

# ***CURSO DE GEOTECNIA PARA INFRAESTRUCTURAS***

Sevilla, 2004

## ***ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN SUELO<sup>1</sup>.***

***Luis Ortuño Abad***

Uriel y Asociados, S.A.

Prof. Asociado. ETSICCP. UPM

---

<sup>1</sup> Texto extraído en su mayor parte de las referencias 11, 12 y 13.

# **ÍNDICE**

**Pag.**

1.- INTRODUCCIÓN. ....	1
2.- METODOLOGÍA DE ESTUDIO.....	1
2.1.- TRABAJOS PRELIMINARES DE INVESTIGACIÓN. ....	1
2.1.1.- Estudio previo en gabinete.....	1
2.1.2.- Reconocimientos preliminares y tratamiento de la información... 4	
2.2.- PROSPECCIONES GEOTÉCNICAS Y ENSAYOS DE LABORATORIO... 4	
2.3.- AUSCULTACIÓN BÁSICA.....	5
2.3.1.- Localización de superficies de deslizamiento y seguimiento de las deformaciones. ....	5
2.3.2.- Determinación y seguimiento de niveles piezométricos.....	11
2.4.- ANÁLISIS RETROSPECTIVOS.....	11
3.- ACTUACIONES CORRECTORAS. MEDIDAS “FLEXIBLES”.....	13
3.1.- GENERALIDADES. ....	13
3.2.- MODIFICACIONES EN LA GEOMETRÍA DEL TALUD.....	14
3.2.1.- Suavización de pendiente. ....	14
3.2.2.- Excavaciones en coronación.....	16
3.3.- RELLENOS DE PIE DEL TALUD (COMBINACIÓN DE UNA MODIFICACIÓN DE GEOMETRÍA JUNTO CON LA INTRODUCCIÓN DE UN ELEMENTO DE CONTENCIÓN).....	19
3.4.- OTRAS ESTRUCTURAS FLEXIBLES DE CONTENCIÓN. ....	22
3.5.- ACTUACIONES BASADAS EN EL DRENAJE.....	26
3.5.1.- Drenaje somero en taludes. Zanjas drenantes. ....	26

3.5.2.- Drenaje profundo.....	32
3.6.- ALGUNAS SOLUCIONES DE REFUERZO DEL TERRENO. TALUDES CLAVADOS. ....	38
4.- REFERENCIAS.....	42

# **ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN SUELO**

## **1.- INTRODUCCIÓN<sup>2</sup>.**

Una vez tratados los conceptos y métodos principales del cálculo de estabilidad, en los capítulos siguientes se desarrollan algunos criterios y soluciones a considerar en el análisis práctico. Para ello, se describe en primer lugar una metodología a seguir en el proyecto de nuevas obras o en la interpretación de patologías, se apuntan algunos factores de relevancia a tener en cuenta en la realización de cálculos y finalmente se detallan 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 la casuística y hacer especial hincapié en lo que se ha dado en llamar “soluciones flexibles”, que son las que menos medios especiales requieren y, por consiguiente, las comúnmente más económicas.

## **2.- METODOLOGÍA DE ESTUDIO.**

### **2.1.- Trabajos preliminares de investigación.**

El estudio de las condiciones de estabilidad de un talud ha de comenzar necesariamente por una serie de investigaciones preliminares, tanto en campo como en gabinete, que permitan establecer un marco de referencia sobre el que apoyar con posterioridad los análisis de detalle.

#### **2.1.1.- 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 deben 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

---

<sup>2</sup> El presente texto está extraído de las referencias , 11, 12, y 13 del final del capítulo.

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 2.1 se muestra un “montaje fotogeológico” de una ladera en Alora (Málaga), en la que las vías del FFCC se encontraban afectadas por movimientos periódicos que obligaban a reparaciones sistemáticas.

Aunque el problema ferroviario era local, la foto aérea y una interpretación geomorfológica adecuada reflejaron que las dimensiones de la masa deslizada superaba 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.

## LEYENDA

### SUSTRATO

- CUATERNARIO, fluvial y de ladera
- MIOCENO, molasas postorogénicas: conglomerados y areniscas.
- PALEOGENO, flysch de la formación Aljibe: margas y areniscas
- PALEOZOICO Complejo Maláguide: filitas, esquistos y calcoesquistos.

## SIMBOLOGIA

### GENERAL

- Casco antiguo de Álora.
- Situación de la trinchera estudiada.
-  Escarpe

### ASOCIADA A LA DINAMICA FLUVIAL

- Aluvial de fondo de valle.
-  Primera superficie aluvial.
-  Segunda superficie aluvial.

### ASOCIADA A LA DINAMICA DE LADERAS

-  Restos rocosos de cabeceras de deslizamientos.
-  Depósitos de avalancha.
-  Deslizamientos de suelos de flujo lento.
-  Desprendimientos de bloques.
-  Glacis.



Esquema fotogeológico de la zona de Álora.

**Figura 2.1: Planta fotogeológica de grandes movimientos de terreno en Álora (Málaga)**

Merecedora de atención es también la toponimia de la zona. 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 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 2.2).



**Figura 2.2: Reptación natural de taludes en “los Destrozos” (Málaga).**

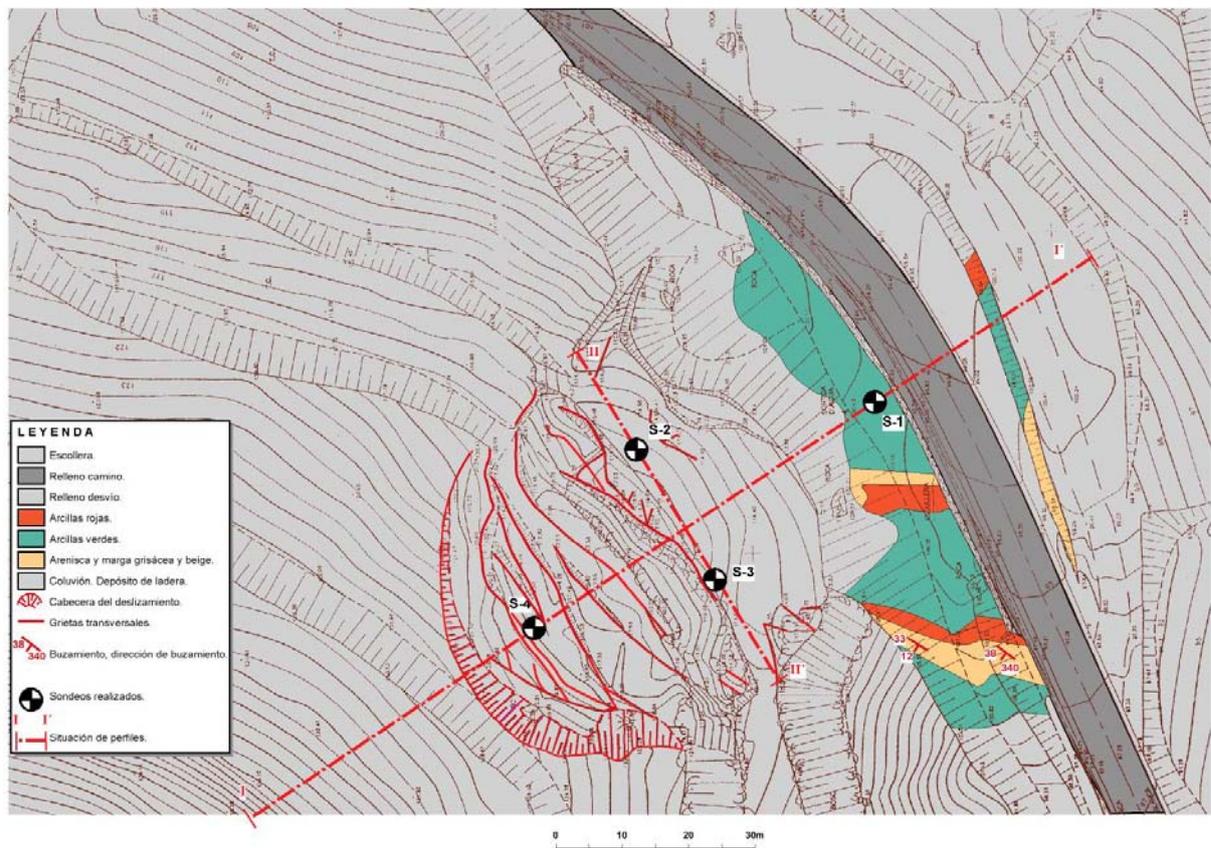
#### 2.1.2.- Reconocimientos preliminares y tratamiento de la información.

La segunda etapa en la elaboración de un estudio de estabilidad es la realización de un primer reconocimiento visual, que debe ser llevado a cabo por técnicos especialistas (geólogos e ingenieros) suficientemente adiestrados.

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. Se debe recorrer bien toda la zona, más allá de los límites del problema localizado, para obtener una visión de conjunto. También es el momento para planificar y decidir los primeros trabajos que pueden ser acometidos de forma inmediata, con facilidad y con bajo coste, y para adoptar en su caso las primeras medidas provisionales que permitan establecer un nivel de servicio aceptable.

Tanto para el estudio de nuevos trazados como para el estudio de inestabilidades ocurridas se han de obtener planos topográficos de calidad. En el último caso conviene contar con la situación anterior y posterior al deslizamiento. Sobre la base topográfica se han de preparar planos geológicos y geomorfológicos. Si ha habido inestabilidad, se deben representar sus límites y la dirección del movimiento, intentando establecer si es reciente o si la ladera presenta huellas morfológicas de deslizamientos pasados (figuras 2.3 y 2.4).



**Figura 2.3: Planta geomorfológica de un deslizamiento en Comiols (Lérida). Se observa alcance de la masa deslizada, los escarpes producidos, etc.**

