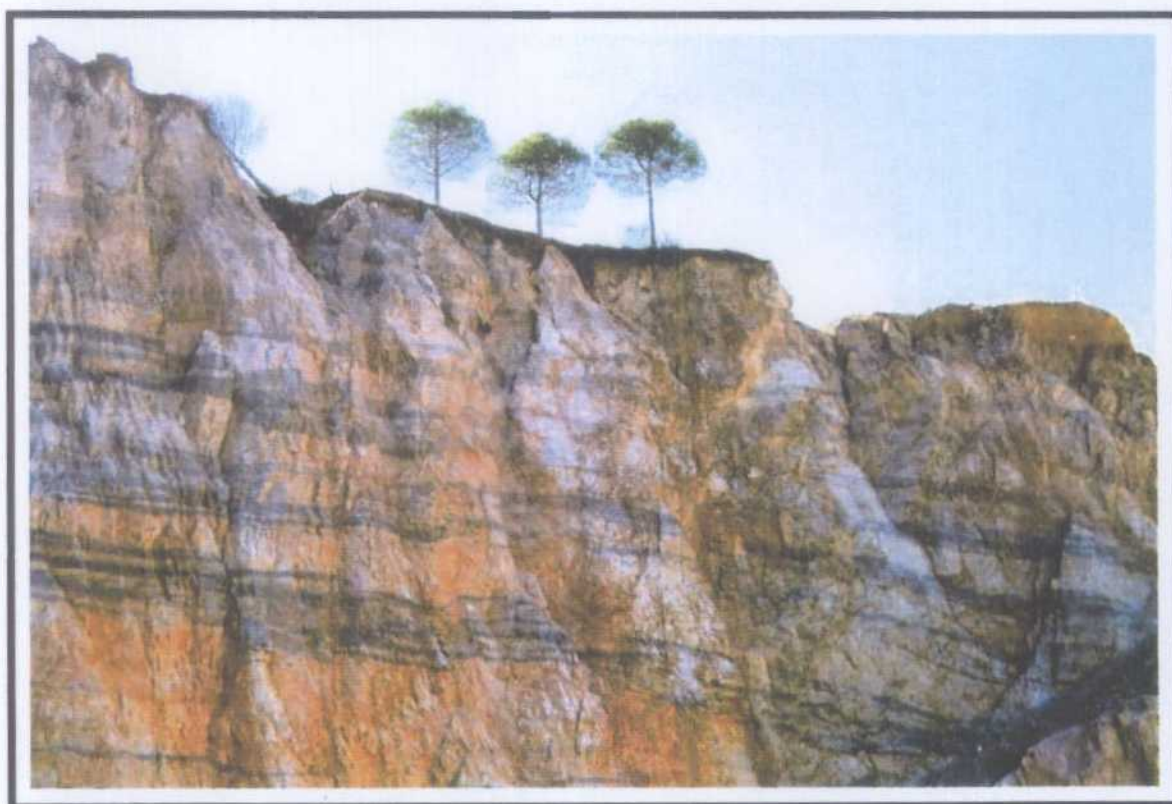


**ORDENACIÓN MINERO-AMBIENTAL DE LA EXPLOTACIÓN
DE ÁRIDOS EN ALHAURÍN DE LA TORRE (MÁLAGA).**

CRITERIOS Y MODELOS DE RESTAURACIÓN.



MARZO DE 2000



UNION EUROPEA

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional

El presente Proyecto ha sido llevado a cabo por el Instituto Tecnológico Geominero de España, a través del Área de Evaluación e Infraestructura Geoambiental, en el marco del “Protocolo de actuación conjunta entre la CONSEJERÍA DE TRABAJO E INDUSTRIA DE LA JUNTA DE ANDALUCÍA y el ITGE para la realización del proyecto de ORDENACIÓN MINERO-AMBIENTAL DE LA EXPLOTACIÓN DE ÁRIDOS EN ALHAURÍN DE LA TORRE (MÁLAGA)”.

Este Proyecto está estructurado en los siguientes documentos:

- MAPA DE ORDENACIÓN MINERO-AMBIENTAL.
 - Inventario ambiental.
 - Caracterización técnica y ambiental de las explotaciones.
 - Zonificación del territorio.

- DISEÑO MINERO-AMBIENTAL DE EXPLOTACIONES.

- CRITERIOS Y MODELOS DE RESTAURACIÓN.

- PLAN DIRECTOR MINERO-AMBIENTAL.

Se completa el Proyecto con un MODELO VIRTUAL PAISAJÍSTICO que ilustra, mediante una animación tridimensional en soporte CD-ROM, los trabajos realizados.

**ORDENACIÓN MINERO-AMBIENTAL DE LA EXPLOTACIÓN DE ÁRIDOS EN
ALHAURÍN DE LA TORRE (MÁLAGA).**

Dirección del Proyecto:

- Daniel BARETTINO FRAILE.
Ingeniero de Minas.

Coordinador del Proyecto:

- Bruno MARTÍNEZ PLÉDEL.
Ingeniero de Minas.

Equipo de trabajo:

- Esther ALBERRUCHE DEL CAMPO.
Geógrafo.
- Miguel APARICIO MUÑOZ.
Ingeniero de Minas.
- Julio César ARRÁNZ GONZÁLEZ.
Ingeniero Agrónomo.
- Cristina CLAMAGIRAND GARCÍA.
Biólogo.
- Guillermo ORTÍZ FIGUEROA.
Ingeniero de Minas.

CRITERIOS Y MODELOS DE RESTAURACIÓN.

<u>1.- ORIENTACIONES PARA EL USO FUTURO DE LOS TERRENOS AFECTADOS POR LA EXPLOTACIÓN MINERA</u>	<u>1</u>
<u>2.- CONDICIONANTES ECOLÓGICOS</u>	<u>6</u>
2.1.- PROBLEMÁTICA QUE PRESENTAN LAS ÁREAS ALTERADAS	6
2.2.- POSIBILIDADES DE ACTUACIÓN PARA LA MEJORA DE LAS CONDICIONES DEL MEDIO EN LAS FUTURAS SUPERFICIES FINALES DE EXPLOTACIÓN	10
<u>2.2.1.- Descompactado superficial</u>	<u>10</u>
<u>2.2.2.- Gestión de la tierra vegetal</u>	<u>13</u>
<u>2.2.3.- Preparación del sustrato</u>	<u>16</u>
2.3.- REVEGETACIÓN	20
<u>2.3.1.- Consideraciones previas</u>	<u>20</u>
<u>2.3.2.- Análisis de la vegetación natural presente en la zona</u>	<u>22</u>
<u>2.3.3.- Preselección de especies de interés</u>	<u>24</u>
<u>2.3.4.- Material vegetal</u>	<u>27</u>
<u>2.3.5.- Tratamientos de revegetación</u>	<u>27</u>
<u>2.3.6.- Algunos modelos propuestos para la restauración ecológica y paisajística</u>	<u>31</u>
<u>3.- MEDIDAS ESTRUCTURALES DE CONSERVACIÓN DE SUELOS Y DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS</u>	<u>37</u>
3.1.- DISMINUCIÓN DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL	37
3.2.- CONTROL DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL CONCENTRADA	38
<u>3.2.1.- Parámetros básicos para el cálculo de caudales</u>	<u>39</u>
<u>3.2.2.- Dimensionado de los canales</u>	<u>49</u>
<u>3.2.3.- Algunas recomendaciones de diseño de las estructuras de drenaje</u>	<u>49</u>

1.- ORIENTACIONES PARA EL USO FUTURO DE LOS TERRENOS AFECTADOS POR LA EXPLOTACIÓN MINERA

En vista de la importancia que adquiere el factor topografía o forma del terreno, es necesario, aunque sea someramente, efectuar un análisis individualizado de los diferentes usos posibles, partiendo de la morfología final de los terrenos. Por el tipo de explotación, se sabe que nunca podrán realizarse rellenos masivos con materiales estériles, ni remodelado de la geometría final de los frentes salvo en situaciones muy puntuales. Por ello, básicamente, los terrenos afectados por la explotación de áridos en Alhaurín de la Torre ofrecerán una serie de plataformas sensiblemente llanas, más o menos conectadas entre sí por accesos y rampas o escalonamientos, limitadas por frentes abiertos, banqueados y algunos de gran altura, situados en las proximidades de los límites fijados. Para analizar las posibilidades que ofrecen, se pueden aplicar los criterios de Coppin & Bradshaw (1982), los cuales, con alguna modificación, son reflejados en la tabla siguiente.

USOS POSIBLES	HUECOS			
	PROFUNDO		SUPERFICIAL	
	HÚMEDO	SECO	HÚMEDO	SECO
-Agrícola y ganadero		X		X
-Forestal		X		XX
-Piscícola	X		XX	
-Recreo intensivo, deportes	X	X	XX	XX
-Almacenamiento de agua	X		X	
-Recreo extensivo	X	XX	XX	XX
-Conservación de la naturaleza		XX	X	X
-Vertedero de residuos		X		X

Nota: La clave utilizada en el Cuadro es una cruz (X) cuando se considera que el uso es sencillamente posible y dos cruces (XX) cuando para el uso considerado existen, en principio, grandes posibilidades.

Conviene hacer una serie de comentarios sobre la tabla. En cuanto a los huecos, las canteras de Alhaurín de la Torre generan huecos profundos, atendiendo sobre todo al desnivel absoluto generado entre plazas de cantera y coronación de los frentes. Por otro lado, han de considerarse secos, reservándose el apelativo húmedo a explotaciones que afectan al nivel freático. La existencia de áreas encharcadas en las plazas es excepcional, dada la elevada permeabilidad de los materiales explotados, y limitada a zonas deprimidas y compactadas en momentos de intensas lluvias.

Teniendo en cuenta estas puntualizaciones se puede ya, a partir de las características más generales, hacer una primera evaluación de los usos que, según lo reflejado en la tabla, pueden ser recomendables para los terrenos.

- **Uso agrícola**

Existen diversos valores máximos del valor de la pendiente que son considerados límites para el uso agrícola según los diferentes autores.

