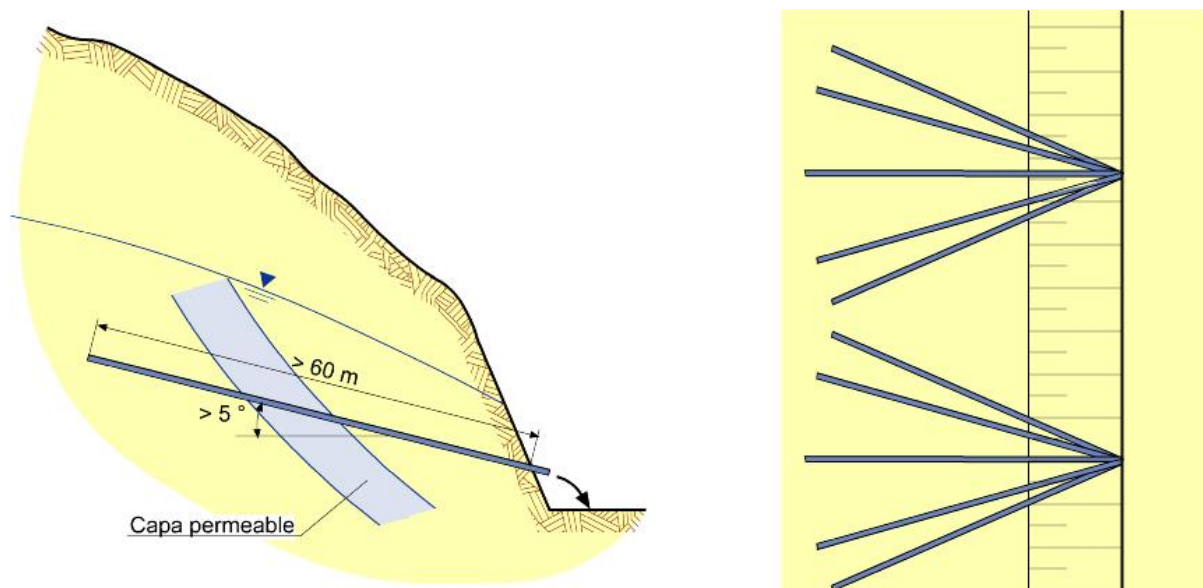


Figura 47: Esquema de la instalación y fundamento de los drenes californianos.

Se realizan con maquinaria similar a la de sondeos, lo que permite atravesar cualquier tipo de material en casi todas las direcciones, y se revisten con un tubo de PVC ranurado, en ocasiones rodeado de un geotextil para evitar una colmatación prematura por migración de finos. Los taladros de instalación no deben ser excesivamente largos, dado el riesgo de que la perforación se desvíe hacia abajo y se invalide efecto buscado.

Estos elementos son especialmente eficaces cuando su objetivo es “pinchar” capas permeables cargadas de agua, como muestra la figura anterior. Así, hay numerosos deslizamientos en terrenos eminentemente arcillosos que se desencadenan o se ven favorecidos por la existencia de niveles de elevada permeabilidad intercalados, a través de las cuáles penetra el agua y se acumulan las presiones intersticiales (casos típicos serían los niveles de areniscas o calizas que aparecen embutidos en masas arcillosas en algunas formaciones geológicas frecuentes). Pueden incluso desde galerías dado que su ejecución puede llevarse a cabo con maquinaria de pequeñas dimensiones.

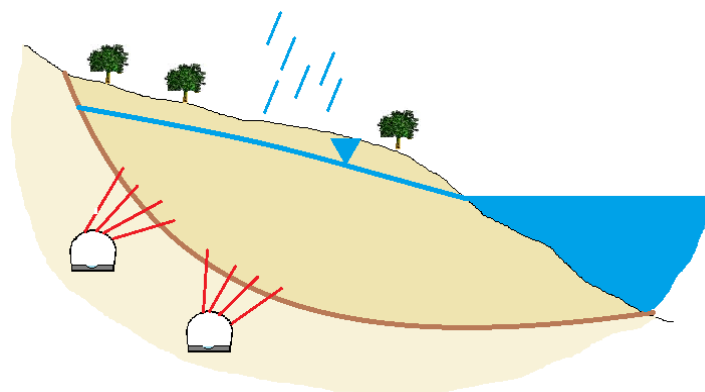


Figura 48: Perforación de drenes desde galerías

Su eficacia es más dudosa cuando se trata de drenar suelos arcillosos homogéneos, que resultan considerablemente impermeables. En estas circunstancias es habitual que sólo una pequeña porción de los drenes instalados aporten realmente algún caudal de agua. En cualquier caso, cuando lo hacen su efecto resulta beneficioso.