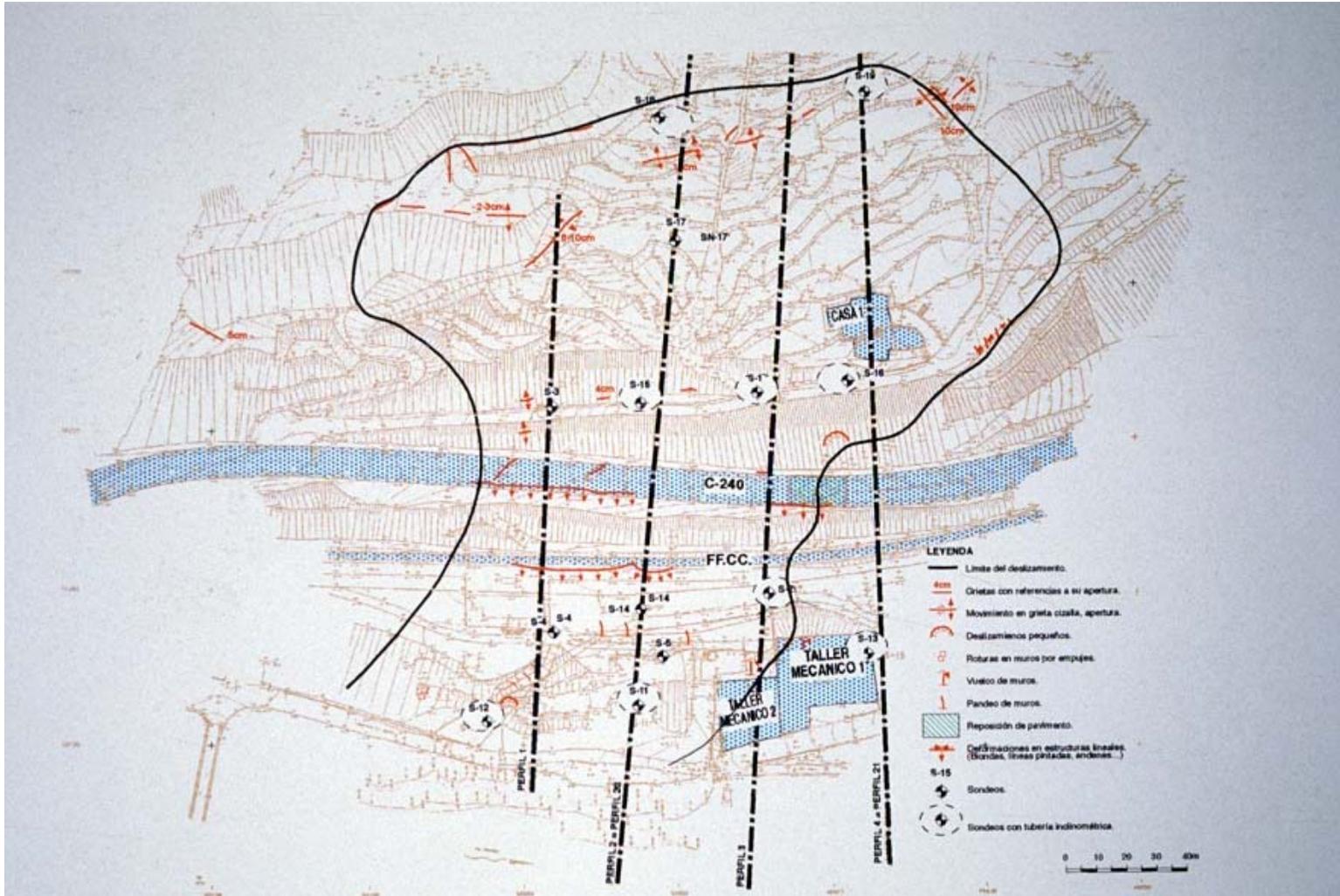


Figura 2.4: Planta geomorfológica de un gran deslizamiento en La Riba (Tarragona).(tomada de XXXXXX)

).

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

También resulta muy interesante la representación de los alzados de los taludes con problemas sobre foto seriada o sobre plano, en donde se representen de nuevo las condiciones geológicas y los signos visibles de las inestabilidades (grietas, “cucharas de deslizamiento”, etc.).

A menudo en el reconocimiento visual se comprueba que en los alrededores ya hubo problemas de estabilidad. Obviamente sería muy beneficioso contar con la información geológico-geotécnica generada en su momento: las investigaciones y conclusiones del proyecto de reparación, los problemas surgidos durante la construcción de las medidas correctoras y la forma en que fueron acometidos, las investigaciones complementarias, los estudios realizados y los detalles constructivos de las soluciones ejecutadas.

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 las obras.

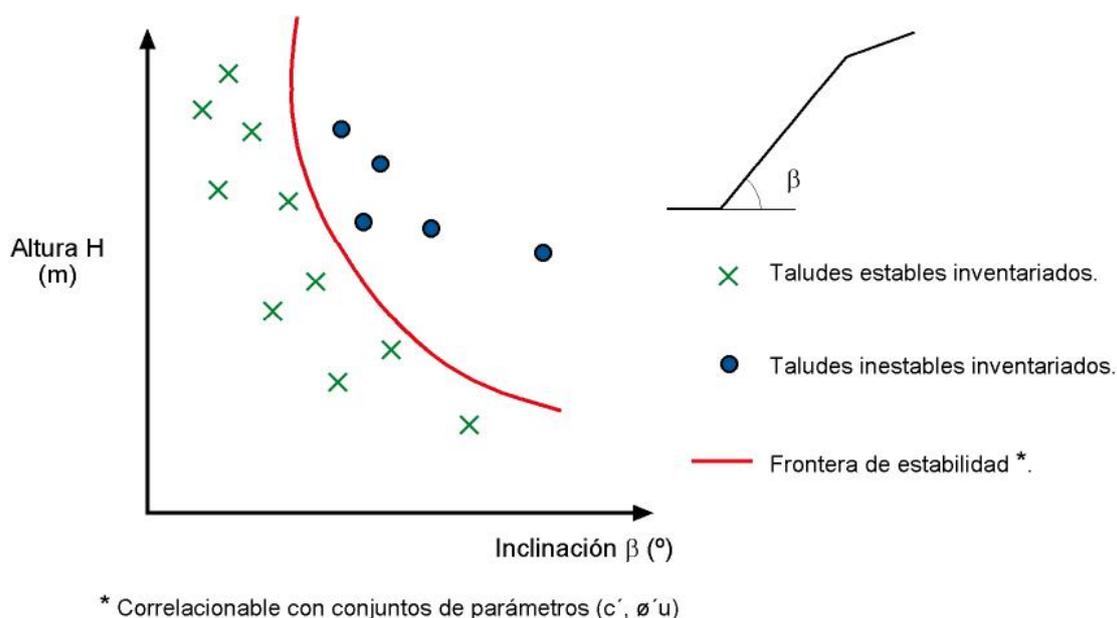
Se debe asimismo elaborar un inventario en donde se resuman los aspectos principales de los taludes y laderas del entorno (figura 2.5).

<b>INVENTARIO DE TALUDES (CARRETERA ACTUAL)</b>	<b>DESMONTE 3</b>		
<div style="background-color: #cccccc; padding: 2px; margin-bottom: 5px;"><b>LOCALIZACION</b></div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p style="text-align: center; margin: 0;"><b>SITUACION CON RESPECTO AL NUEVO TRAMO</b></p> <p><b>ITINERARIO:</b> JEREZ - LOS BARRIOS .....</p> <p><b>CARRETERA:</b> A-381..TRAMO.V.....</p> <p><b>P.K. PROXIMO:</b> 1+020-1+146 .....</p> </div>			
<div style="background-color: #cccccc; padding: 2px; margin-bottom: 5px;"><b>CARACTERISTICAS GEOMETRICAS:</b></div> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; border: 1px solid black; padding: 5px; vertical-align: top;"> <p><b>MARGEN DERECHA:</b>    <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><b>MARGEN IZQUIERDA:</b>    <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><b>MARGEN DERECHA:</b>    <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><b>MARGEN IZQUIERDA:</b>    <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><b>MARGEN DERECHA:</b>    <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><b>MARGEN IZQUIERDA:</b>    <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;"><b>GEOLOGIA:</b></div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: 90%;"> <p><b>DESCRIPCION GEOLOGICA:</b> A-2 / A3 .....</p> <p>.....</p> <p><b>INCIDENCIA CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS Y CLIMATICAS:</b> SECO .....</p> <p><b>INCIDENCIA CONDICIONES ESTRUCTURALES:</b> .....</p> </div>			
	<div style="background-color: #cccccc; padding: 2px; margin-bottom: 5px;"><b>ESTABILIDAD:</b></div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: 90%;"> <p><input type="checkbox"/> ESTABLE    <input type="checkbox"/> INEST. LOCALES    <input checked="" type="checkbox"/> INESTABLE</p> <p><b>TIPO DE INESTABILIDAD:</b></p> <p><input type="checkbox"/> SUSTRATO    <input type="checkbox"/> RECUBRIMIENTO    <input type="checkbox"/> AMBOS</p> <p><b>DESCRIPCION DE INESTABILIDADES:</b></p> <p>Grietas en cabecera y deslizamientos rotacionales. ....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> </div>		
<p><b>OBSERVACIONES ADICIONALES:</b>  .....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>			

**Figura 2.5: Ficha tipo de un inventario de taludes.**

En ocasiones resulta interesante además representar conjuntos de datos homogéneos del inventario en gráficos que aglutinen toda la información obtenida. Un ejemplo esquemático de este tipo se recoge en la figura 2.6, en donde se representan las condiciones de estabilidad observadas en una formación geológica en función de la altura y la pendiente de sus taludes.

Como puede apreciarse, esta representación 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 especialmente detallado.



**Figura 2.6: Gráfico resumen de un inventario de taludes en suelos homogéneos,**

La obtención de información local es un complemento imprescindible de la fase anterior. Así, 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, Servicios Provinciales, etc. 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”.

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 curiosos ejemplos andaluces, como la identificación “popular” de la ladera más problemática en el trazado Lucena-Cabra 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, más un largo etcétera.

## **2.2.- 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).

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.

## **2.3.- Auscultación básica.**

### 2.3.1.- Localización de superficies de deslizamiento y seguimiento de las deformaciones.

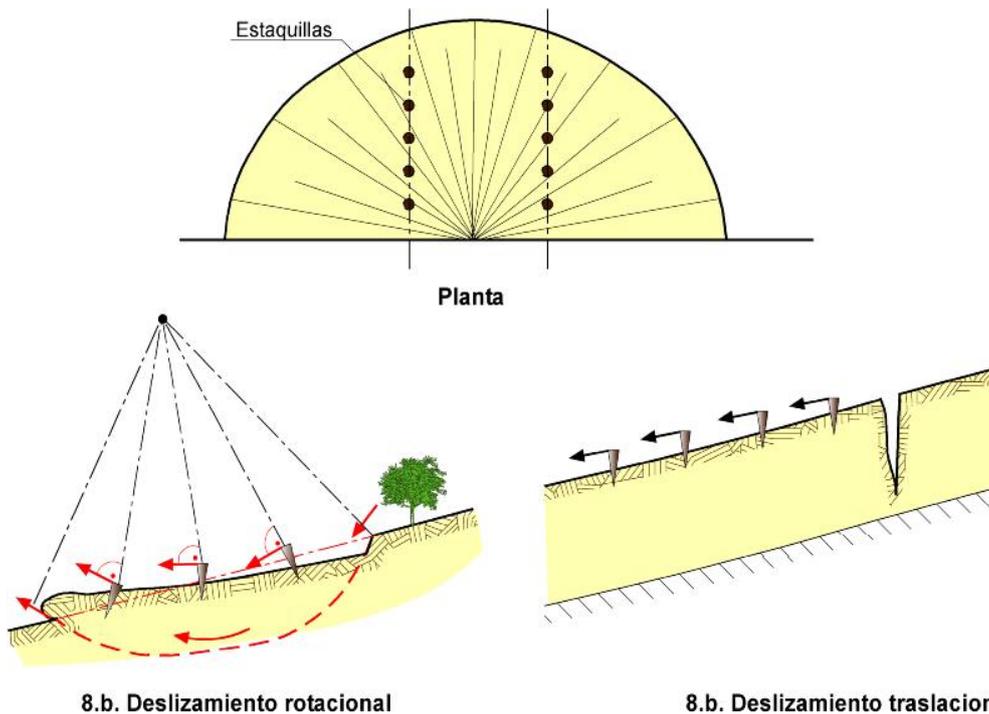
Uno de los factores más importantes en el estudio de taludes inestables es sin duda la localización de la superficie de deslizamiento. Sólo con un adecuado conocimiento de la misma se puede llegar a evaluar la masa de terreno involucrada, (y por lo tanto el volumen de suelo a contener), el tipo de movimiento 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 2.7 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.