Cuando se repone la tierra vegetal y la pedregosidad es baja o nula superficialmente puede llegar a admitirse este uso sobre superficies con 7° de pendiente máxima. Sin embargo, dadas las características de los suelos es de suponer que, incluso donde se aporte tierra vegetal, la pedregosidad superficial será alta, a menos que los suelos extendidos provengan de zonas externas al entorno inmediato de nuestro estudio (como ocurre con los suelos importados desde las riberas del Guadalhorce y acopiados en la cantera Taralpe). Para suelos de alta pedregosidad se establecen criterios más exigentes, fijando el límite de pendiente según el valor más comúnmente admitido de 5°.

La explotación de los áridos, supone una enorme transformación de superficies de topografía abrupta en áreas sensiblemente llanas. La existencia actual y futura de éstas puede permitir el uso agrícola siempre y cuando se garantice un mínimo de calidad de los suelos recuperados. La oportunidad de establecer aprovechamientos agrícolas existe en este caso, pero queda condicionada, con seguridad, a la realización de grandes inversiones.

Las posibilidades que ofrece el clima de la zona de estudio son excelentes para el establecimiento de cultivos subtropicales, exigentes en cuidados y con elevados consumos en agua, fertilizantes y productos fitosanitarios. Es este último aspecto, posiblemente, el que más se oponga a la conveniencia de establecer cultivos intensivos de éste tipo, por el elevado riesgo de contaminación de las aguas subterráneas que lleva asociado.

- **Pastizales y prados**

La creación de pastizales y prados estará limitada también a las zonas llanas o casi llanas de suficiente superficie, puesto que las pendientes parciales o totales de los frentes finales de explotación serán siempre excesivas (aceptando un límite máximo de 15° como límite adecuado para este uso).

El establecimiento de pastizales será posible en amplias superficies de la zona afectada, pero la conveniencia de tales aprovechamientos está condicionada por factores externos y un periodo seco prolongado.

No debe descartarse, sin embargo, la implantación temporal de pastizales con objeto de protección y mejora de las propiedades de los suelos.

- **Uso forestal**

Normalmente suele admitirse un máximo de pendiente para establecer un aprovechamiento forestal de 35°. Las superficies de bancos y bermas menores pueden ser descartadas, aunque, como en el caso anterior, no ha de descartarse en grandes bermas y plazas de cantera. No obstante, aunque las exigencias en calidad del substrato son menores para el establecimiento de explotaciones forestales que para explotaciones agrícolas, la rentabilidad de las mismas dependerá en buena medida de las mejoras edáficas introducidas, dadas las pobres condiciones en las que quedarán las superficies finales.

Otro impedimento importante que el substrato puede ofrecer en relación con la explotación forestal deriva de las dificultades mecánicas para la instauración masiva de árboles.

- **Conservación de la naturaleza. Recuperación de vegetación natural.**

Tanto por las generalizadas limitaciones del substrato en todas las superficies finales, la práctica imposibilidad de introducir intensas mejoras edáficas dada la magnitud de las superficies afectadas, así como las particulares condiciones topográficas de los frentes, éste será el objetivo que, con carácter generalizado, puede ser más recomendable en todos los tipos de superficies a recuperar. La vegetación natural, por su variedad en requerimientos ecológicos, ofrece mayores posibilidades de superar los impedimentos impuestos por un medio altamente desfavorable.

La reintroducción de la vegetación natural, o la de carácter forestal que por motivos de conservación de suelos está presente en las futuras superficies a afectar, puede además entenderse como una compensación, siempre y cuando las actuaciones que sea necesario llevar a cabo para alcanzar este objetivo se realicen con corrección y medios suficientes.

La introducción de fauna sobre los terrenos alterados debe ir íntimamente ligada a la regeneración de la cubierta vegetal y será sin duda un magnífico indicador de la recuperación ecológica de los mismos. Puede favorecerse directamente dicha introducción, si bien, se considera que la generación de cierta variedad en el tipo de especies vegetales a promover, siguiendo como modelo la vegetación propia del lugar y del entorno, podría ser suficiente para alcanzar este objetivo.

- **Zonas de recreo**

Los usos recreativos pueden diferenciarse en dos tipos que básicamente guardan relación con la superficie afectada y la proximidad a núcleos urbanos.

El planteamiento de un tipo de uso recreativo intensivo o deportivo ha de basarse en serios estudios de viabilidad, oportunidad, ubicación y población potencialmente beneficiada. Debería por tanto integrarse en planes más amplios de promoción o desarrollo de equipamientos de esta clase. La superficie que pudiera ser destinada a tal uso es muy pequeña ya actualmente en relación con toda la superficie alterada.

El uso recreativo extensivo o educacional puede ser ubicado en posiciones más alejadas de núcleos de población. En este tipo de planteamiento cabe también cierta variedad de posibilidades que van desde la adecuación de zonas de descanso o de observación, zonas de acampada o albergue, u otras.

También en estos casos sería recomendable la elaboración del programa o proyecto de restauración dentro de un marco más amplio, como puede ser un plan de desarrollo turístico en la zona que incluya la promoción de infraestructuras de diversa índole y basándose en estudios detallados de adecuación. En este caso, es posible que sean necesarios puntualmente tratamientos paisajísticos más ambiciosos que la simple reintroducción de un manto vegetal.

En ambos casos ha de estar perfectamente garantizada la estabilidad y minimizada la posibilidad de que se produzcan accidentes.

- **Vertederos de residuos**

Dadas las elevadas permeabilidades de los terrenos afectados, no existen garantías suficientes de protección de los acuíferos como para plantear la posibilidad de utilización de los terrenos como depósitos de residuos, ni siquiera de inertes (Propuesta de Directiva del Consejo de la Unión Europea 97/C 156/08). Los costes de impermeabilización que llevarían asociados eliminan cualquier oportunidad de adecuar los terrenos afectados para la recepción de residuos.

2.- CONDICIONANTES ECOLÓGICOS

2.1.- PROBLEMÁTICA QUE PRESENTAN LAS ÁREAS ALTERADAS

Actualmente, la geometría de los frentes de cantera en las explotaciones presentes en la zona imposibilita casi absolutamente la aplicación de medidas correctoras sobre los mismos. No ocurre así, sin embargo, con las plazas de cantera.

Los frentes son generalmente de gran altura, no presentando bermas en la mayoría de los casos. Cuando existen bermas, son en general de anchura insuficiente para permitir el acceso a los mismos. Las de mayor anchura suelen estar inhabilitadas para el acceso debido a su degradación y las acumulaciones de materiales caídos o arrastrados desde las caras de banco superiores. En cualquier caso, las alturas de los bancos existentes son excesivas desde el punto de vista de la posibilidad de aplicar medidas correctoras, incluso cuando existen bermas accesibles.

Los materiales que quedan expuestos en frentes y plazas son los mismos que se explotan como áridos. Estos materiales se alteran con facilidad, pero los productos de alteración son fácilmente arrastrados, en buena parte, por las pronunciadas pendientes de los taludes. Otro aspecto a tener en cuenta es la orientación de los taludes en relación con la insolación recibida. Es difícil precisar en qué medida este aspecto puede influir pero, con toda seguridad, las caras de bancos con orientación de componente sur añaden a las demás dificultades una insolación elevada durante todo el año y, como consecuencia, una mayor aridez.

Puede ser interesante analizar las características de algunos de los suelos más significativos presentes en la zona de estudio para entender la problemática que presentan estos materiales de cara a la introducción de vegetación.

En la ilustración de la figura 1 se han intentado representar tres de los suelos más comunes en la zona de estudio y tres situaciones posibles en las zonas alteradas por la explotación.