La Figura 49 muestra una aplicación de este sistema en la Ronda Exterior de Oviedo, en unos taludes en alternancias de margas y calizas areniscosas de buzamiento desfavorable en los que se observó una especial abundancia de agua (Ortuño, L. op. cit.). Como puede apreciarse en la figura, se ejecutaron radiaciones de drenes californianos a diversas alturas del talud. Las inclinaciones de los drenes fueron bastante fuertes, con el fin de cortar el mayor número de capas permeables de calcarenita. Para evitar la erosión bajo los

emboquillados de los drenes, se dispusieron bandas gunitadas en su superficie. Complementariamente, se llevó a cabo una cortina de drenaje mediante perforaciones verticales en cabecera, a modo de “sumideros” que alcanzaban un sustrato muy permeable.

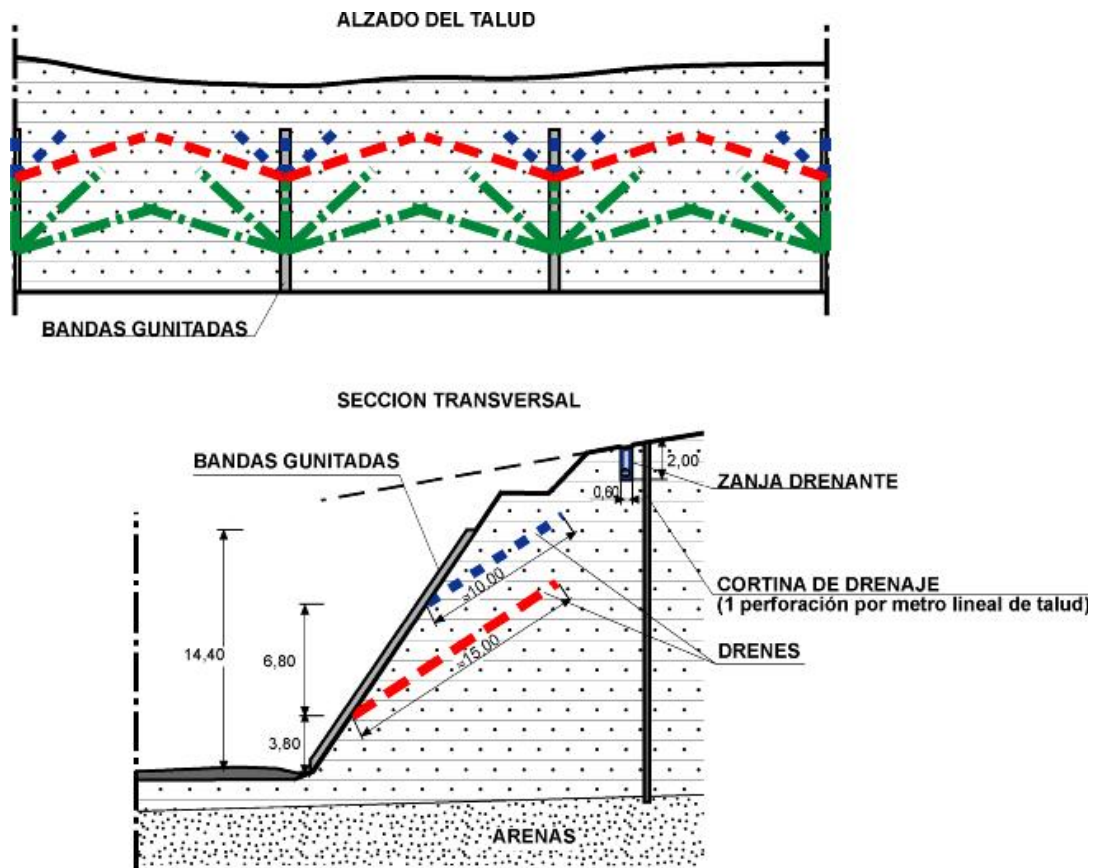


Figura 49: Drenes californianos y cortinas verticales en la autovía del Cueto.

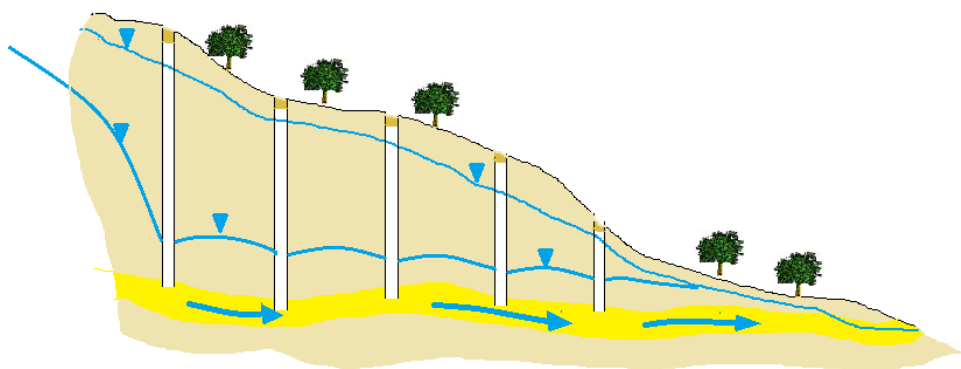


Figura 50: Esquema conceptual de una cortina de drenaje vertical

3.5.4 - Pozos de drenaje.