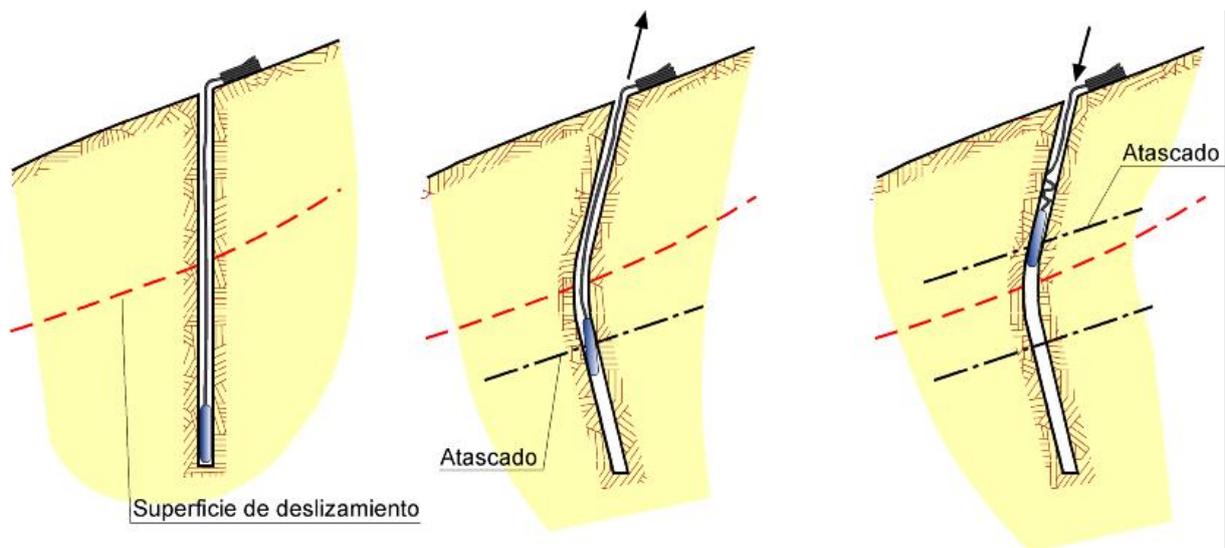
En estas circunstancias, en la hipótesis de un círculo de deslizamiento, cabría esperar que los vectores de movimiento de las estaquillas muestren aproximadamente un único "centro de rotación". Empleando dicho centro, pero tomando como radio la distancia hasta el escarpe de coronación, se podría inferir la situación aproximada de la superficie de deslizamiento real, aunque se encuentre a profundidad.



**Figura 2.7: 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 2.8, 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.

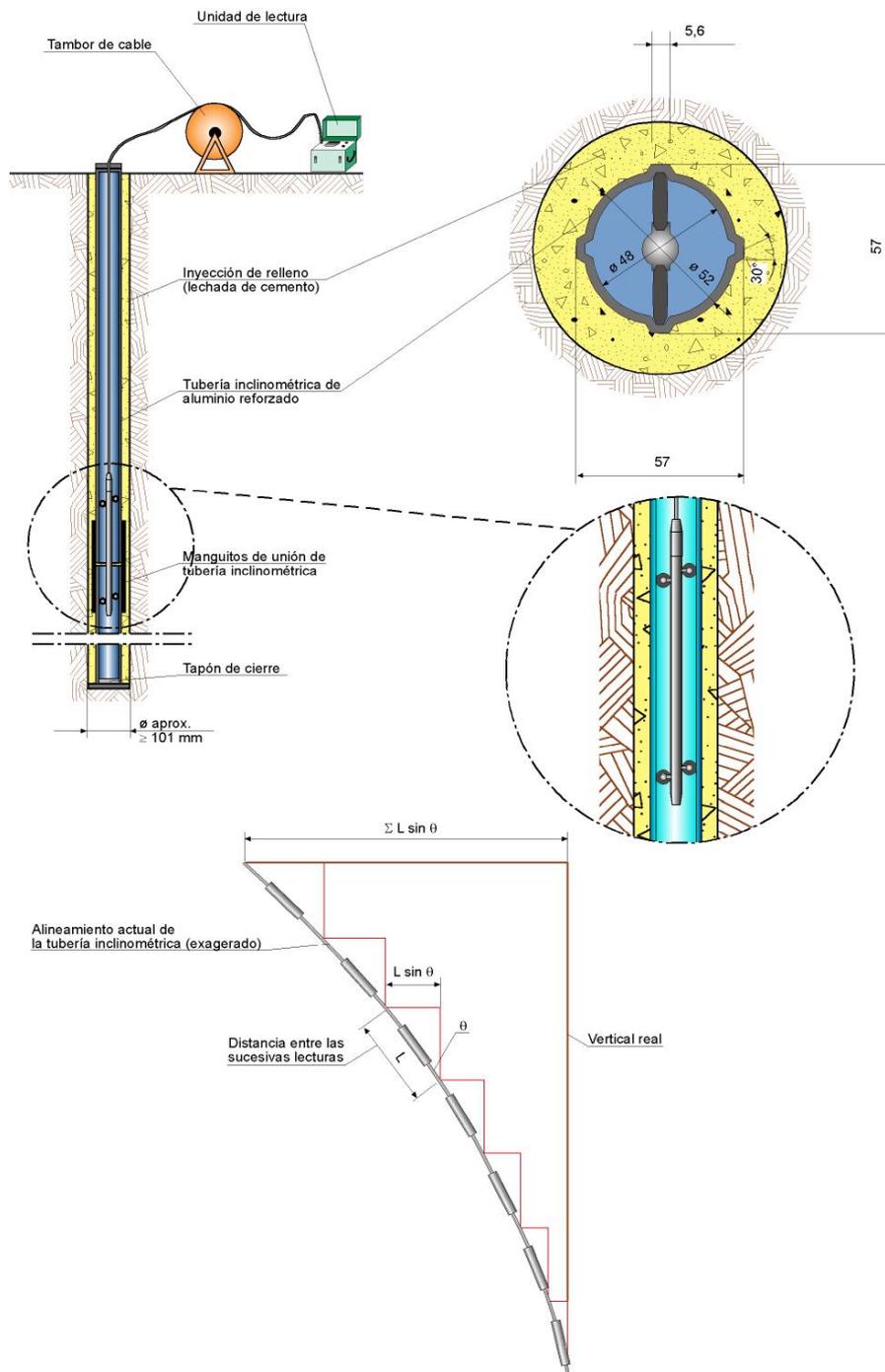


**Figura 2.8: Instalación y empleo de testigos detectores de movimiento.**

Si transcurrido un cierto tiempo desde la instalación del testigo 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.

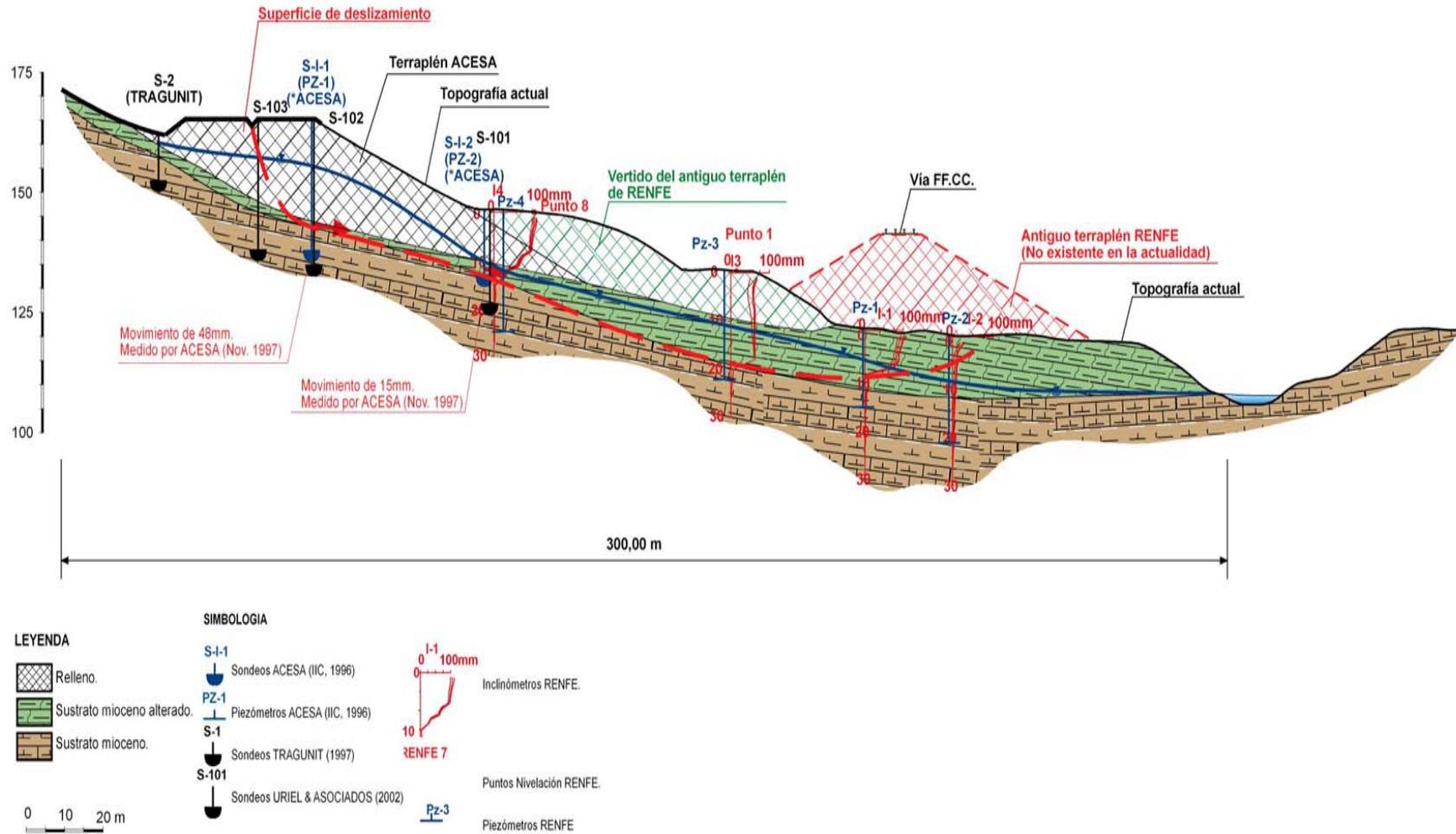
El procedimiento más preciso para detectar superficies de deslizamiento y analizar la evolución de los movimientos del terreno radica en cualquier caso en el empleo de inclinómetros. En la figura 2.9 se muestran las características fundamentales de este sistema, para cuya instalación se pueden aprovechar los sondeos de investigación geotécnica