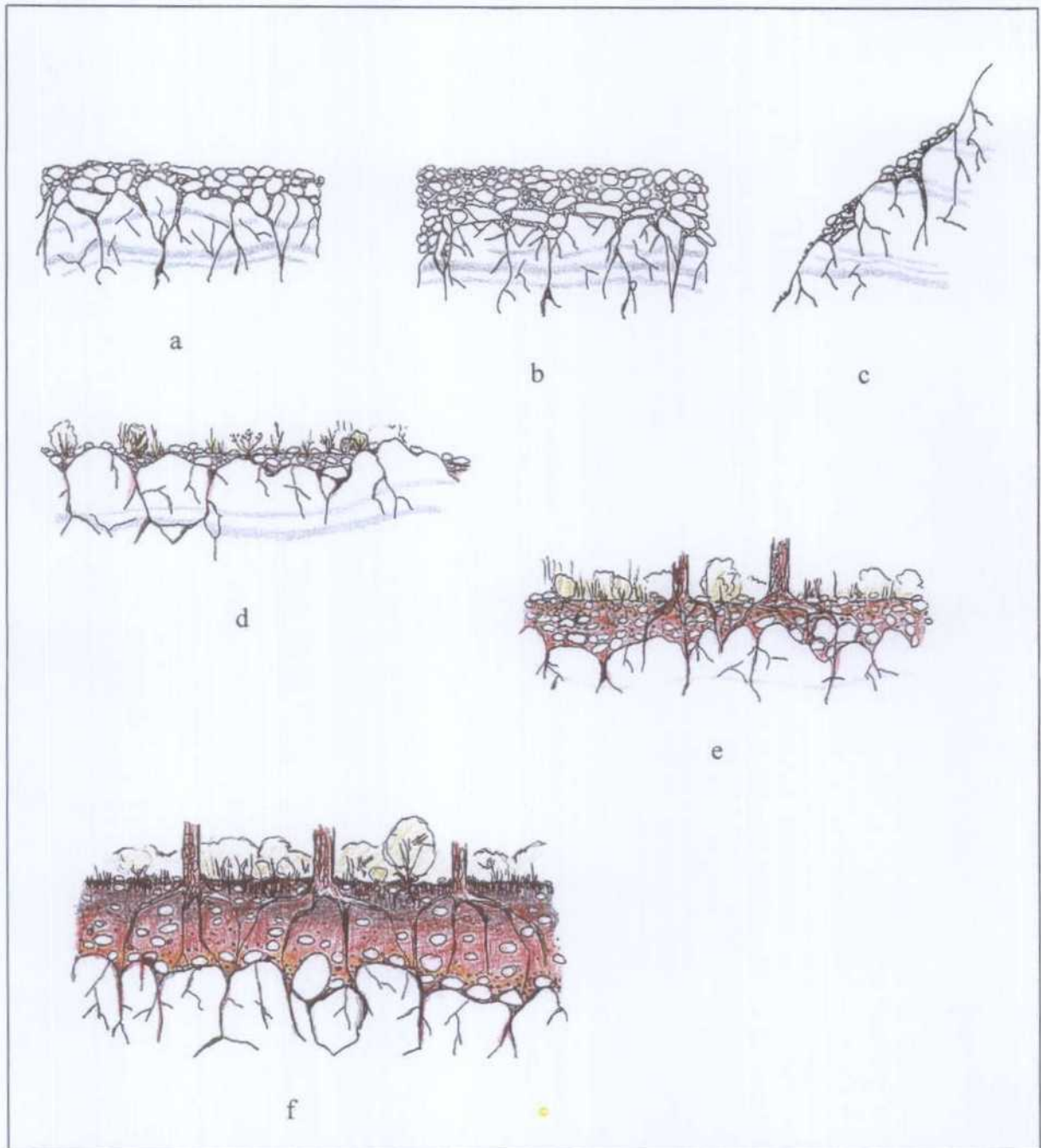


Figura 1.- a) Perfil teórico de una superficie explotada en posición llana.
 b) Perfil teórico de una superficie alterada descompactada.
 c) Perfil de una superficie explotada en talud.
 d) Perfil teórico de un Leptosol lítico (suelo predominante en la zona de estudio sobre mármoles sacaroideos de grano medio).
 e) Perfil teórico de un Leptosol rendsico.
 f) Perfil teórico de un Phaeozem calcárico (suelo que expresa el mayor desarrollo y evolución sobre los mármoles sacaroideos de grano medio).

Los suelos más abundantes son del tipo Leptosol lítico (fig.1d). Se trata de alternancias de materiales sueltos (desde granos monocristalinos a cantos y bloques) con afloramientos rocosos impenetrables para las raíces de las plantas. Los productos de alteración son mayoritariamente arrastrados y tan sólo parte quedan en grietas y depresiones. La erosión predomina sobre la formación de suelo.

En estos suelos, la tierra fina (fracción menor de 2 mm) suele estar en una proporción inferior al 50% en las bolsas de materiales sueltos. La textura es arenosa y la capacidad de retención de agua muy baja, tanto por la textura como por la elevada pedregosidad y el escaso espesor. El intenso diaclasado puede permitir el anclaje de las raíces, pero este espacio, aún siendo utilizado por las mismas, proporciona muy poca humedad y fertilidad. El agua que precipita y penetra es escasamente retenida, pasando a profundidades que están fuera del alcance de las raíces de las plantas. Como consecuencia, el balance hídrico es más negativo que el realizado para establecer las características climáticas del territorio.

Los pH_s superan normalmente el valor de 8 y la saturación de bases del complejo de cambio es total o próxima al 100%, siendo baja la capacidad de intercambio catiónico. El contenido en materia orgánica es variable.

La figura 1a quiere representar la superficie llana de un banco o pie de frente de cantera. Es de suponer que sus características son bastante semejantes a los peores suelos de la zona (fig. 1d), aunque normalmente no habrá materia orgánica y puede haber mayor proporción de finos en las zonas donde la actividad de la maquinaria ha pulverizado el material. En cualquier caso, se trata de un medio con muy baja capacidad de almacenar agua, infértil y muy poco apropiado como lecho para la germinación de semillas de posibles plantas colonizadoras.

En las zonas más transitadas por la maquinaria de carga o transporte (instalaciones y pistas), la capa superficial es un manto de carácter franco-arenoso, dominado por arena fina y limo, que se superpone a la roca (muestra CA-30 del capítulo de suelos). Estas zonas son las principales fuentes de sedimentos en las épocas de lluvia.

En los frentes actuales, las posibles acumulaciones de materiales sueltos se limitan a escasos y pequeños depósitos de arena y grava retenidos en irregularidades de los mismos (fig. 1c). En algunas bermas se acumulan grandes cantidades de derrubios, a veces con elementos de gran tamaño. En los frentes activos, la posibilidad de colonización natural en estos puntos se ve frenada, además de por las dificultades inherentes al medio, por el propio sistema de explotación, con vertidos continuos de materiales arrancados desde posiciones más elevadas. En frentes inactivos, las intensas lluvias que habitualmente se producen pueden arrastrar tanto los derrubios como las semillas, existiendo posiblemente una cierta renovación temporal de materiales en esos puntos de acumulación. Además, la escasa capacidad de retención de agua de estos materiales gruesos y sueltos acelera la desecación en tiempo seco, especialmente en aquellos frentes de orientación sur. Por todas estas razones, los taludes son un medio extraordinariamente hostil para la colonización y crecimiento de la vegetación.

En zonas llanas cabe pensar que una labor de descompactado, o rotura superficial, aún siendo muy costosa y no siempre aplicable a la totalidad de la superficie, podría proporcionar un mayor espesor de material suelto (fig. 1b). Esta rotura superficial facilitaría la penetración de agua, la generación de finos y la alteración mineralógica. Por estas razones ha sido práctica corrientemente empleada en las repoblaciones de la zona, con labores de subsolado siguiendo las curvas de nivel. Aún así, el substrato que se obtendría sería pobre y poco retentivo si se compara con los mejores suelos (fig. 1f). Estos suelos poseen una capa superficial rica en materia orgánica y horizontes intermedios de texturas menos arenosas, que tienen cierta estructura y capacidades muy superiores de cambio catiónico y retención de agua. Sobre estos suelos crece una vegetación más densa que se ancla también en las diaclasas de la roca subyacente, pero que toma la mayoría del alimento y agua en el suelo desarrollado encima.

La creación de una capa de mayor espesor de material suelto puede ser un buen principio para mejorar después progresivamente otras características del substrato, acelerando lo que ocurriría de modo natural (secuencia d-e-f en la figura 1).

Considerando todo lo anterior, es posible entrever ya una secuencia de operaciones aplicable en las áreas sensiblemente llanas, pero queda sin resolver el problema de los

taludes, los cuales necesitarán de operaciones y prácticas de restauración de mucha mayor intensidad y coste, sin que por ello quede garantizada la posibilidad de establecer un recubrimiento permanente y estable.

Si se siguen las recomendaciones de diseño geométrico que se han propuesto en el estudio de diseño de modelos de explotación, la diferencia más destacable con respecto a la situación actual consistirá en que los frentes dispondrán en el futuro de bancos y bermas.

Es cierto que la geometría de los futuros frentes lleva asociada un efecto de artificialidad desde el punto de vista paisajístico. Sin embargo, en los frentes de cantera el banqueado final será siempre preferible por las razones siguientes:

- Los bancos proporcionan accesibilidad a todos o muchos de los niveles.
- Cuando las dimensiones de los bancos son lo suficientemente pequeñas en relación con el tamaño de los taludes generales, el efecto de gradas artificiales se diluye en visión lejana.
- Las bermas proporcionan, además de una mejora de la estabilidad general de los taludes, una posibilidad de frenar la degradación por erosión hídrica.

Debe asumirse que las superficies ocupadas por los frentes de cantera habrán perdido prácticamente toda posibilidad de sostener usos del suelo productivos. Los tratamientos de rehabilitación habrán de buscar una integración paisajística y una restauración ecológica entendida como la consecución de un estado de equilibrio en el que no tengan lugar nuevos procesos degradativos o, por lo menos, no se produzcan de manera generalizada. Para ello, es absolutamente imprescindible la existencia de bancos.

2.2.- POSIBILIDADES DE ACTUACIÓN PARA LA MEJORA DE LAS CONDICIONES DEL MEDIO EN LAS FUTURAS SUPERFICIES FINALES DE EXPLOTACIÓN

2.2.1.- Descompactado superficial

Como ya se ha comentado, sobre algunas de las superficies sensiblemente llanas se podrán realizar labores de descompactado o rotura del terreno aunque resulten costosas.

Si las actuaciones para la rehabilitación se planifican de tal modo que sólo puedan realizarse después de perfilada la geometría final de un banco o grupo de bancos, entonces el descompactado encontrará limitaciones para su aplicación generalizada por razones de seguridad, siempre que la anchura de las bermas se limite a cuatro metros, como se contempla para las bermas menores en el diseño de explotaciones. Todas las bermas y plataformas intermedias e inferiores de mayor anchura admitirán operaciones de descompactado más generalizadas.

De todos modos, la roca es en muchas zonas de carácter ripable, pero no en todas, por lo que las labores de descompactado con ripper nunca podrán cubrir todas las superficies llanas. En general, será más factible su realización en zonas limítrofes y aquellas en las que la diferencia entre la cota final y la original sea menor. Ante la aparición puntual de macizos de roca más competente, tal vez convenga no actuar y centrarse en las zonas aledañas que admitan más mejoras, intensificando sobre ellas las operaciones de rehabilitación.

En cualquier caso, cuanta más superficie de las bermas finales haya sido esponjada o descompactada, mayores serán las posibilidades para el desarrollo de la vegetación que con posteriores trabajos vaya a ser introducida. La planificación de las operaciones, debe permitir que las labores de descompactado que se realicen sobre las bermas se hagan antes de la creación del talud de banco inferior, aunque esto obligue a modificar los criterios de explotación (voladuras y operaciones de arranque) sobre estas zonas terminales.

Este descompactado deberá limitarse hasta una distancia máxima con respecto al que será el borde externo de la berma, para evitar que se rompa o degrade al ir extrayendo el material en la creación del talud inferior. Por ejemplo, pueden darse dos pasadas paralelas con 1'5 m de separación entre cada línea de ripado, realizadas con un ripper de un sólo cuerpo. La idea se esquematiza en la figura siguiente (fig. 2).