Un procedimiento de drenaje profundo muy versátil y relativamente económico consiste en la ejecución de pozos profundos interconectados. Su filosofía general es similar al de las pantallas drenantes, quizás con el inconveniente de que se pierde su continuidad. Como ventaja cabe señalar que desde el punto de vista de la accesibilidad pueden ejecutarse con mayor facilidad. Los elementos fundamentales que constituyen este sistema se muestran en la Figura 51:

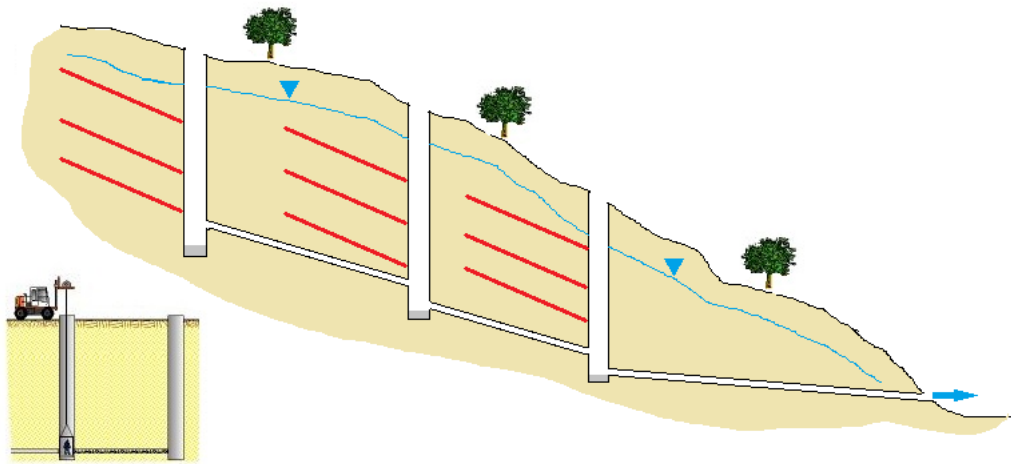


Figura 51: Pozos de drenaje interconectados

Los elementos fundamentales que constituyen este sistema se muestran en la figura 3.19:

- Pozos, habitualmente revestidos con anillos de hormigón
- Perforaciones radiales en direcciones diversas para captar las aguas alrededor del pozo
- Perforaciones dirigidas entre pozos para ir dotando de salida a las aguas captadas.

En primer lugar se comienza a excavar los pozos, de diámetro en torno a 1,00 m, con maquinaria habitual de pilotes. La perforación se reviste progresivamente mediante anillos de hormigón y, a las profundidades deseadas, se introduce dentro del pozo un pequeño equipo de perforación que permite ejecutar taladros de pequeño diámetro en cualquier dirección, como los drenes californianos.

Obviamente las “maniobras” de cada operación de perforación son muy cortas, dado el pequeño espacio disponible en el interior de pozo y la normal necesidad de ir revistiendo las perforaciones para contener el terreno. El revestimiento consiste en pequeños tramos de

tubería de PVC ranurada, que sirve a su vez de elemento de captación del agua.

La operación más delicada en todo el proceso es la conexión entre pozos, habida cuenta del riesgo de desviación de la perforación que ha de unirlos. Para reducir dicho riesgo, si se emplean estos sencillos equipos, es necesario aproximar considerablemente los pozos entre sí, del orden de unos 10 a 15 m. Los taladros de conexión se revisten, de nuevo en tramos muy cortos de unos 70 cm o así, con tuberías de acero que se van roscando sucesivamente y se dejan perdidas.

Finalmente se realiza una perforación desde el pozo situado más abajo en la ladera hasta alcanzar la superficie del terreno, en donde el agua se puede reconducir por medio de una zanja. Evidentemente, en función de las condiciones topográficas de cada zona en particular, si se desea evacuar el agua por gravedad, puede ser necesario continuar con la ejecución de pozos más allá (por debajo) de la zona que se desea estabilizar hasta interceptar la superficie del terreno y poder ejecutar una zanja (Figura 52). En caso extremo puede ser preciso extraer el agua bombeando de los últimos pozos del sistema.



Figura 52: Alineación de pozos de drenaje en una carretera de Córdoba (Los pozos siguen bastante más allá del deslizamiento para extraer el agua por gravedad)

Como aplicación complementaria, cuando los pozos atraviesan la superficie de deslizamiento puede plantearse emplearlos como elementos de refuerzo o contención, a modo de pilotes huecos, para lo cuál es necesario reforzar los simples anillos comentados anteriormente. En la Figura 53 se muestra un ejemplo de esta doble actuación, tomada de Popescu, M.E. et al. (1987).