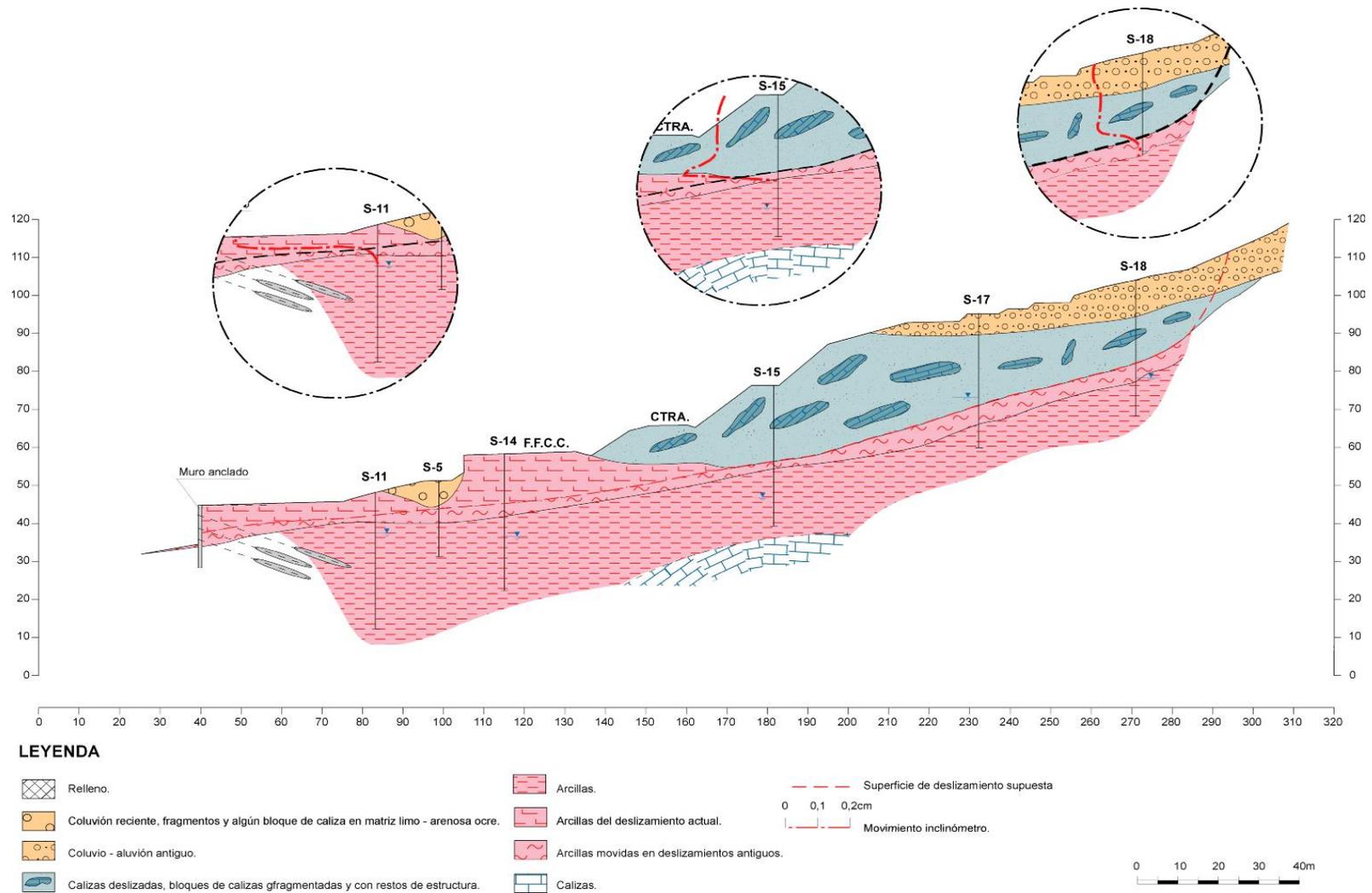
**Figura 2.9: Esquemas de funcionamiento de inclinómetros.**

Los inclinómetros presentan como mayores inconvenientes su coste y su escasa durabilidad en el caso de que la magnitud de los movimientos sea muy importante, dado que la tubería puede llegar a romperse. En las figuras 2.10 y 2.11 se muestran dos ejemplos de cómo el uso de inclinómetros permitió detectar con fiabilidad superficies de deslizamiento considerablemente profundas.

## PERFIL GEOTECNICO DESLIZAMIENTO SANT SADURNI D'ANOIA



**Figura 2.10: Perfil geotécnico de un gran deslizamiento.**



**Figura 2.11: Detección de superficies de deslizamiento mediante inclinómetros. La Riba (Tarragona)**

### 2.3.2.- 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 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 .

### **2.4.- 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 las auscultaciones 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 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 las soluciones “flexibles”. 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 talud<sup>3</sup>.**

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 3.1 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<sup>4</sup>.

El efecto de la suavización de pendiente se complica en cierta medida cuando se trata de excavar un desmonte 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.

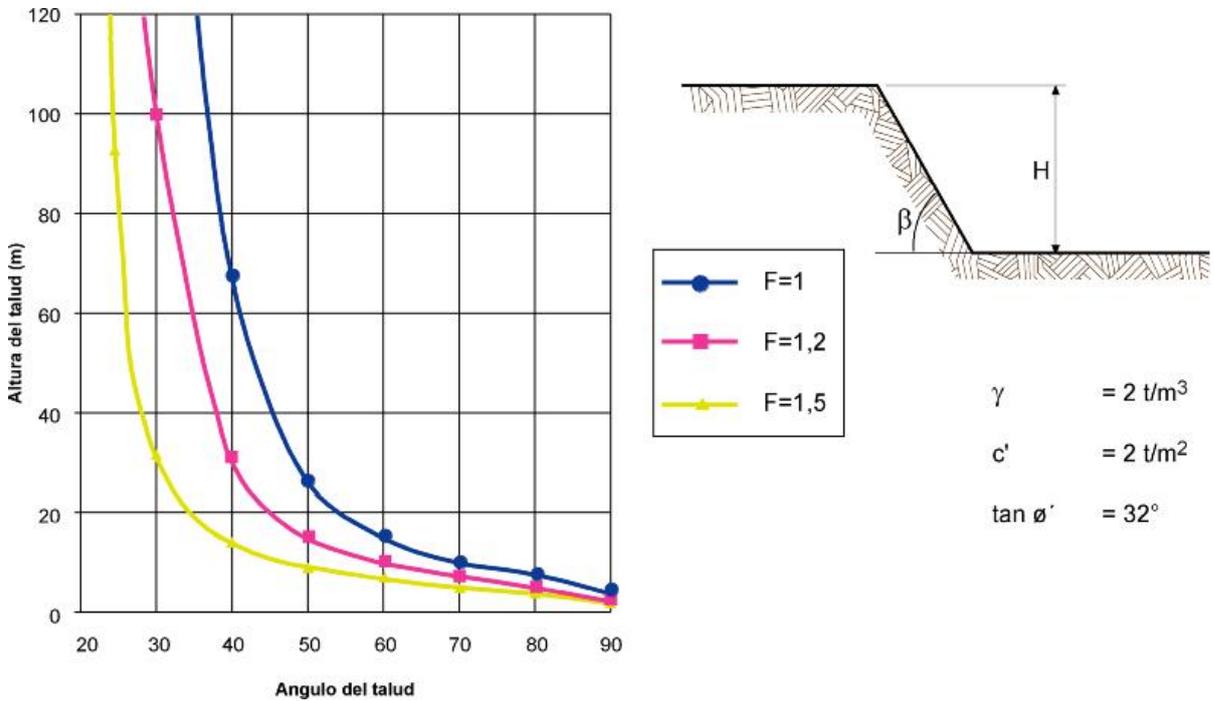
Independientemente de las consideraciones anteriores, en muchos casos el mayor inconveniente de tender un talud en laderas con fuerte pendiente es el considerable aumento del volumen de excavación, así como la mayor afección de terrenos y posibles expropiaciones, lo que a menudo obliga a desechar su aplicación. Por otra

---

<sup>3</sup> 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 imparte desde 1989.

<sup>4</sup> Se ha supuesto en los ejemplos el talud seco y se han empleado para el cálculo los ábacos de Hoek & Bray (1981). Obviamente se pueden obtener familias de curvas similares para cualquier otro tipo de terreno o para cualquier hipótesis de agua. Lógicamente además, la “forma” de las curvas resulta muy semejante a la de la figura 2.6.

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.



**Figura 3.1: Combinaciones altura-pendiente en un talud de coronación horizontal que proporcionan el mismo factor de seguridad.**

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 en su tramo El Cueto-Matalablima (figura 3.2).

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. El buzamiento de las capas resultaba perpendicular a la calzada y prácticamente 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.

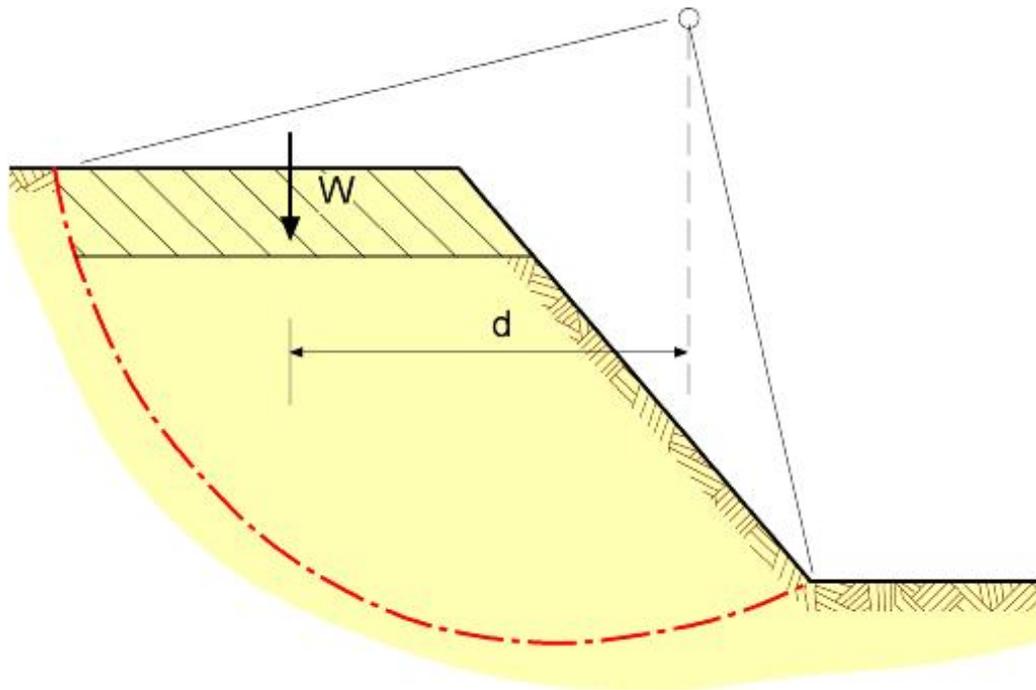


***Figura 3.2: Deslizamientos traslacionales en la autovía del Cueto.***

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.

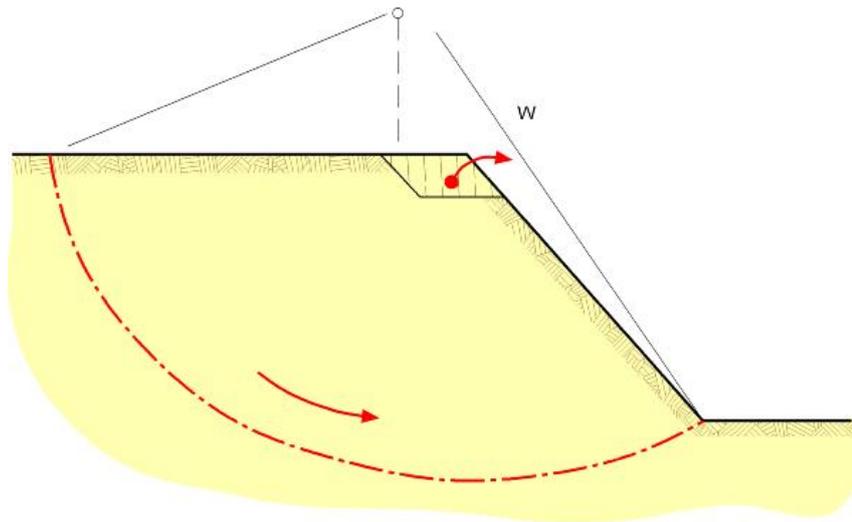
De entre las modificaciones en geometría de taludes potencialmente inestables, ésta es quizás una de las más interesantes y efectivas, cuando es posible llevarla a cabo. En la figura 3.3 se muestra cómo para deslizamientos de tipo rotacional la eliminación de una porción de la cabecera puede proporcionar varios efectos beneficiosos:



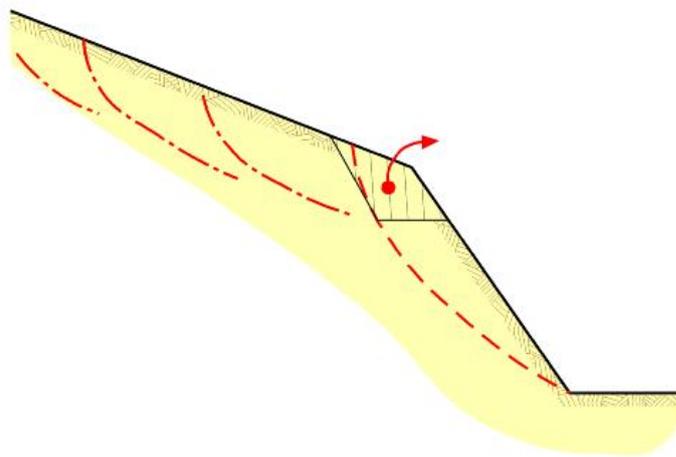
**Figura 3.3: Estabilización de un talud por excavación en coronación.**

- 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 coronación 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 3.4).