Otro sistema con el que se puede obtener una rotura y esponjado superficial es la aplicación de pequeñas voladuras en cráter al tresbolillo o con disposición irregular. En bermas y

plataformas de gran anchura puede ser un método generalizado con vistas a la creación de zonas aptas para la localización de hoyos de plantación, los cuales, en cualquier caso, deberán ser abiertos en su momento por medios manuales o mecánicos. También puede combinarse este procedimiento con posteriores pases de ripper.

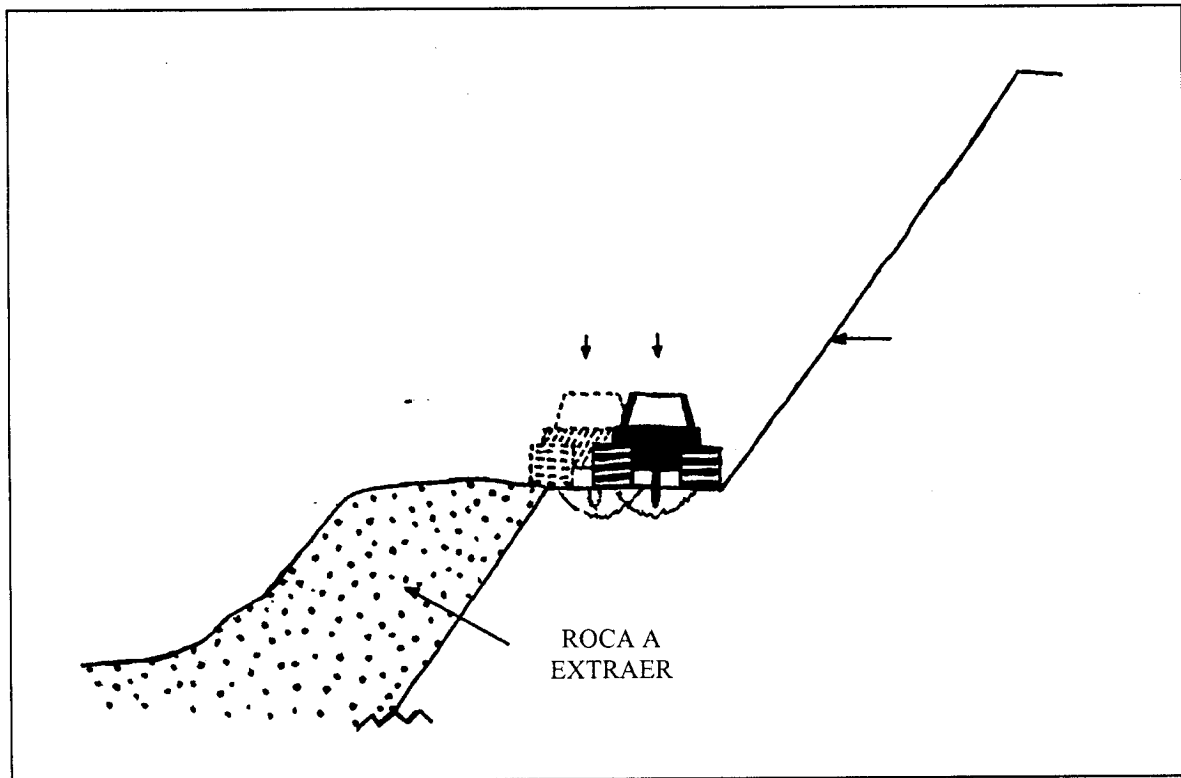


Figura 2.- Descompactado con ripper sobre berma de pequeña anchura.

En las bermas estrechas (las que se construyan con cuatro metros de anchura), se corre el riesgo de que, ya sea por exceso de carga, por una mayor alteración puntual de la roca o por la proximidad excesiva al límite externo de la berma, este borde se rompa, pudiendo inhabilitarse para el acceso u originarse una vía preferente para el desarrollo de cárcavas. Esto puede ocurrir incluso si las voladuras se realizan antes de extraer el recurso durante la creación del talud inferior a la berma, pudiendo producirse un desmoronamiento de la zona afectada cuando le llegue el turno de arranque.

Si se pudiera conseguir un tipo de voladura en cráter, más o menos estandarizado, que permita su aplicación generalizada en bermas sin riesgo de rotura de los bancos, se facilitarían enormemente las labores de implantación y el crecimiento de la vegetación durante las

primeras fases. En este sentido, podría ser de gran utilidad la experimentación en zonas ya explotadas, aunque no estén destinadas a la creación de frentes finales.

Por la misma razón anteriormente explicada, la ruptura puntual o generalizada de aristas y ángulos de los bancos finales, que suele recomendarse como tratamiento para naturalizar el aspecto final en frentes de cantera de rocas competentes, sólo puede ser recomendable en nuestro caso en los bancos que separan plataformas de gran superficie. En estos taludes es posible tomar toda clase de medidas de control de la erosión.

Sobre los taludes de banco, además de que no sería recomendable, no es posible realizar tareas que busquen un descompactado generalizado de tales superficies. Las labores de rehabilitación que se realicen habrán de hacerse prescindiendo forzosamente de dicho tratamiento. Cualquier posible colonización vegetal de los mismos irá a remolque de la que se produzca sobre las bermas. Es de esperar que si en éstas se consigue un buen establecimiento de la vegetación la posible degradación de los taludes se vea frenada, o no tenga graves consecuencias sobre las zonas dominadas por los frentes. No obstante, es posible realizar algunos tipos de tratamientos sobre los taludes que se describirán más adelante.

2.2.2.- Gestión de la tierra vegetal

Por escasos que sean, la retirada y conservación de los materiales edáficos obtenidos en labores de desmonte para apertura de frentes son muy importantes para asegurar, aunque sólo sea parcialmente, una cobertura vegetal posterior.

Con respecto al manejo de la tierra vegetal en el futuro se recomienda lo siguiente:

- Será aconsejable la realización de estudios previos para reconocer los espesores de suelo en las zonas en las que vayan a ser retirados. Esta información permitirá evaluar volúmenes y planificar el arranque, mantenimiento y reinstalación.
- En general, no parece recomendable intentar separar los horizontes superficiales más ricos en materia orgánica de los profundos, puesto que la mayoría de los suelos presentes en la zona son tan delgados que no puede resultar operativo. La presencia de

piedras incluidas en la matriz, o de fragmentos arrancados de los afloramientos rocosos durante la retirada del suelo, no ha de tener incidencia negativa dado el futuro aprovechamiento del terreno y el efecto favorable de los elementos gruesos durante el tiempo que dure el almacenamiento.

- No se deben superar en los acopios alturas de 3 m para minimizar la destrucción de la estructura y el deterioro biológico. Este límite es elevado en relación con los que suelen ser recomendados en la bibliografía, y se justifica por las texturas arenosas, la elevada pedregosidad y el balance hídrico negativo.
- Se deben planificar las diferentes labores de modo que los acopios de tierra vegetal permanezcan como tales el mínimo de tiempo posible.

Se deben realizar las labores de arranque en épocas secas. Las labores de extendido deberán hacerse un poco antes de las épocas favorables para la implantación de la vegetación.

Desde el momento en el que sea posible iniciar labores de restauración sobre alguna superficie, será de la mayor importancia llevar un control del volumen del que se puede disponer. Este volumen puede determinar la estrategia de utilización de la tierra, por ejemplo: si no se dispone de suficiente volumen para recubrir toda la superficie, puede interesar emplearla preferentemente en áreas sensibles por su alta visibilidad o por existir un especial interés en restablecer una vegetación densa y variada.

Actualmente, existen acopios de tierra vegetal en la cantera Taralpe que proceden de vaciados en el cauce del Guadalhorce, a donde se llevan materiales de escollera procedentes de la mencionada explotación. La importación de materiales edáficos desde áreas externas a las explotadas es una opción interesante, siempre y cuando no sea interpretada como una justificación para extender las alteraciones de forma indiscriminada. Si se tiene conocimiento de que vayan a realizarse vaciados de materiales superficiales asociados a obras hidráulicas, vías de comunicación o construcción de viviendas situadas en puntos a los que son llevados los áridos extraídos, cabe la posibilidad de utilizar el viaje de retorno de los camiones para importar dichos materiales. En especial, existen

posibilidades de obtener tierra de mejores calidades que la existente en la zona en aquellas parcelas de secano próximas a Alhaurín de la Torre que se encuentran en expectativas de ser urbanizadas.

Los acopios de tierra se deben establecer en zonas sensiblemente llanas y lo suficientemente extensas como para que los mismos no puedan suponer impedimento alguno para las operaciones de extracción y transporte. Si dichas superficies tienen algo de caída, convendrá crear un caballón perimetral con el material de asiento del acopio para frenar las posibles pérdidas por arrastre del agua de escorrentía. Los propios acopios deben conformarse en forma de artesa, cuya superficie superior tenga ligera pendiente hacia los laterales para impedir que se formen zonas de encharcamiento sobre los mismos.

Sobre los acopios es interesante implantar una cubierta herbácea de mantenimiento. Dicha cubierta debe proporcionar protección y enriquecimiento, para lo cual interesa que sea rústica y poco exigente, de gran biomasa, con presencia de leguminosas y de enraizamiento profundo.

Una posible combinación que cumple estos requisitos y cuya implantación es sencilla con prácticas agrícolas tradicionales es el cultivo mixto de veza y avena. Ambas especies son de gran resistencia a la sequía y poseen un profundo sistema radicular. Se compenetran de forma excelente por los tipos morfológicos complementarios de los sistemas radiculares y por proporcionar la avena un entutorado a las vezas.

Una mezcla de siembra para las superficies de acopios podría ser: 25 kg de *Vicia sativa*, 45 kg de *Vicia villosa* y 30 kg de *Avena sativa* o *Avena bizantina* por hectárea. En la zona, dicha mezcla puede ser sembrada en otoño, en cuanto se tenga suficiente superficie de acopio para sembrar. Habrán de realizarse previamente labores de descompactado y preparación de la cama de siembra con tractor agrícola de pequeño tamaño, y siembra mecánica o manual. Será conveniente sembrar también manualmente todas las caras de los taludes de los acopios.

La formación mixta puede durar más de un año por auto-resiembra, siendo conveniente enterrar cada dos años mediante labor de arado de vertedera, preparando después el terreno para volver a sembrar.