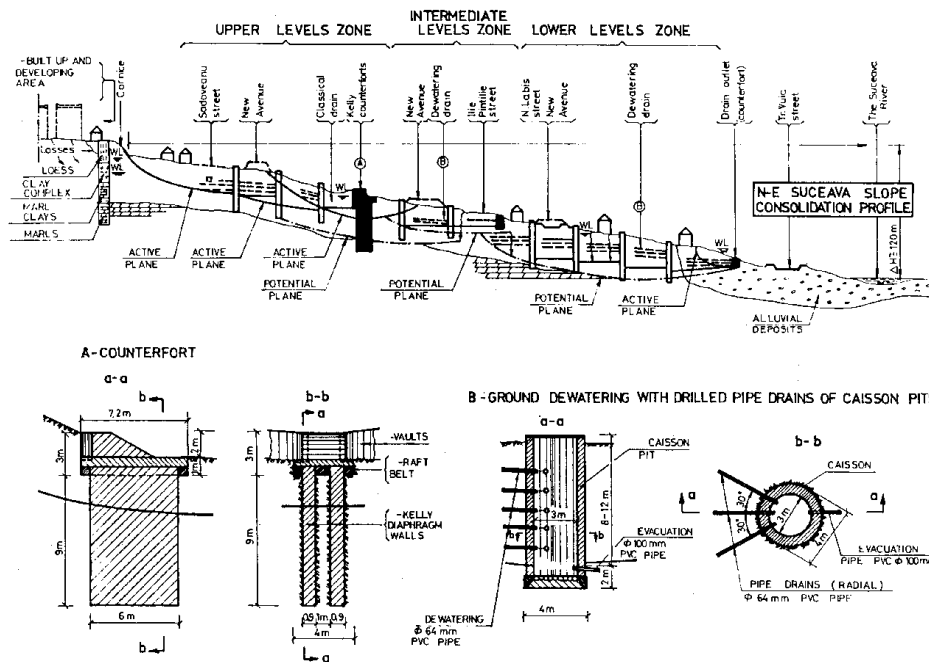


Figura 53: Medidas de estabilización en de Suceava (Rumania). Popescu et al., 1987.

Para finalizar, en la Figura 54 se muestran algunas fotografías relativas a la ejecución de este tipo de sistema de drenaje en diversos deslizamientos.



Figura 54: Detalles de ejecución de pozos. El Molinillo (Granada)

4 - GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN GEOTÉCNICA PARA EL MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN DE CARRETERAS CON PROBLEMAS DE INESTABILIDAD DE LADERAS

En apartados anteriores se ha resaltado que, a la hora de estudiar fenómenos de inestabilidad de taludes y laderas, es de un enorme interés contar con toda la información de que pueda disponerse, debidamente estructurada y organizada. Se ha señalado también que, dependiendo de la región de que se trate, a veces puede disponerse de publicaciones de las que se puede extraer detalles de interés, al menos desde un punto de vista cualitativo: mapas geológicos, geotécnicos, de riesgos, etc. Los primeros suelen ser meramente informativos en cuanto a las formaciones geológicas existentes en cada zona. Los últimos, los mapas de riesgos, se suelen resumir en último término en una jerarquización cualitativa de diversas zonas, a las que se asigna un cierto valor del riesgo existente (por ejemplo mediante una escala de 1 a 5 en riesgo creciente).

La utilidad de los mapas de riesgos es evidente, sirviendo como información valiosa, por ejemplo, a la hora de iniciar estudios de viabilidad e implantación de nuevas obras. El conocimiento de la existencia de un riesgo potencial, aunque sea meramente descriptivo, permite tomar conciencia de su existencia y facilita la toma de decisiones en cuanto a la necesidad de reconocimientos complementarios, diseños especiales o, incluso, posibles cambios de trazado.

Sin embargo, esta jerarquización sólo cualitativa del riesgo puede no es suficiente desde el punto de vista de la explotación y la conservación de la red de carreteras o ferrocarriles de una determinada región, ya que no proporciona información cuantitativa sobre las implicaciones económicas asociadas a los fenómenos de inestabilidad.

Así, cuando se producen roturas en los taludes y laderas de una determinada red, obviamente es necesario hacer frente a los costes correspondientes de reparación. De otro lado, cuando los problemas llegan a producir alteraciones en el tráfico, los retrasos en la circulación de vehículos también pueden asociarse en términos económicos con ciertos costes de explotación.

En definitiva, mantener los taludes y laderas de un viario en unas determinadas condiciones de servicio desde el punto de vista geológico-geotécnico estará ligado necesariamente con unos determinados costes, que sería del mayor interés conocer. En consecuencia, para obtener una jerarquización de actuaciones (no sólo del riesgo), cuantificable en términos

económicos, será preciso plantear y resolver tres cuestiones básicas: ¿en qué condiciones se está?, ¿qué se puede hacer? y ¿qué se gana con ello?

Siguiendo este enfoque, ya en 1992 los responsables técnicos del Cabildo Insular de Gran Canaria decidieron realizar el esfuerzo que supone incorporar componentes realmente económicas y de toma de decisión globales al problema de la inestabilidad de laderas para toda su red viaria (Ferrera, J.A. et al (1992)).