**Desencadenamiento de un deslizamiento profundo por descabezado de talud**



**Deslizamientos remontantes causados por descabezado de talud**

***Figura 3.4: Posibles efectos negativos de 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.

### **3.3.- 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 nuestra red viaria (figura 3.5).



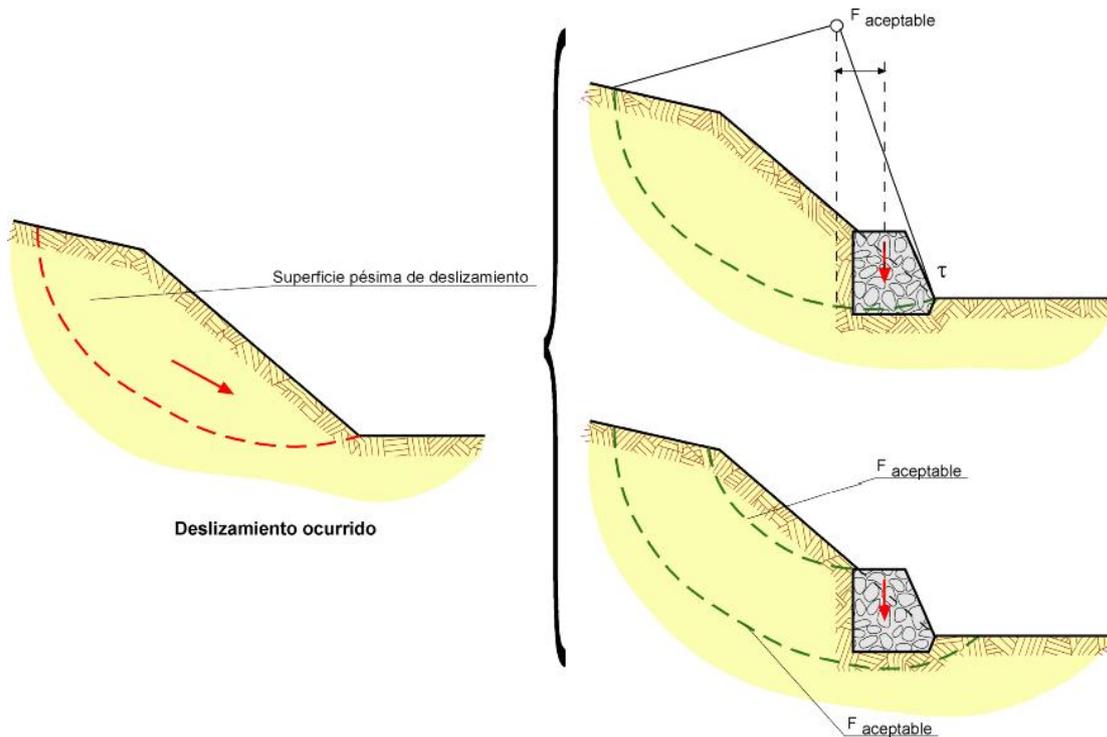
**Figura 3.5: Muro de escollera y relleno de trasdós en desmonte.  
Autovía Jerez-Los Barrios.**

La filosofía de esta medida puede ser doble (figura 3.6). Por una parte, siguiendo el esquema del equilibrio de masas estabilizadoras y desestabilizadoras para deslizamientos rotacionales, la introducción de un peso adicional al pie de un deslizamiento introduce un momento estabilizador, lo que automáticamente aumenta el factor de seguridad

Por otra parte, si el relleno 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.

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 3.6). Por último, estos rellenos también pueden emplearse como auténticos muros de gravedad para contener el empuje de deslizamientos marcadamente traslacionales.



**Figura 3.6: Rellenos estabilizadores al pie de talud.  
Comprobaciones necesarias.**

Los materiales empleados en general para estas actuaciones suelen ser granulares, de tamaño grande, 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  $50^\circ$ . 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 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 3.7). Permiten emplear materiales granulares de menor tamaño (gravas), obteniendo resultados resistentes similares y quizás un menor impacto visual. El “secreto” de estos elementos radica en el confinamiento que producen las “cajas” de tela de gallinero 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 3.8).



**Figura 3.7: Contención de gaviones. Carretera Ubeda-Baeza.**

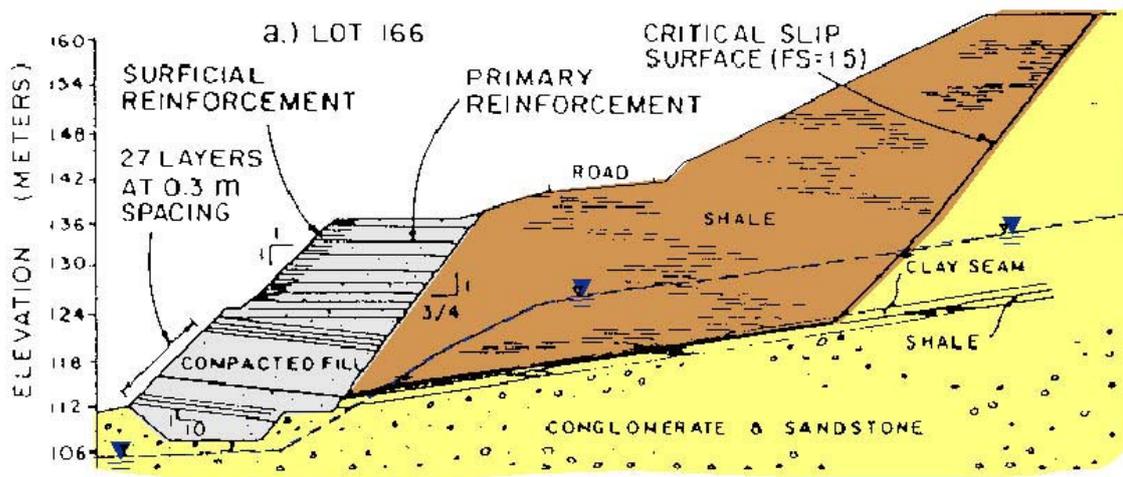


**Figura 3.8: Contención de gaviones deformada en la carretera Jerez-Los Barrios.**

### **3.4.- Otras estructuras flexibles de contención.**

Además de los 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, siempre deseable, en los últimos años se han comenzado a emplear macizos de suelo reforzado (con geomallas, tierra armada, etc). En la figura 3.9 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.

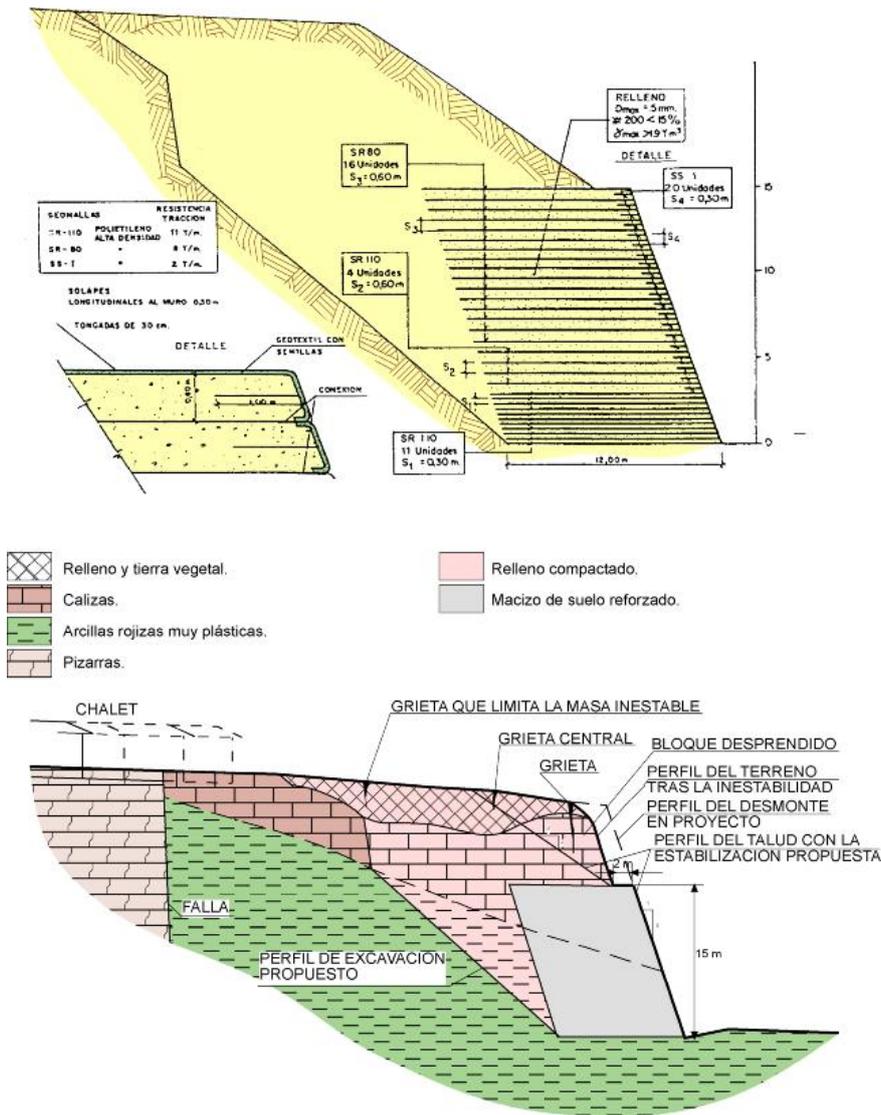


**Figura 3.9: Ejemplo de estabilización mediante un muro de suelo reforzado (según Bonaparte, R. Et al., 1989).**

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.