Los beneficios del mantenimiento de una cubierta herbácea sobre los acopios se irán diluyendo con la profundidad de los mismos. Por esta razón, cuando vaya a ser empleada la tierra, convendrá realizar el arranque mediante la apertura de un frente vertical. De este modo, durante el propio arranque se realizará una mezcla que se sumará a la producida durante la carga, descarga y extendido. Si no es empleado todo el material del acopio, puede retocarse el frente hasta dejar un talud semejante a los demás y sembrarse sobre dicho nuevo talud para mantenerlo protegido.

Ciertos autores estiman que sobre roca dura, es necesario aportar entre 0,5 y 1 m de espesor de suelo para poder obtener un crecimiento de la vegetación razonable, mientras que sobre rocas blandas o rocas disgregadas bastaría con 10 ó 15 cm. Según esto, la disgregación producida mediante un descompactado conlleva que pueda ser recubierta más superficie con menor espesor de tierra.

Las disponibilidades de tierra vegetal condicionarán las superficies sobre las que será aportada y extendida. En términos generales, deberá destinarse a los lugares donde las dificultades para el establecimiento de vegetación o las necesidades de integración paisajística sean mayores.

2.2.3.- Preparación del substrato

Es prácticamente irremediable que, de toda la superficie alterada en el futuro, sólo pueda ser recubierta con tierra una parte. En algún momento se deberá tomar la decisión de dónde debe ser destinada la tierra de la que se disponga. En principio, parece razonable dar preferencia a los frentes, dejando algunas de las superficies llanas (plataformas o fondos de cantera) sin cubrir.

Sobre dichas superficies pueden aplicarse mejoras edáficas en toda su extensión o limitadas a puntos concretos: hoyos de plantación o áreas destinadas a la formación de

agrupamientos de árboles y arbustos. Esta última posibilidad puede ser también considerada cuando se planifique el destino de la tierra vegetal de la que se disponga. En cualquier caso, cualquier punto o área destinada a sostener vegetación en la que no se vayan a realizar recubrimientos de tierra vegetal deberá ser descompactada en lo posible.

Por el tipo de vegetación que se quiere introducir, no es necesario que el sustrato posea unos niveles de fertilidad elevados, si bien, dada la pobreza en nutrientes principales atribuible a los materiales explotados, será conveniente efectuar mejoras.

Otras de las carencias están relacionadas con la textura y pedregosidad que presumiblemente tendrán las zonas descompactadas, como la baja capacidad de retención de agua y de intercambio catiónico.

Todos estos inconvenientes pueden ser minimizados con aportes masivos de materia orgánica mediante algún material enmendante que, preferiblemente, deberá poseer un elevado grado de descomposición y estar finamente dividido (tipo mantillo, turba tamizada o estiércol muy hecho).

También es posible combinar el aporte de tierra vegetal y enmienda orgánica, reduciendo las cantidades de ambos materiales con respecto a las aplicaciones de un solo componente.

El tratamiento más adecuado y rentable para hacerlo extensivo a grandes superficies llanas no puede ser definido de antemano y convendría realizar experimentos sobre parcelas. Tres ejemplos de tratamientos que podrían ensayarse sobre superficies llanas de suficiente extensión son los que se describen a continuación como secuencias de operaciones:

1. Aporte y extendido de 0,7 m de espesor de tierra-Descompactado con subsolador agrícola-Laboreo agrícola convencional para preparación de una cama de siembra-Abonado-Siembra de herbáceas gramíneas y leguminosas.
2. Rotura superficial con riper arrastrado con tractor minero-Aporte y extendido de 0,35 m de espesor de tierra-Laboreo con arado de tipo escarificador sin volteo para

descompactado-Laboreo con cultivador para preparación de una cama de siembra-
Abonado-Siembra de herbáceas gramíneas y leguminosas.

3. Rotura superficial con riper arrastrado con tractor minero-Aporte y extendido de 0,20 m de espesor de tierra-Laboreo con arado de tipo escarificador sin volteo para descompactado-Aporte e incorporación de enmienda orgánica-Laboreo con cultivador para preparación de una cama de siembra-Abonado-Siembra de herbáceas gramíneas y leguminosas.

Como se ve, las tres secuencias propuestas finalizan con la siembra de una formación herbácea que reviste carácter temporal. El objeto de la misma es proporcionar protección al suelo y mejorar las propiedades del mismo por efecto del desarrollo radicular. Incluso si se produce un agostamiento prematuro existirá un cierto enriquecimiento y protección. Por el interés que tiene el rápido establecimiento se aporta en presiembra una cantidad de abono que bien puede ser de 125 kg/ha de nitrato potásico y 75 kg/ha de superfosfato triple. La combinación de especies a sembrar podría ser la misma veza-avena utilizada para la protección de acopios, o la que más adelante se recomienda, o cualquier otra que pueda considerarse viable.

El primer tratamiento puede completarse con un posterior enterrado completo de la masa vegetal con arado de vertedera, lo que puede suministrar, si el desarrollo ha sido bueno, un aporte húmico equivalente a 10 t/ha de estiércol. El suelo podría quedar en unas condiciones óptimas para la posterior realización de plantaciones.

En el segundo y tercer caso, no es conveniente un volteo con arado de vertedera porque cabe la posibilidad (sobre todo en el tercer caso) de que se extraigan abundantes fragmentos rocosos y productos de la disgregación de la roca. Si puede plantearse un pase con arado de discos, el cual proporciona un peor enterrado pero una mezcla mejor y un mejor mullido, además de que es más apropiado para terrenos pedregosos y con gran masa vegetal.

Los terrenos que reciban el segundo o tercer tratamiento pueden necesitar nuevas mejoras cuando se realicen los hoyos de plantación pues, previsiblemente, buena parte de lo

aportado se haya colado entre los fragmentos gruesos formando un substrato todavía muy pedregoso, aunque muy enriquecido si se compara con el terreno simplemente descompactado.

En bermas pequeñas la aplicación de secuencias de tratamiento tan largas y con tantas operaciones sólo será posible cuando una planificación muy cuidadosa pueda permitir que se realicen en las mismas condiciones que el descompactado (fig. 2), por razones de seguridad. De todos modos, en las bermas pequeñas, como mínimo deberá extenderse una buena capa de tierra vegetal después de descompactar, para permitir el máximo desarrollo posible de la vegetación que tiene que camuflar la cara del talud inmediato superior.

Cuando, ya sea por falta de planificación o por tratarse de bermas creadas sobre frentes actuales, no sea posible plantear secuencias de operaciones como las anteriormente descritas y se quiera proporcionar un ligero tratamiento de integración paisajística, no quedará más remedio que trabajar sobre montones de tierra vegetal, tal y como se muestra en la figura 3.

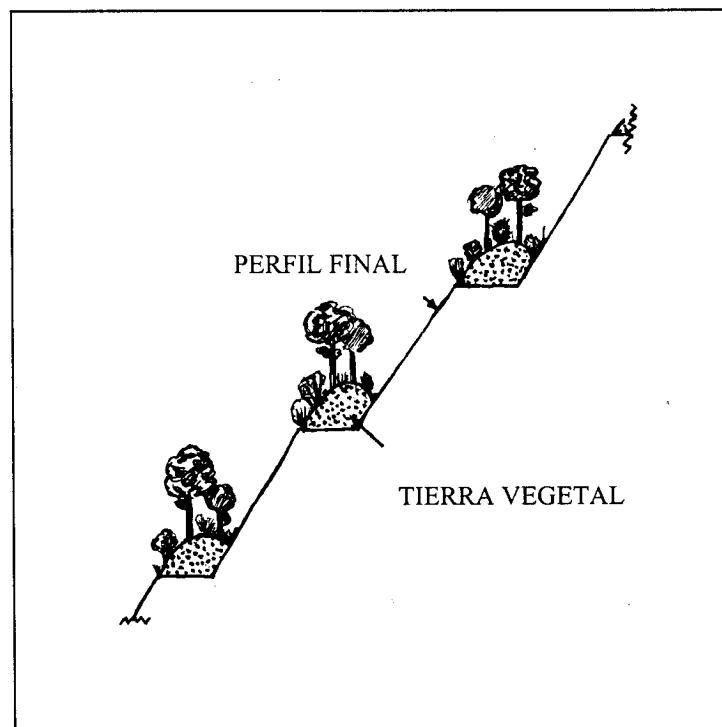


Figura 3.- Creación de montones de tierra vegetal en bermas para su revegetación.

Sobre los taludes no es posible realizar una preparación de ningún tipo. La elevada pendiente y longitud de los mismos impide que cualquier clase de material aportado (tierra o enmiendas) pueda ser permanentemente retenido sobre las caras de los bancos a menos que se adopten medidas especiales: fijación de entramados tridimensionales, redes o mantas orgánicas, construcción de muros vegetales, instalación de células de retención, etc.

Este tipo de medidas, que normalmente se acompañan de técnicas especiales de implantación de la vegetación, son muy costosas, y no pueden ser recomendadas aquí por la enorme superficie a la que deberían aplicarse. Suelen emplearse en proyectos de integración paisajística ambiciosos ligados a proyectos de obra pública.

No obstante, serán las empresas mineras quienes decidirán si es económicamente posible adoptar este tipo de medidas, considerando un reparto de esfuerzos y materiales que ha de ser proporcional a la dificultad que los diferentes tipos de superficies ofrecen para la consecución de los objetivos fijados.

De todas las posibles soluciones especiales a las que se ha hecho referencia, tal vez la más interesante desde el punto de vista económico sea la colocación de redes orgánicas (de yute, esparto o coco). Estas redes ofrecen un primer efecto visual que puede complementarse con posteriores tratamientos de implantación de la vegetación mediante hidrosiembra, empleando semillas de especies de alta agresividad y rusticidad.

También puede plantearse la construcción de recrecimientos puntuales de los espesores de tierra vegetal aportados sobre las bermas, aprovechando el apoyo que supone la propia berma y la cara del talud superior. Estos amontonamientos pueden permitir una ganancia en altura de la base de las futuras plantaciones, si bien, difícilmente podrán superarse los tres metros.