En su momento este estudio resultó muy novedoso habida cuenta de la inclusión, quizás por primera vez, de un análisis de inversiones basado en la relación Beneficio/Coste para el conjunto global de las carreteras estudiadas, permitiendo así a los responsables administrativos fijar un criterio objetivo de prioridades de actuación en función de su rentabilidad económica.

En esencia, el estudio consistió en crear y aplicar una metodología que permitiera realizar un análisis de inversiones adecuado, donde se recogieran los factores geológico-geotécnicos, los gastos de conservación y los costes de explotación. En último término se buscaba la obtención de un índice Beneficio/Coste de los tratamientos de los taludes y laderas en estudio, de manera que fuera posible establecer prioridades de inversión.

Se ha de señalar que con este planteamiento no se pretendía analizar de forma exhaustiva la viabilidad económica de un único proyecto determinado, sino desarrollar una herramienta que permitiera comparar y cuantificar una multiplicidad de inversiones, seleccionando prioridades, expresando todas ellas en términos homogéneos, permitiendo modificar los parámetros de entrada y las hipótesis de partida.

En lo que respecta a la información recopilada o generada para el estudio, cabe señalar:

- Un inventario de los taludes más problemáticos de la red (tanto por su historia como por sus condicionantes geomorfológicos) representados en alzados frontales como los descritos en capítulos anteriores recogiendo y sectorizando los problemas detectados o potenciales
- Una estimación cuantitativa del riesgo, directamente correlacionable con los costes de conservación y explotación. Para ello se emplearon las mismas fichas-alzado de talud, en donde el personal de conservación pudo plasmar su experiencia en cuanto a la frecuencia de ocurrencia de los problemas, los medios empleados para

solucionarlos, expresados en horas de equipos de conservación (ligeros o pesados), y el tipo de incidencia sobre la vía (corte total, parcial, etc). Un ejemplo de estas fichas se recoge en la Figura 55 .