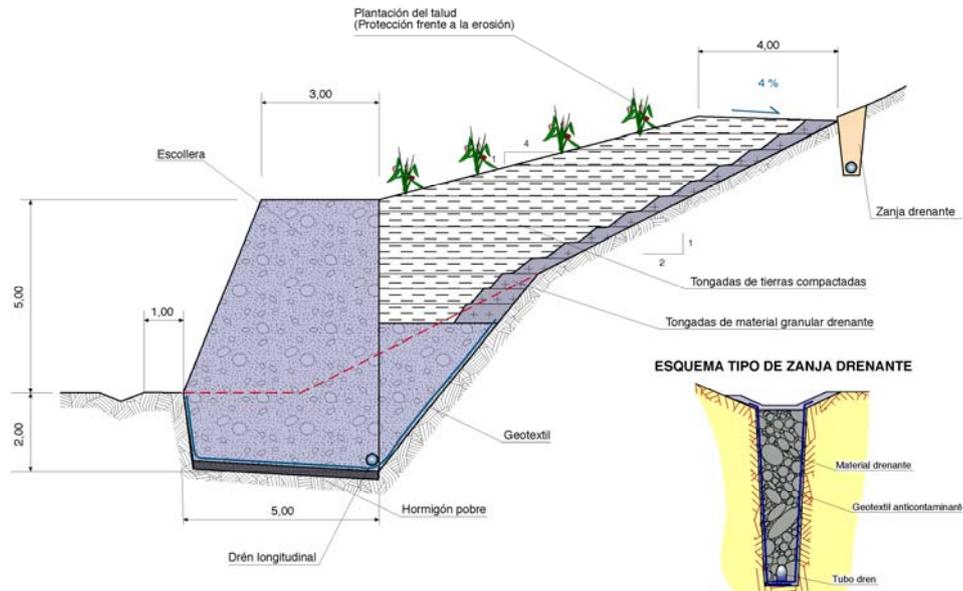
La filosofía general de diseño en un suelo reforzado de esta manera es muy similar a la de una tierra armada, en donde en lugar de los flejes metálicos se emplean geomallas. Ambas soluciones resultan considerablemente flexibles y permiten obtener paramentos muy verticalizados, que pueden rematarse de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

En la figura 3.10 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 3.10: Detalle de una propuesta de estabilización mediante suelo reforzado en la Ronda Este de Málaga.**

Cuando la envergadura del talud no es tan importante como la mostrada en las figuras anteriores o cuando se puede disponer de algo de escollera, una posible solución económica radica en construir un pequeño tacón al pie del deslizamiento y un relleno de tierras en su trasdós, de manera que ascienda lo necesario en el talud como para que el efecto de su peso sea beneficioso para la estabilidad general. El talud restante en terreno natural se puede entonces reperfilear, quedando un talud de menor altura y probablemente más suave, es decir, más seguro (figura 3.11, que corresponde a la fotografía mostrada en la figura 3.5).



**Figura 3.10: Combinación de escollera y relleno estabilizador empleado en la Autovía Jerez-Los Barrios.**

Esta misma idea puede aplicarse con refuerzos de gaviones, tal y como muestra la figura 3.11.



**Figura 3.11: Combinación de gaviones y relleno estabilizador empleado en la carretera Rute-Iznajar-**

Obviamente para que este tipo de 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.

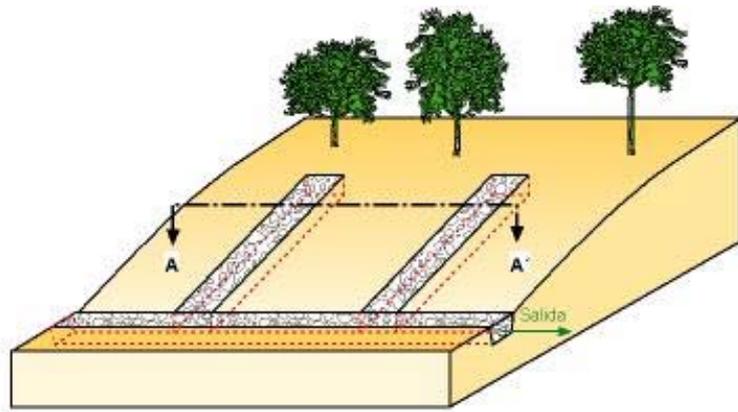
### **3.5.- Actuaciones basadas en el drenaje.**

Como se ha apuntado, 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.

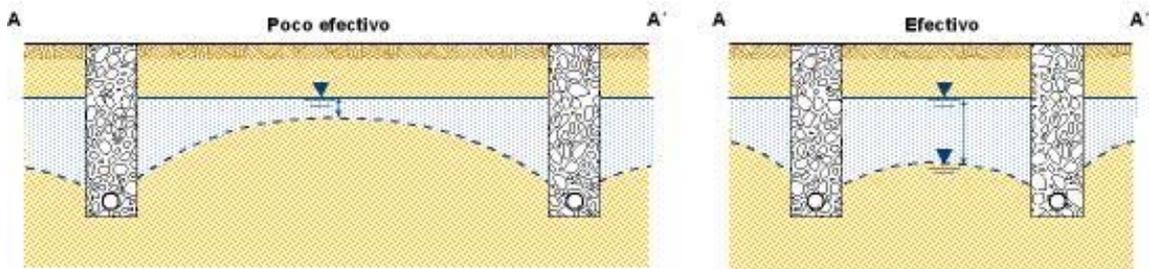
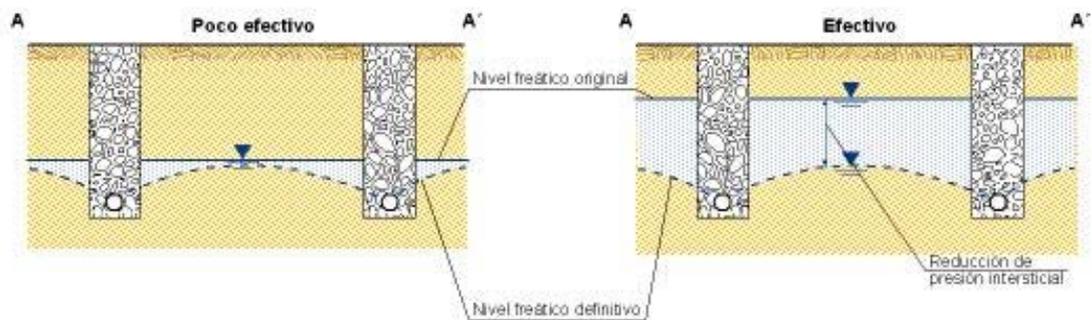
#### **3.5.1.- Drenaje somero en taludes. Zanjas drenantes.**

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 desmonte o la ladera (figura 3.12.a).



(a)



(b)

**Figura 3.11: Zanjas drenantes 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 (figura 3.12.b).

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 definitivo<sup>5</sup>. 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).

En el caso particular de que la superficie de deslizamiento sea relativamente somera, es conveniente intentar alcanzarla y atravesarla con las zanjas. De esta manera se puede hacer uso del elevado rozamiento interno del material granular de relleno y aumentar 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 3.13).

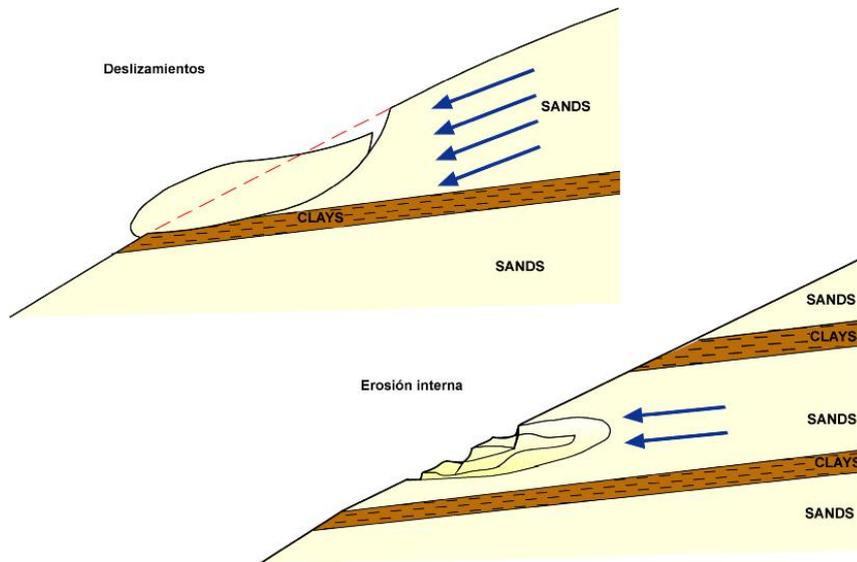
En ocasiones la pendiente del talud es muy acusada como para ejecutar zanjas siguiendo líneas de máxima pendiente, o las condiciones geológicas resultan desfavorables para dicha orientación. En estas circunstancias puede ser interesante acudir a la ejecución de las zanjas siguiendo las líneas de nivel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

Este fue el caso de alguno de los taludes excavados en la Ronda Exterior de Oviedo, mostrados esquemáticamente en la figura 3.14 (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

---

<sup>5</sup> 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.



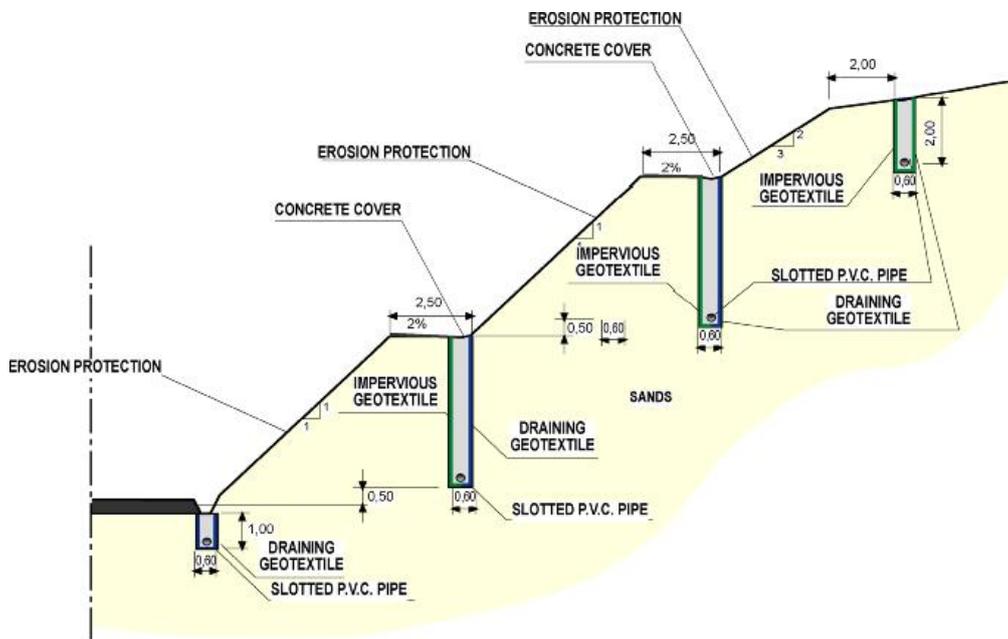


**Figura 3.14: Mecanismos de inestabilidad en desmontes sobre arenas en la Ronda Exterior de Oviedo.**

Como medidas correctoras, en aquéllas zonas en las que ya se habían producido problemas se acudía a la ejecución de enchachados drenantes con escollera, a modo de parches de colmatación de las inestabilidades producidas, que se complementaban con una mejora de drenaje mediante zanjas (figura 3.15). 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. En la figura 3.16 se muestran los detalles del tratamiento, pudiendo observar cómo las zanjas llegaban a solapar en profundidad. Con este tratamiento se perseguía la intercepción 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 3.15: Detalle de los encachados ejecutados y zanjas de drenaje en la autovía del Cueto.**



**Figura 3.16: 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 intercepción 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. 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, 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.

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.