2.3.- REVEGETACIÓN

2.3.1.- Consideraciones previas

Salvo que existan iniciativas particulares que planteen planes de aprovechamiento del terreno en las áreas llanas distintos de la protección y conservación del suelo, ha quedado ya establecido, como objetivo de carácter general, un modelo de restauración que persigue el restablecimiento de la vegetación natural actualmente presente. Esto puede concretarse definiendo como modelo de cobertura general un matorral arbolado, del tipo espinar-carrascal en mosaico con pinos.

Evidentemente, las formaciones climácicas presuponen un medio edáfico no degradado que está muy lejos del que encontraremos en las futuras zonas explotadas, e incluso del que se extiende en gran parte del territorio de la zona de estudio. Por ello, pretender alcanzar los estados de mayor madurez (encinar) en las condiciones de alteración en las que quedan los terrenos después de la explotación puede resultar excesivamente ambicioso, lo que no impide que la encina pueda ser también introducida puntualmente. Por el contrario, plantear el establecimiento generalizado de fases más degradadas es proclive a que se autolimiten los esfuerzos, además de que estas formaciones difícilmente permiten alcanzar una rehabilitación del paisaje y no garantizan una protección del terreno tan completa. No obstante, sobre las caras de banco difícilmente se podrá alcanzar una densidad, variedad y cobertura como la que proporciona un espinar o carrascal en buen estado de conservación.

Pueden existir especies comerciales de interés que, aún no siendo propias del medio, podrían ser empleadas en casos concretos. Sin embargo, en lo relativo a especies de carácter leñoso, sólo se hará referencia a especies silvestres o naturalizadas presentes en la zona de estudio, propias de los pinares, carrascales y espinares, junto con otras especies que puntualmente puedan cumplir alguna función interesante.

Algunos tratamientos previos al establecimiento de la vegetación arbustiva y arbórea, que suelen ser eficaces para mantener la superficie del terreno protegida y para mejorar sus propiedades, hacen uso de formaciones herbáceas mixtas y densas, a semejanza de lo que serían pastizales o cultivos de carácter forrajero (algo de esto ya ha sido comentado). Debido al carácter provisional de dichas formaciones, no se considera necesario que las especies empleadas con tales objetivos tengan que estar presentes actualmente en la zona. La adecuación ecológica y la disponibilidad de las semillas en el mercado son los principales argumentos a valorar para la selección de estas especies.

En cuanto a las especies leñosas, siempre se puede considerar la posibilidad de llevar a cabo campañas de recogida de semilla o, incluso, planes más o menos ambiciosos de cría y mejora de plantas in situ para cubrir las necesidades de proyectos concretos. Sin embargo, es más recomendable hacer uso de plantas criadas en vivero o semillas de carácter comercial por las garantías que ofrecen.

Un programa básico de recuperación de los terrenos alterados debe pasar por las siguientes fases:

- Reconocimiento de la/s formación/es vegetales afectadas y de la vegetación natural actual y potencialmente presente en la zona.
- Preselección de especies partiendo de la información anterior y según sean los objetivos y condicionantes puntuales (microtopografía, substrato, mejoras edáficas previstas, etc.).
- Ensayos, experiencias.
- Elaboración del programa de revegetación.

Teniendo presentes todas las consideraciones anteriores, y dado el carácter general de este documento, sólo serán tratados aquí los aspectos que se refieren a las dos primeras fases, sin dejar de recomendar insistentemente que se realicen ensayos sobre todos los aspectos implicados en la rehabilitación paisajística.

2.3.2.- Análisis de la vegetación natural presente en la zona

Los espinares y carrascales están ampliamente extendidos en toda la zona de estudio. Constituyen bosquetes o arbustedas que engloban un variado elenco de especies, las cuales cumplen algunos o varios de los requisitos enumerados más abajo. Entre ellas están: *Asparagus acutifolius*, *Chamaerops humilis*, *Clematis flammula*, *Daphne gnidium*, *Ephedra fragilis*, *Juniperus oxycedrus*, *Lonicera implexa*, *Myrtus communis*, *Olea europaea subsp. sylvestris*, *Osyris quadripartita*, *Pistacia lentiscus*, *P. terebinthus*, *Phillyrea angustifolia*, *Quercus coccifera*, *Rhamnus alaternus*, etc. Además de los táxones

anteriores aparecen, de forma esporádica otras especies representativas de etapas más maduras como *Quercus rotundifolia*, *Smilax aspera* var. *mauritanica*, etc.

Existen otras especies interesantes, que son propias de posiciones de carácter más seco o más fresco y que pueden interesar para cubrir enclaves con esas características, como: *Juniperus phoenicea*, *Anthyllis cytisoides*, *Cistus albidus*, *Coronilla juncea*, *Daphne gnidium*, etc. Otras especies propias de los tomillares y matorrales más degradados pueden ser interesantes también por su rusticidad.

En la cartografía de la vegetación se reconocen importantes manchas mixtas que incluyen *Pinus halepensis*. El pino carrasco, será considerado de interés por su extraordinaria rusticidad y resistencia a la sequía y por ser una de las plantas que mayor porte puede alcanzar entre las existentes en el territorio. Por estas razones, y por su elevada presencia en la zona, puede jugar un importante papel desde el punto de vista de la integración paisajística.

Muchas veces se ha dudado de la idoneidad del empleo de los pinos para la restauración ecológica de un territorio. Parece aceptarse que es negativo su empleo cuando la fase de degradación que se ha alcanzado es la de desierto (como es nuestro caso).

Es cierto que estas consideraciones tienen mayor peso cuando se plantea una repoblación en el sentido más tradicional de la palabra. Si son tomadas las suficientes medidas como para que la capacidad productiva del terreno aumente, y considerando que se plantea introducir una mayor variedad de especies con métodos relativamente cuidadosos, entonces puede aceptarse que la plantación de pino carrasco puede ser ecológicamente positiva, tratándose de terrenos calizos con vegetación climax de encinar.

Más dudas puede plantear la introducción de *Pinus pinaster* que, en todo caso se recomienda sea sólo puntual. Este pino suele preferir terrenos sueltos silíceos, aunque soporta la caliza si la textura es arenosa como ocurre con los productos de alteración de los mármoles dolomíticos cristalinos de nuestra zona.

Por último, a las especies propias de las series climatófilas hay que añadir aquellas de carácter higrófilo que son propias de márgenes y riberas, y que han de tener un gran interés para estabilizar y embellecer márgenes en las vías de drenaje: *Nerium oleander*, *Coriaria myrtifolia* y *Rubus ulmifolius*, a las que se unen otras especies más comunes en el resto del territorio como serían *Pistacia lentiscus* o *Asparagus acutifolius*.

2.3.3.- Preselección de especies de interés

La elección de especies se realizará buscando las siguientes características:

- Carácter natural, evitando especies exóticas que pudieran asilvestrarse y producir daños. Es preferible el empleo de especies autóctonas o ya naturalizadas y presentes en la zona de estudio.
- Carácter heliófilo, frugal y rústico, aunque puedan acompañarse de plantas más exigentes propias de estados más avanzados, como ya se ha comentado.
- Carácter edificador o corrector de suelos, como es el caso de las leguminosas tanto herbáceas como leñosas (bolinas, retamas).
- Elevada capacidad de protección del suelo (vigorosa capacidad de enraizamiento o desarrollo horizontal de la copa).
- Alta resistencia a la sequía estival y a elevadas concentraciones de carbonato cálcico.
- Crecimiento rápido durante las primeras fases en lugares inestables.
- Resistencia a daños y elevada capacidad de rebrote (como las retamas, las higueras y otras).
- Buenas características para la acogida, alimento y protección de la fauna. Se deben evitar el empleo masivo o la dominancia de plantas productoras de aceites esenciales (a excepción del romero). Interesan las plantas productoras de frutos comestibles (espinos, zarzamoras, majuelos, algarrobos) las cuales atraen a numerosas aves, las cuales pueden ser a su vez un factor importante de diseminación vegetal.
- Introducción de especies autóctonas o de interés por su representatividad de la flora local o estado de amenaza (palmitos, espinos, sabinas).

La multiplicidad de características que pueden ser de interés, cuando el objetivo es la rehabilitación ecológica y paisajística y la protección de suelos, obliga a realizar una selección lo más amplia posible, como puede fácilmente deducirse.

En la tabla siguiente se presentan las especies leñosas seleccionadas presentes en la zona de estudio, ya sean autóctonas o naturalizadas, con indicación de la descripción morfológica más habitual y algunas observaciones. Las abreviaturas empleadas para describir la morfología de las especies son: A, árbol; a, arbusto; m, subarbusto o mata; t, trepadora.