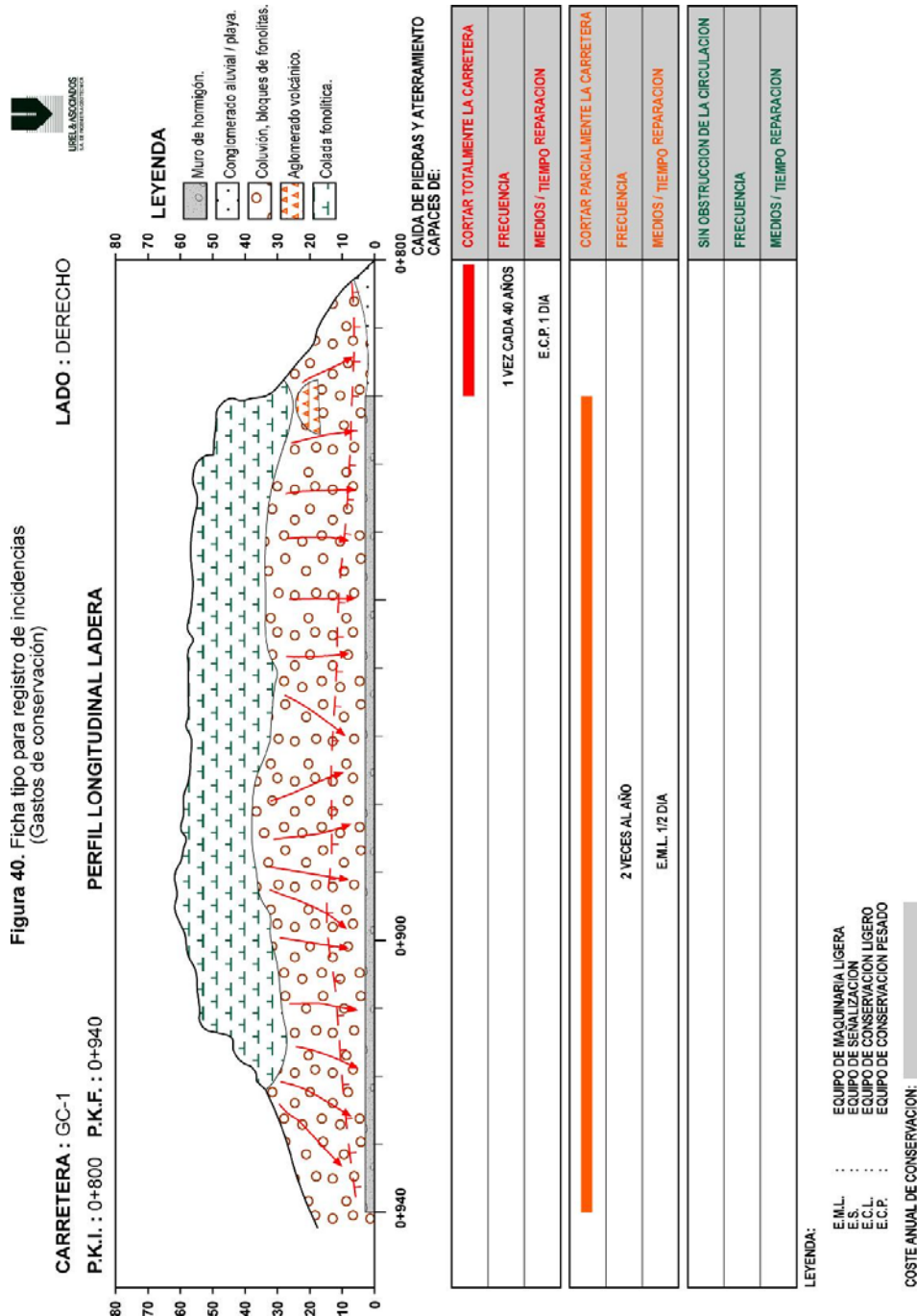


Figura 55: Ficha tipo para incorporación de detalles de conservación (evaluación de medios y costes de mantenimiento)

- Una batería de soluciones geotécnicas a aplicar en función del tipo de inestabilidad, representadas sobre los alzados; optimizadas y sistematizadas para los casos más habituales en función de las experiencias previas de la zona, e individualizadas para los taludes singulares (Figura 56).

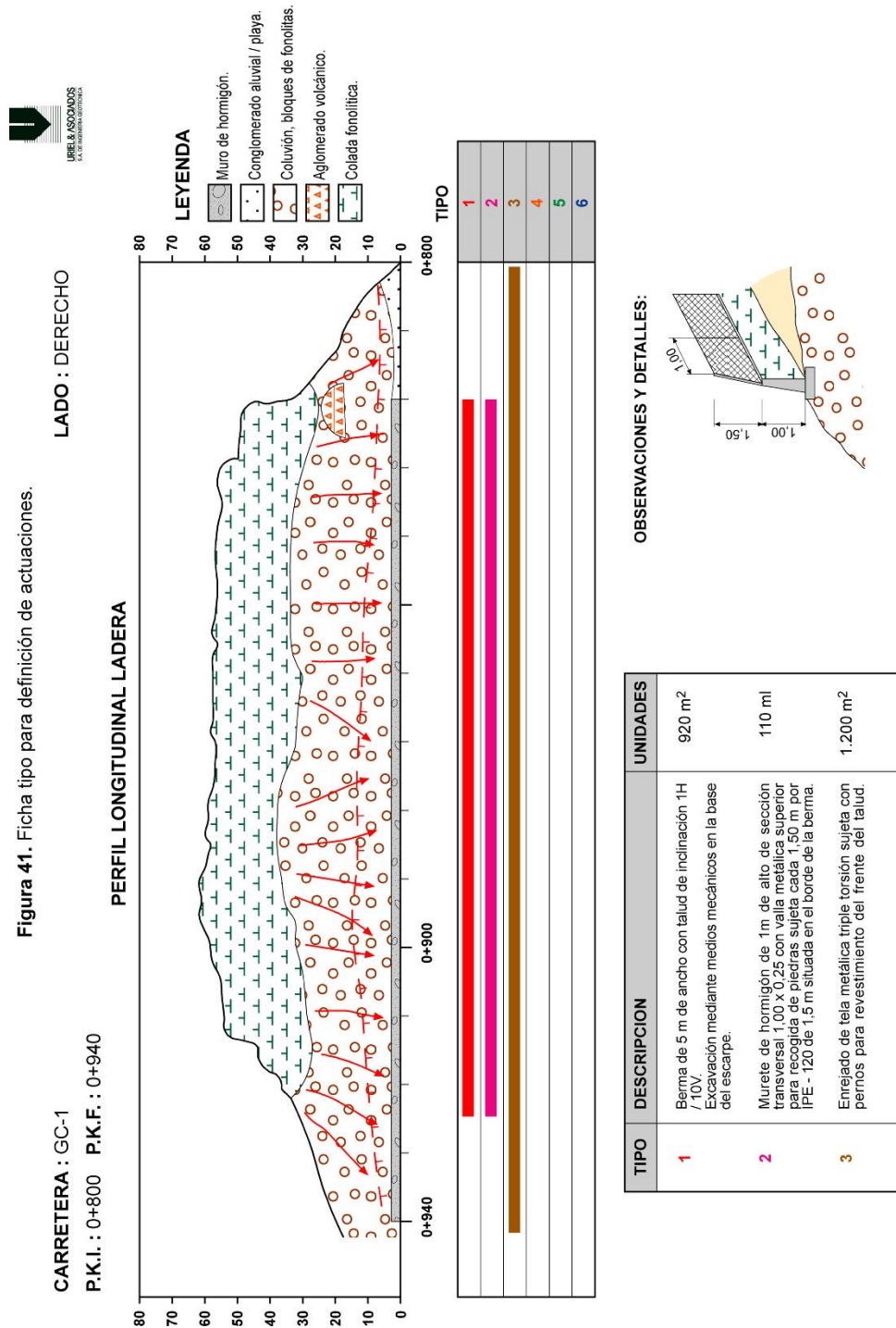


Figura 56: Ficha de propuesta y valoración de actuaciones

Con respecto al análisis económico, los flujos monetarios se dividieron en dos grandes grupos. En lo que se refiere a los costes, se consideraron los siguientes:

- Inversión inicial; esto es, los costes de ejecución de la solución adoptada en cada talud o tramo considerado, según se especificaba en las fichas de soluciones.
- Costes de conservación de la actuación, correspondientes al mantenimiento y conservación de algunos elementos a construir como parte integrante de la solución adoptada (cunetas, telas metálicas, etc.).
- Costes de conservación en la situación actual, obtenidos de la recopilación de datos en el Servicio Técnico de Carreteras a través de las fichas-alzado de conservación.
- Costes de conservación después de la actuación, mediante la asignación de una parte residual de los costes antes de la actuación en los casos en que la solución adoptada pudiera no eliminar todos los problemas. (Este coste podría ser revisado e implementado en la base de datos en función de los resultados realmente obtenidos tras la actuación).
- Costes de explotación, basados en los tiempos de demora deducibles de las fichas de conservación (Figura 55) y en los parámetros representativos del tráfico (IMD, factor de pesados, costes horarios de vehículos, etc). Como en el caso de los costes de conservación, se distinguieron entre los de explotación antes y después de la actuación.

En lo que se refiere a los beneficios, en un análisis como el descrito vienen dados evidentemente como diferencia de costes antes y después de la ejecución de la actuación.

Así, podían distinguirse:

- Beneficios de conservación derivados de la disminución de los costes que requiere el mantenimiento de las características funcionales de la vía y de las obras o bienes asociados a ella. Se consideraron con carácter anual constante actualizado al año 0 (año de la inversión inicial).
- Beneficios de explotación, definidos como la diferencia entre los costes de explotación antes y después de la actuación, considerados también con el carácter de gasto anual constante y actualizado al año 0.

La última fase del estudio consistió en la realización del análisis de inversiones para cada uno de los taludes en estudio. Siguiendo las recomendaciones de la Dirección General de Carreteras (MOPT, 1983), el criterio de valoración elegido fue la relación Beneficio/Coste (B/C) y la Tasa Interna de Rentabilidad (TIR). Se adoptó para ello una Tasa de Descuento del 12% (acorde con aquél momento) y un período útil de 25 años (ambos modificables de forma inmediata en la estructura de la base de datos).

Como ejemplo de los resultados obtenidos, en la figura 42 se presenta un mapa de la relación Beneficio/Coste para la totalidad de taludes y tramos estudiados en la isla de Gran Canaria. Obviamente, la metodología empleada, totalmente implementada en hojas de cálculo, permitiría modificar cualquiera de los datos de entrada y adaptarlo a nuevas condiciones. Asimismo proporcionaba directamente los detalles particulares de cada talud, la representación jerarquizada de índices parciales como los beneficios de conservación, explotación, etc. resultando, en definitiva, una herramienta muy potente para la gestión racional de una red de carreteras.

Figura 42. Plano resumen de valoración económica de los taludes considerados, ordenados en función de la relación Beneficio / Coste.