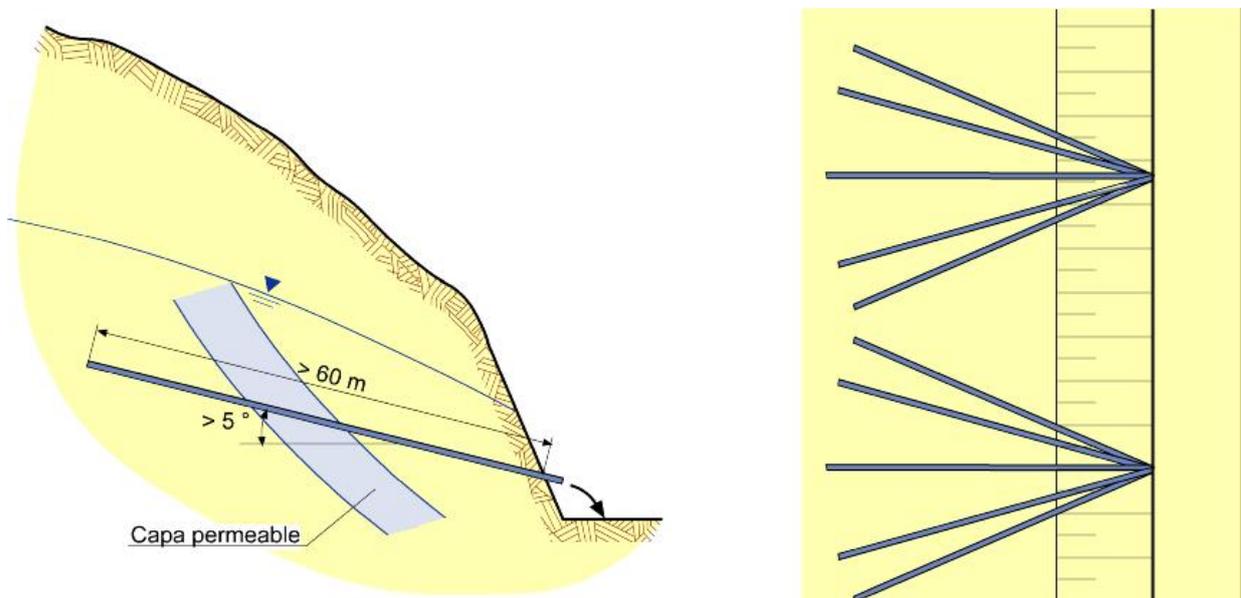
Para hacer frente a este efecto hace algunos años, se forzaba a la floculación de la bentonita mediante el empleo de sustancias especiales. Hoy en día la ejecución de este sistema resulta más simple gracias al empleo de lodos biodegradables.

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.

### 3.5.2.2.- 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 3.17).



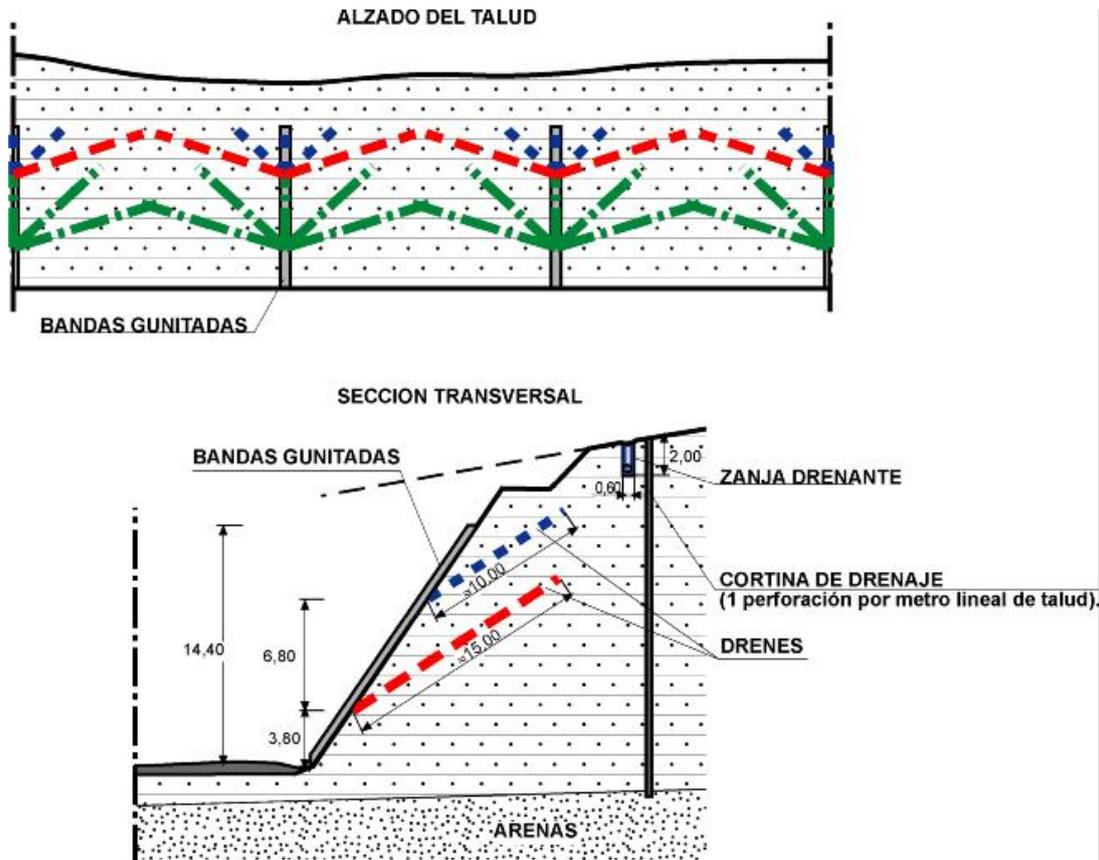
**Figura 3.17: Esquema de la instalación y fundamento de los drenes californianos.**

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 los 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).

Su eficacia es más que 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 3.18 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.



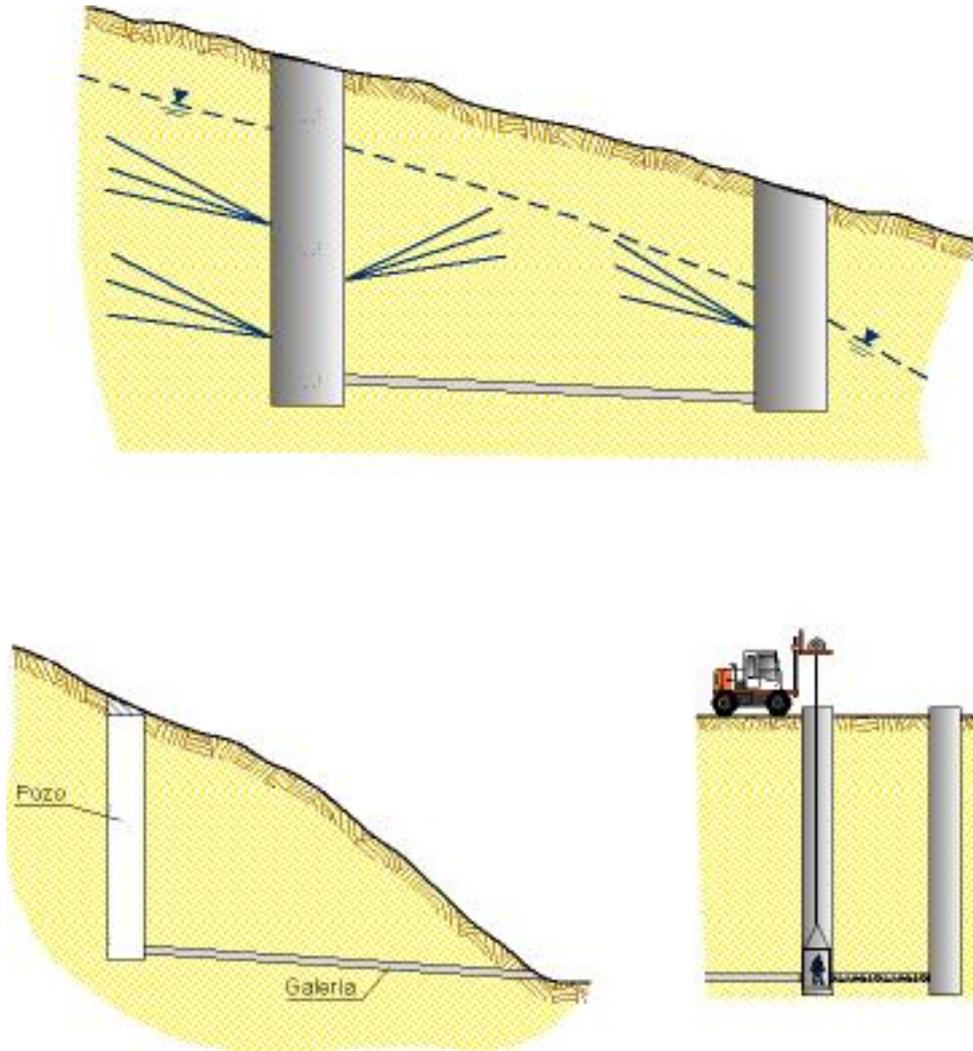
**Figura 3.18: Drenes californianos y cortinas verticales en la autovía del Cueto.**

### 3.5.2.3.- Pozos de drenaje.

Un procedimiento de drenaje profundo muy versátil y relativamente económico es 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 pueden ejecutarse con mayor facilidad desde el punto de vista de la accesibilidad en obra. 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.



**Figura 3.19: Sistema de pozos de drenaje conectados en combinación con drenes californianos de captación.**

En primer lugar se comienza a excavar los pozos, de diámetro entorno 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.

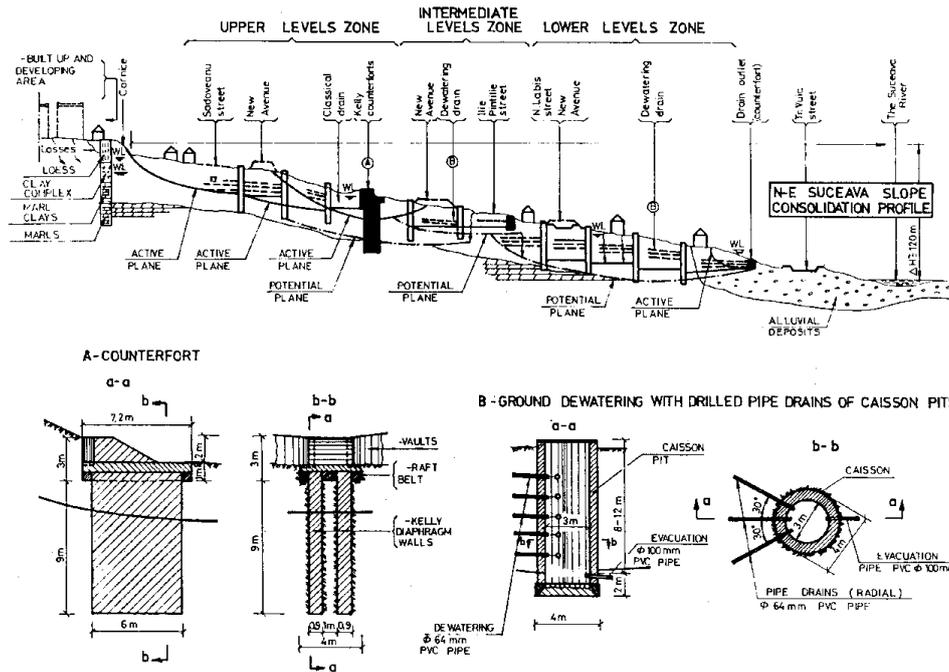
La operación más delicada en todo el proceso es la conexión entre pozos, habida cuenta del riesgo de desviación de la perforación que ha de unirlos. Para reducir dicho riesgo, si se emplean estos sencillos equipos, es necesario aproximar considerablemente los pozos entre sí, del orden de unos 10 a 15 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, puede ser necesario continuar con la ejecución de pozos intermedios, ya por debajo de la zona que se desea estabilizar, con el fin de reducir las longitudes de perforación y sus correspondientes desviaciones en la evacuación final del agua captada.