ESPECIES	TIPO	OBSERVACIONES
<i>Asparagus acutifolius</i> (esparraguera silvestre)	a	Gran capacidad de rebrote
<i>Asparagus albus</i> (esparraguera blanca)	a	Gran capacidad de rebrote
<i>Chamaerops humilis</i> (palmito)	a	Suelos pedregosos
<i>Ceratonia siliqua</i> (algarrobo)	A	Suelos pedregosos
<i>Cistus albidus</i> (estepa blanca)	m	
<i>Cistus clusii</i> (romero macho)	a	
<i>Cistus monspeliensis</i> (jaguarzo negro)	a	
<i>Clematis flammula</i> (jazmín de monte)	t	Pies de cantiles frescos
<i>Clematis vitalba</i> (clemátide)	t	Setos
<i>Colutea arborescens</i> (espantalobos)	a	Lugares soleados
<i>Coriaria myrtifolia</i> (emborrachacabras)	a	Fijadora de N, setos
<i>Coronilla juncea</i> (coronilla)	a	Fijadora de N
<i>Crataegus monogyna</i> (majuelo)	A/a	Setos
<i>Daphne gnidium</i> (torvisco)	a	
<i>Ephedra fragilis</i> (hierba de las coyunturas)	a	Setos
<i>Ficus carica</i> (higuera)	A/a	Roquedos
<i>Genista umbellata</i> (aulaga)	a	Fijadora de N
<i>Helichrysum stoechas</i> (siempreviva)	m	
<i>Juniperus oxycedrus</i> (enebro de miera)	A	Gran rusticidad
<i>Juniperus phoenicea</i> (sabina negra)	A	Gran rusticidad
<i>Lavandula stoechas</i> (lavanda)	m	

ESPECIES	TIPO	OBSERVACIONES
<i>Lonicera implexa</i> (madreselva)	t	
<i>Myrtus communis</i> (arrayán)	a	Setos
<i>Nerium oleander</i> (adelfa)	a	Ramblas y ribazos
<i>Olea sylvestris</i> (acebuche)	A	Gran rusticidad
<i>Osyris quadripartita</i> (bayón)	a	Suelos frescos
<i>Phagnalon rupestre</i>	m	
<i>Phlomis purpurea</i> (matagallo)	a	Suelos pedregosos
<i>Phillyrea angustifolia</i> (labiérnago)	a	Suelos frescos
<i>Pinus halepensis</i> (pino carrasco)	A	Gran rusticidad
<i>Pinus pinaster</i> (pino resinero)	A	Subespecie <i>acutisquama</i>
<i>Pistacia lentiscus</i> (lentisco)	a	Gran rusticidad
<i>Pistacia terebinthus</i> (cornicabra)	a	Gran rusticidad
<i>Prunus prostata</i> (cerezo rastrero)	a	
<i>Quercus coccifera</i> (coscoja)	a	Gran rusticidad
<i>Quercus rotundifolia</i> (encina)	A	
<i>Retama sphaerocarpa</i> (retama de bolas)	a	Fijadora de N
<i>Rhamnus alaternus</i> (aladierno)	a	Gran rusticidad
<i>Rhamnus oleoides</i> (espino negro)	a	Gran rusticidad
<i>Rosmarinus officinalis</i> (romero)	a/m	
<i>Rubus ulmifolius</i> (zarzamora)	a	Ribazos y setos
<i>Ruscus aculeatus</i> (rusco)	a	Gran capacidad de rebrote
<i>Smilax aspera</i> (zarzaparrilla)	t	
<i>Sorbus aria</i> (mostajo)	a	Gran poder de enraizamiento
<i>Spartium junceum</i> (gallomba)	a	Fijadora de N
<i>Teucrium fruticans</i> (olivilla)	a	Gran rusticidad
<i>Thymbra capitata</i>	m	
<i>Thymus mastichina</i> (mejorana)	m	

2.3.4.- Material vegetal

Como ya se ha comentado, es recomendable hacer uso de plantas criadas en vivero o semillas de carácter comercial.

Lo ideal es que las plantas procedan de viveros situados en áreas con condiciones ecológicas similares a las de la zona de estudio. Evidentemente, habrán de cumplir con todos los requisitos normalmente exigidos de calidad, en especial en lo que se refiere a conformación y desarrollo del sistema radicular.

En las áreas en las que no se realicen intensas mejoras del sustrato, las condiciones de crecimiento serán muy duras, por lo que será recomendable utilizar planta más pequeña (de una savia) y mayor cantidad.

Por el contrario, en las zonas donde se hayan realizado aportes de suelo en espesores importantes puede plantearse el empleo de planta de mayor porte y edad. Este será el caso también de las posibles pantallas visuales, en las que interesará crear un muro de tierra y vegetación del máximo porte y densidad en el menor tiempo posible.

2.3.5.- Tratamientos de revegetación

Básicamente se pueden realizar dos tipos de tratamientos encaminados a la introducción de la vegetación y que, a su vez, están condicionados por las prácticas de manejo de los materiales que van a servir de sustrato, de las condiciones topográficas o de accesibilidad y de si se trata, tal y como se ha venido planteando, de un tipo de vegetación temporal, de carácter herbáceo, o definitiva, de carácter arbustivo y arbóreo. Estos tratamientos son la siembra y la plantación.

La siembra, lógicamente, requiere un medio apropiado a la germinación, poroso y no compacto, que preserve humedad a la vez que permita la aireación. Cuanto más regular sea la distribución de la semilla en el espacio, más uniforme será la formación vegetal introducida.

Como se ha ido exponiendo, es siempre útil sembrar pratenses para proteger superficies contra la erosión, mejorar las propiedades del suelo, reducir temporalmente el impacto visual o mantener en vivo las propiedades de la tierra vegetal.

Una mezcla polivalente de semillas, que puede ser empleada siempre que se considere necesario instaurar una formación herbácea como paso previo a la posterior plantación de plantas autóctonas arbustivas y arbóreas, debe ser elegida según los siguientes criterios:

- diversidad para buscar amplia adaptación dentro de las condiciones propias de la zona
- equilibrio entre gramíneas y leguminosas
- rusticidad en términos generales
- presencia habitual en el mercado
- rapidez de implantación
- capacidad para ser utilizada en siembra convencional o hidrosiembra.

Un tipo de dosis de siembra para su empleo más o menos generalizado en la zona podría quedar constituida como sigue (para una hectárea): *Agrostis stolonifera* (15 kg), *Dactylis glomerata* (15 kg), *Cynodon dactylon* (15 kg), *Lolium rigidum* (20 kg), *Vicia sativa* (20 kg), *Lathyrus aphaca* (15 kg) y *Lotus corniculatus* (10 kg).

Además de estas, entre todas las plantas leñosas que fueron enumeradas en puntos anteriores, aquellas de menor porte y de menor efecto sobre el paisaje pueden ser también propagadas por el método de siembra y repartidas aleatoriamente en las zonas destinadas a plantaciones como elementos intercalares, o incluidas entre las especies herbáceas en las mezclas de hidrosiembra a emplear sobre los frentes.

Dadas las graves dificultades que presentarán los taludes de banco, este último método es tal vez el único que puede posibilitar un tratamiento de revegetación sobre los mismos. La idea es que, aún cuando las condiciones edáficas son muy adversas, siempre es posible encontrar especies cuyo bajo nivel de exigencia o su rusticidad posibilite la colonización, siempre y cuando las semillas o propágulos puedan hacerse llegar hasta la superficie del terreno, sean fijadas sobre ella y se supere la fase crítica de la nascencia.

La hidrosiembra es un procedimiento especialmente adecuado para el tratamiento de grandes superficies y para la siembra en taludes de fuertes pendientes o de acceso difícil donde otros medios de operación directa resultan menos eficaces. Consiste en distribuir una mezcla acuosa que porta en suspensión o solución las semillas, junto a fertilizantes, estabilizadores de suelo, aditivos especiales y mulch. La hidrosiembra puede realizarse a través del cañón de una hidrosebradora, si es posible el acceso hasta el punto de siembra, o en caso contrario, por medio de una o varias mangueras enchufadas al cañón. La distancia entre la boca del cañón (o de la manguera) y la superficie a tratar es función de la potencia de expulsión de la bomba, y puede oscilar entre los 20 y 50 metros.

La hidrosiembra es un método que proporciona ayuda para depositar la semilla en la dosis adecuada sobre la superficie a revegetar y aporta elementos que mejoran el ambiente de germinación de las semillas. Sin embargo, por mucho que los aditivos de la hidrosiembra faciliten la implantación de las especies cuyas semillas son aportadas, no deja de ser un sofisticado método de siembra sobre superficies poco accesibles sin necesidad de pasar por encima de las mismas, es decir, no proporciona un sustituto del suelo.

Existen en el mercado componentes especiales, preparados para su distribución mediante hidrosiembra, los cuales consiguen formar sobre la superficie tratada un espacio granular y poroso, de cierto espesor y estable al agua. Este tipo de aplicaciones puede ver aumentada su estabilidad si se distribuye sobre una superficie cubierta con una red orgánica que actúa mejorando la retención. No obstante, la estabilidad a largo plazo pasa por que algunas de las raíces de cada planta germinada se anclen en el substrato subyacente, lo cual no deja de ser difícil.

Con todo lo visto hasta aquí, se puede proponer un esquema general de tratamiento con hidrosiembra de un talud de banco con su berma inferior, manteniendo durante todo el proceso la accesibilidad como para el descompactado inicial. Se iniciaría a principios de otoño y comprendería las siguientes operaciones:

- Descompactado con riper en las zonas ripables de la berma-Colocación de red de coco en el talud de banco superior-Extendido de 30 cm de tierra sobre la berma-

Hidrosiembra con mezcla especial sobre talud y berma, cuidando que la distribución sea homogénea sobre el talud-Riego ligero pasados un par de días.

Es necesario advertir que, ya que se tiene planteado llevar a cabo plantaciones, éstas se hagan pasado un año de crecimiento de las pratenses en las áreas sembradas e hidrosembradas. De este modo se podrá realizar un mantenimiento de las siembras en las épocas secas, fundamentalmente algún riego ligero con la misma hidrosembradora, además de que así puede mantenerse el terreno más protegido y se producirá una mejora de las características físicas y químicas. Esto obliga a mantener la accesibilidad a todas las bermas, por lo menos hasta que pueda comprobarse que las plantaciones han tenido éxito y el sistema evoluciona favorablemente.

Con la plantación se busca la introducción de las especies leñosas que finalmente caracterizarán el paisaje futuro de la zona, aunque se realizarán en áreas que pueden estar ya cubiertas de vegetación herbácea. En esencia, salvo por las dificultades de acceso y transporte del material a todos los puntos de plantación, no difieren de una plantación normal con apertura de hoyos individuales en los que pueden introducirse mejoras edáficas y plantas en cepellón, pot o a raíz desnuda.

La plantación, que sólo puede ser realizada en zonas llanas o culminantes (bermas, plataformas, plazas de cantera, cordones para minimizar el impacto visual), se debe regir siempre por el mismo principio. Esto es, crear un medio favorable suficiente para el desarrollo de los primeros dos o tres años mediante la apertura de un hoyo de dimensiones generosas en relación con el tamaño de la planta. Después se debe confiar en la extensión del sistema radicular fuera de los límites del hoyo y en la capacidad de la especie para sobrevivir.