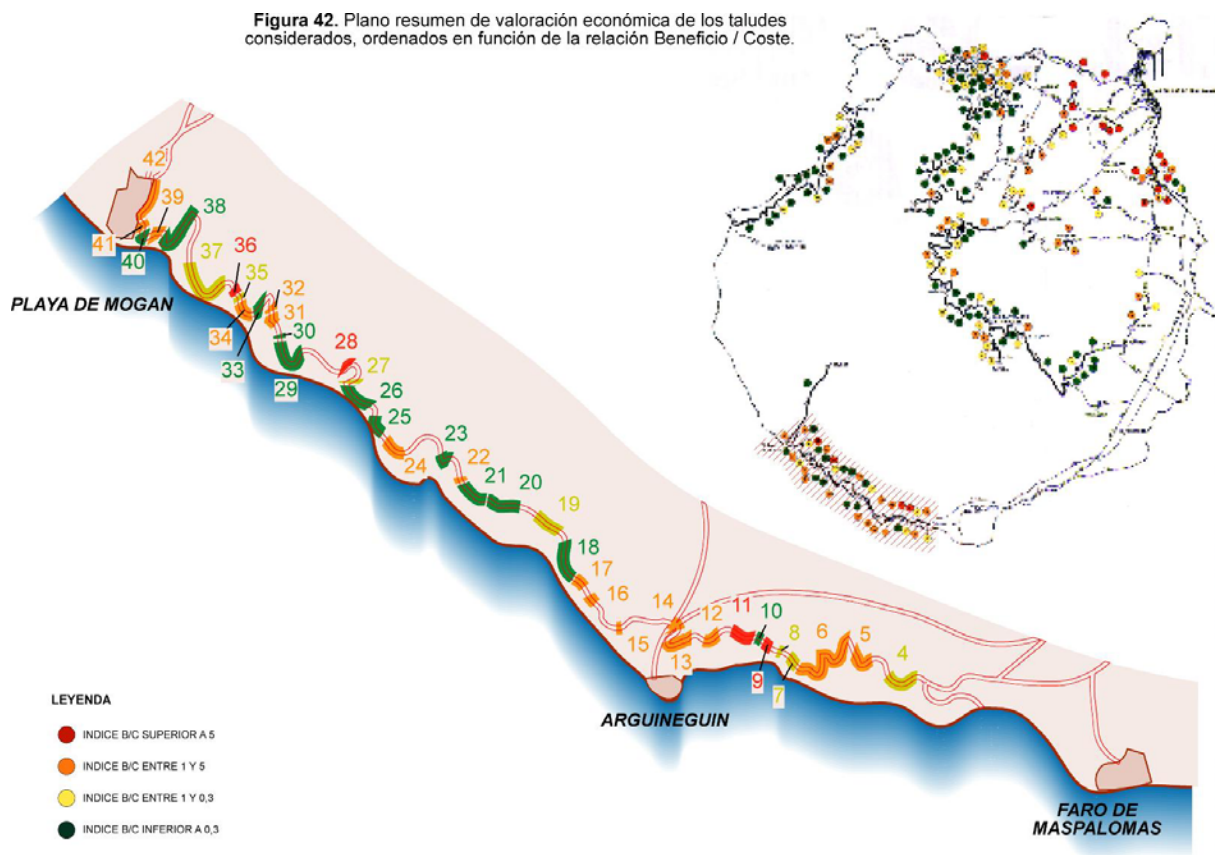


Figura 57: Relación beneficio/coste de las actuaciones de conservación en un tramo de carretera.

5 - BIBLIOGRAFÍA

- - ATIENZA, M. & ORTUÑO, L. (1998): "Propuesta Metodológica para los Estudios Geológico-Geotécnicos de Carreteras". I Congreso Andaluz de Carreteras. Granada.
- - BAUZÁ, J.D., (1998): "Mapa Geotécnico Viario de Andalucía: Una Propuesta para la Sistematización de la Información Geotécnica en la Red de Carreteras de Andalucía". I Congreso Andaluz de Carreteras. Granada
- - BONAPARTE, R., SCHMERTMANN, G.R., CHU, D. & CHOUREY-CURTIS, V.F. (1989): "Reinforced Soil Buttress to Stabilize a High Natural Slope". 12th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. II. pp. 1227-1230. Rio de Janeiro.
- -BROC, V., PÉREZ REVENGA, J.M., ORTUÑO, L., OLIVEROS, M. A., FEIJÓO, J.P. & VILLEGAS, I. (1997): "Estudio de un gran deslizamiento de la dera en La Riba (Tarragona)". IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada, 1997
- - CHANDLER, R.J. (1984a): "Recent European Experience on Landslides in Over-consolidated clays and soft rocks". Proceedings of the 4th International Symposium on Landslides. Vol. I, pp. 61-81. Toronto.
- - CHANDLER, R.J. (1984b): "Delayed Failure and Observed Strengths of First-time Slides in Stiff Clay". Proceedings of the 4th International Symposium on Landslides. Vol. II, pp. 19-25. Toronto.
- - FERRERA. J.A., OLIVEROS, M.A., ORTUÑO, L. PUEBLA, F.J. & URIEL, a. (1992):" Estudios de Prevención de Desprendimientos de las Carreteras de Gran Canaria". III Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. La Coruña
- - GONZÁLEZ DE CANALES, T., ORTUÑO, L., FEIJÓO, J.P & ESCRIBANO, J. (1998): "Diseño de un talud clavado como medida correctora en los taludes de la carretera A-340 a la altura del rio Genilla". I Congreso Andaluz de Carreteras. Granada.

- HUTCHINSON, J.N. (1977): "Assesment of the Effectiveness of Corrective Measures in relation to Geological Conditions and Types of Slope Movement". Symposium on Landslides and other Mass Movements. Praga.
- HUTCHINSON, J.N. (1983): "Methods of Locating Slip Surfaces in Landslides". Bulletin of the Association of Engineering Geologists. Vol. XX. No 3; pp. 235-252.
- ORTUÑO, L. (1999): "Soluciones de bajo coste para estabilidad de laderas en carreteras locales". VI Sesión de trabajo: Construcción de Carreteras en Condiciones Adversas". Segundo Congreso Nacional de Carreteras Locales. Torremolinos (Málaga).
- ORTUÑO, L. (2004): "Estabilización de Taludes en Suelo". Curso de Geotecnia par Infraestructuras". Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Sevilla.
- SKEMPTON, A.W. (1977): "Slope Stability of cuttings in Brown London Clay". Proc. 9th Int. Conf. SMFE. Vol. 3, pp- 261-270.