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 3.20 se muestra un ejemplo de esta doble actuación, tomada de Popescu, M.E. et al. (1987).



**Figura 3.20: Medidas de estabilización en de Suceava (Rumania). Popescu et al., 1987.**

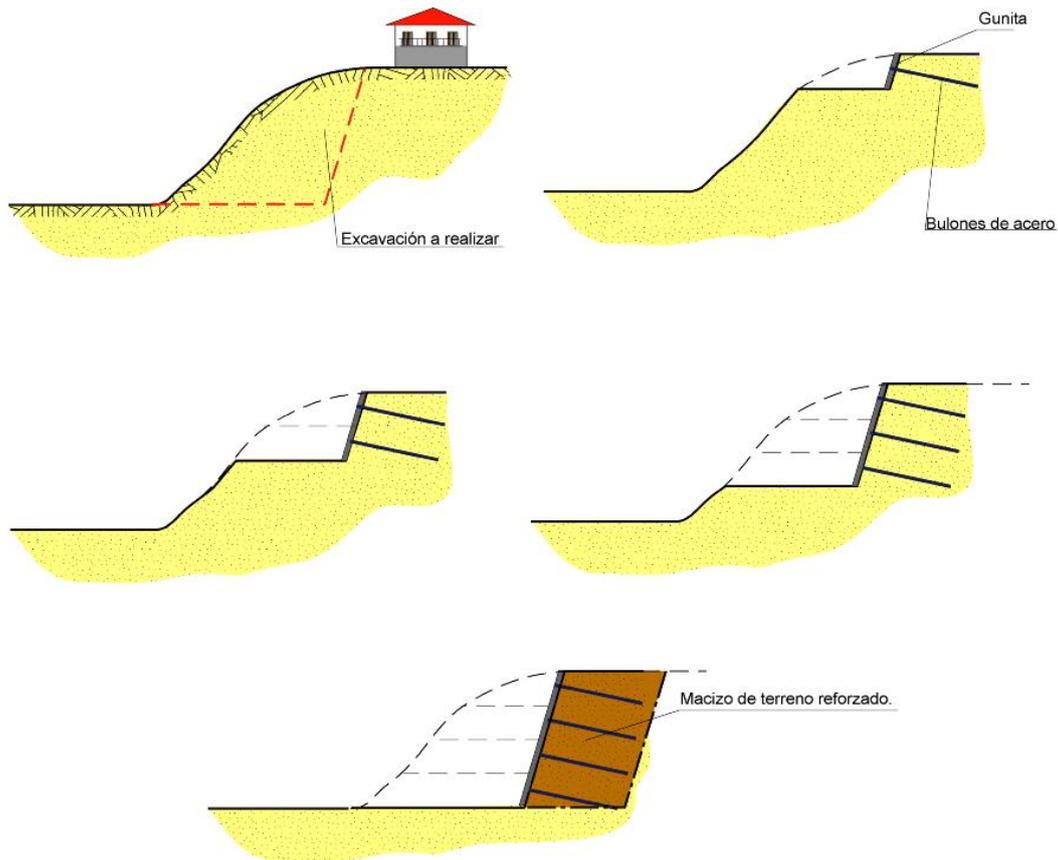
### 3.6.- Algunas soluciones de refuerzo del terreno. Taludes clavados.

En los últimos 20 años han alcanzado una cierta profusión, especialmente en Francia, los denominados “taludes clavados” (figura 3.21).

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 puede deducirse, 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.

Como se ha mencionado, las barras del talud clavado son en general simples redondos de acero roscados que se colocan con centradores en taladros perforados previamente, rellenos posteriormente con una lechada o mortero de inyección.



**Figura 3.21: Esquema conceptual del claveteado de taludes.**

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.

Entre las principales ventajas que presenta la técnica del “talud clavado” cabría citar:

- Empleo de maquinaria ligera.
- Rapidez de ejecución.
- Adaptabilidad a cualquier geometría del talud.
- Posibilidades de ejecución en zonas de difícil acceso (dadas las características de la maquinaria a emplear la técnica puede ejecutarse en zonas de fuertes pendientes con medios auxiliares limitados).

- Adaptabilidad a diferentes tipos de terreno.
- Coste competitivo frente a otras soluciones.

Por lo que se refiere a los problemas más destacables cabría citar:

- Los desplazamientos inherentes a la “entrada en carga” de la solución, que debe ser considerada como una solución “flexible”.
- Lo inadecuado de la solución en zonas de nivel freático elevado (se trata de una solución obviamente “permeable”).
- No es una solución adecuada en terrenos granulares sueltos, en arcillas blandas o en formaciones que permitan la presencia de “bolsas” de agua en su interior.

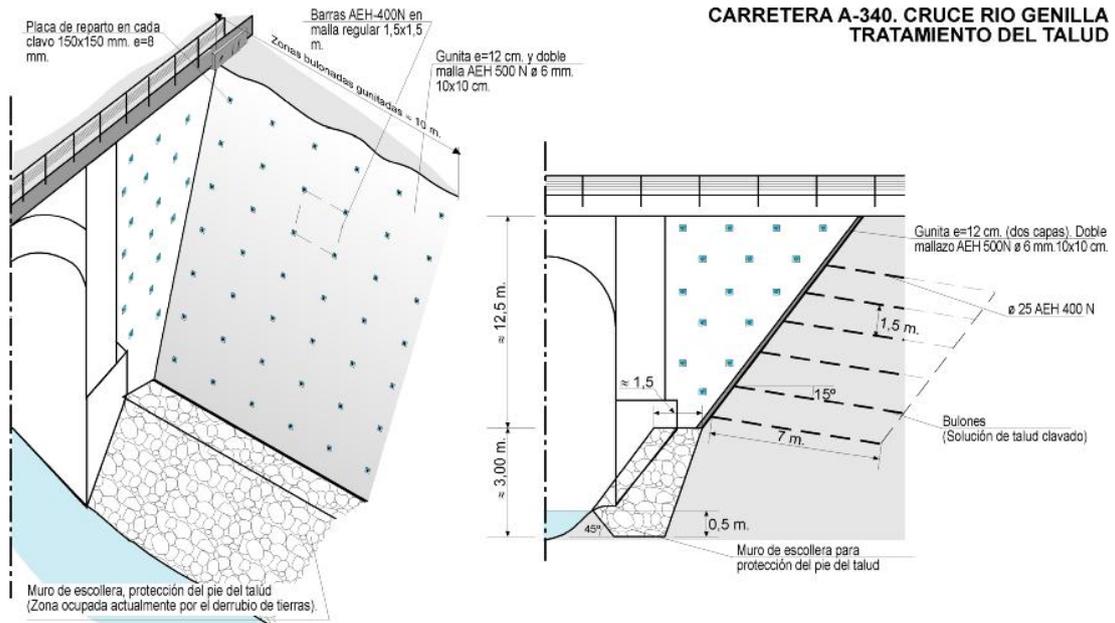
Otro aspecto potencialmente problemático (sobre todo en obras de carácter definitivo) es la posible corrosión del acero de las barras del talud clavado. No obstante la “flexibilidad” de la solución permite la sustitución de las barras que pudieran estar afectadas por este problema o bien la densificación del tratamiento en caso de producirse roturas “locales”.

La figura 3.22 muestra un ejemplo de la aplicación de esta técnica (González de Canales, T. et al. 1998).

Se trata de un talud muy verticalizado en los estribos del puente de la A-340 a su paso sobre el río Genilla, en las proximidades de Priego de Córdoba. El talud estaba formado por rellenos y unos travertinos considerablemente deleznable. Durante los temporales del invierno del 96, con la crecida del río se originó un importante proceso de socavación y el comienzo de una inestabilidad inminente, puesta de manifiesto por el agrietamiento de la coronación del talud junto a la calzada.

La solución finalmente construida consistió, como muestra la figura, en la ejecución de una escollera al pie para hacer frente a la erosión de las aguas, más un tratamiento de clavado del talud superior con barras de acero de 25 mm de diámetro y 7 m de longitud dispuestas en una malla regular de 1,5 m de lado.

**CARRETERA A-340. CRUCE RIO GENILLA  
TRATAMIENTO DEL TALUD**



**Figura 3.22: Detalles de diseño de un talud clavado junto al río Genilla (Córdoba).**

#### **4.- REFERENCIAS.**

1. ATIENZA, M. & ORTUÑO, L. (1998): "Propuesta Metodológica para los Estudios Geológico-Geotécnicos de Carreteras". I Congreso Andaluz de Carreteras. Granada.
2. BONAPARTE, R., SCHMERTMANN, G.R., CHU, D. & CHOUREY-CURTIS, V.F. (1989): "Reinforced Soil Buttress to Stabilize a High Natural Slope". 12<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. II. pp. 1227-1230. Rio de Janeiro
3. BROCC, V., PÉREZ REVENGA, J.M., ORTUÑO, L., OLIVEROS, M. A., FEIJÓO, J.P. & VILLEGAS, I. (1997): "Estudio de un gran deslizamiento de ladera en La Riba (Tarragona)". IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada, 1997.
4. CHANDLER, R.J. (1984a): "Recent European Experience on Landslides in Over-consolidated clays and soft rocks". Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Symposium on Landslides. Vol. I, pp. 61-81. Toronto.
5. CHANDLER, R.J. (1984b): "Delayed Failure and Observed Strengths of First-time Slides in Stiff Clay". Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Symposium on Landslides. Vol. II, pp. 19-25. Toronto.
6. 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.
7. JIMÉNEZ SALAS, J.A., JUSTO ALPAÑÉS, J.L & SERRANO GONZÁLEZ, A. (1976): "Geotecnia y Cimientos II". Cap. 9. Ed. Rueda. Madrid.
8. JIMÉNEZ SALAS, J.A. & MOLINA, R. "Apuntes de Estabilidad de Taludes". E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Cátedra de Geotecnia.
9. LUPINI, J.F., SKINNER, A.E. Y VAUGHAN, P.R. (1981): The drained residual strength of cohesive soils. Geotechnique 31, No. 2, 181-213
10. ORTUÑO, L. (2003): "Estabilidad de Taludes en Suelos. Diseño y Cálculo". Curso sobre Taludes en Obras Lineales. INTEVIA. Madrid.

11. ORTUÑO, L. (1999): "La Influencia del Agua en los Taludes. Estabilización mediante Drenaje". Jornadas Técnicas de Taludes y Laderas. Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España. Madrid.
12. ORTUÑO, L. (1999): "Soluciones de Bajo Coste para Estabilidad de Laderas en Carreteras Locales". XV Vyodeal. Segundo Congreso Nacional de Carreteras Locales, pp. 371-442. Torremolinos
13. SKEMPTON, A.W. (1977): "Slope Stability of cuttings in Brown London Clay". Proc. 9th Int. Conf. SMFE. Vol. 3, pp- 261-270.