La distribución de las diferentes especies, aparte de las exigencias diferenciales de las mismas, se debe regir por la máxima naturalidad posible, con creación ocasional de pequeños agrupamientos o alineamientos, pero haciendo que predomine la ausencia de diseño geométrico. Los pinos deberán tener preferencia en las bermas de los frentes y las especies leguminosas deberán predominar en número, con presencia dominante en todas las superficies.

En general, conviene que las labores de plantación sean manuales, aunque puede interesar la participación de una pequeña retroexcavadora para las labores de apertura de los hoyos. También debe acompañar a las cuadrillas de plantación un camión cisterna o una hidrosembradora para las áreas más inaccesibles, de tal modo que pueda realizarse un riego de plantación, el cual deberá repetirse pasados unos días si no llueve.

2.3.6.- Algunos modelos propuestos para la restauración ecológica y paisajística

Como conclusión a todo lo anteriormente dicho se van a describir algunas secuencias de actuación encaminadas a la restauración de diferentes tipos de superficies.

- *Conjunto de talud de banco y berma inferior en zona culminante*

Supongamos que se dispone de una longitud de banco suficiente para iniciar labores de recuperación. La superficie de aproximación a dicha cara de banco es sobradamente superior en anchura a los 4 m medidos desde el pie de dicho talud. La altura máxima del mismo es de 10 m. Desde un extremo es posible el acceso a pie hasta la coronación del talud. La época es a finales del mes de agosto. Existe la posibilidad de trabajar hasta la primavera del año siguiente, época en la que se iniciará la creación del talud inferior. Quedará una rampa de acceso para poder realizar plantaciones durante el otoño del siguiente año.

Si la zona es visible, interesará maximizar en lo posible el crecimiento sobre la futura berma de especies cuyo porte permita ocultar la mayor superficie posible de talud, además de intentar un recubrimiento vegetal del mismo. Si la zona afectada poseía una alta cobertura y diversidad vegetal interesará maximizar la densidad y la diversidad de las especies a plantar al año siguiente.

Las operaciones a realizar pueden seguir el siguiente esquema (véase la figura 4):

1. Descompactado con ripper donde sea posible, dando dos pasadas paralelas al pie del talud separadas 1,5 m

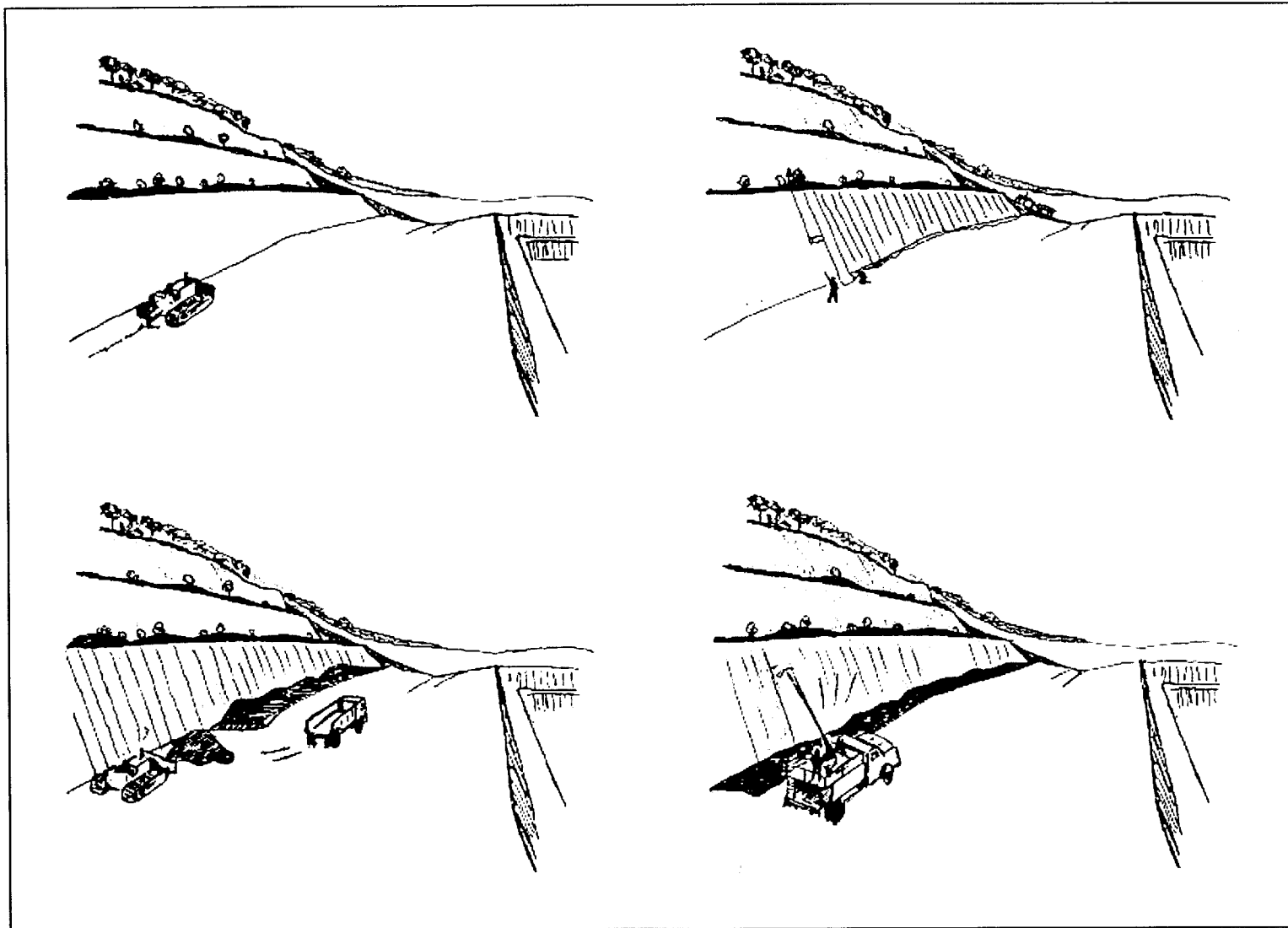


Figura 4.- Secuencia de operaciones previas a la realización de plantaciones en taludes y bermas.

2. Colocación de red de coco sobre la cara del talud por personal especializado.
 3. Aporte sobre una franja de 4 m de un espesor medio de 70 cm de tierra vegetal y creación de diversos montones de tierra apoyados sobre el talud.
 4. Hidrosiembra con componentes especiales y mezcla poliespecífica de herbáceas a las que se añaden semillas de plantas subarborescentes sobre la futura berma y talud.
 5. En otoño del siguiente año, plantación de especies diversas de matorral y pino carrasco incluyendo plantas trepadoras en las bandas interna y externa de la berma.
- *Berma de gran anchura situada a media altura de un frente y talud. de banco inmediatamente superior*

Suponemos que sobre la berma no van a existir nunca problemas de accesibilidad, por lo que la intensidad de las medidas puede reducirse para, si fuera necesario, tomar medidas de corrección posteriores. Sobre el talud se adoptarán las mismas medidas que se describieron en el caso anterior. Las diferentes operaciones se pueden planificar en el tiempo de tal modo que la hidrosiembra pueda ser realizada en otoño. La secuencia en este caso quedaría como sigue:

1. Descompactado con riper donde sea posible, dando pasadas paralelas al pie del talud separadas 1,5 m.
2. Colocación de red de coco sobre la cara del talud por personal especializado
3. Aporte sobre toda la superficie de la berma de un espesor medio de 20 cm de tierra vegetal y creación de diversos montones de tierra apoyados sobre el talud.
4. Hidrosiembra con componentes especiales y mezcla poliespecífica de herbáceas a las que se añaden semillas de plantas subarborescentes sobre el talud.
5. Aporte de enmienda orgánica en la superficie de la berma.

6. Pase de arado de discos sobre toda la superficie de la berma.
 7. Pases de cultivador para preparación de cama de siembra
 8. Siembra primaveral de veza-avena sobre la berma
 9. En otoño del siguiente año, plantación de especies diversas de matorral y pino carrasco incluyendo plantas trepadoras en las bandas interna y externa de la berma.
- *Gran superficie sensiblemente llana en plataforma o plaza de cantera*

Se supone que existe una plataforma situada en la base de un frente cuya extensión permite plantear la subdivisión de la misma en parcelas con vistas al ensayo de diferentes soluciones.

En una de ellas puede ser aplicada la secuencia del caso anterior, en la que se plantean una serie de mejoras sucesivas e uniformemente repartidas sobre toda la superficie que terminan con la siembra de vegetación herbácea. Esta secuencia puede plantearse incluso para su utilización en fajas sensiblemente perpendiculares a las posibles líneas de flujo de la escorrentía superficial.

El hecho de que la superficie de estas vaya a ser muy llana o, en todo caso, con ligeras caídas hacia los canales de drenaje que se establezcan, permite que pueda ser fácilmente controlada la escorrentía superficial que pudiera generarse en eventos de precipitación de mucha intensidad. Este hecho supone además que puedan admitirse tratamientos de integración paisajística más localizados, es decir, que puede economizarse al no aplicar mejoras extendidas a toda la superficie.

A continuación se describen dos tipos de secuencias que pudieran ensayarse en alguna de las parcelas.

Secuencia para plantaciones lineales en combinación con plantaciones puntuales dejando un porcentaje de la superficie sin tratar:

1. Ejecución de voladuras en cráter distribuidas aleatoriamente en combinación con pequeñas zanja abiertas con retroexcavadora (implementada cuando sea necesario con martillo picador). La distribución combinada de zanjas y cráteres debe conseguir que sean interceptadas, por lo menos en un punto, todas las posible líneas de flujo superficial de la parcela.
2. Excavación manual sobre zanjas y cráteres, relleno con tierra vegetal y plantación de árboles y arbustos. El material sobrante de la excavación debe colocarse hacia la posición de aguas abajo, a la vez que se abre o alisa la superficie de aproximación al punto de plantación desde las posiciones situadas aguas arriba.

Secuencia que contempla la colocación aleatoria de montones de tierra vegetal de espesor y forma irregular. De este modo se generaría una variabilidad superficial del espesor de tierra (desde cero hasta la máxima altura del montón) que puede tener como reflejo en el futuro una interesante variabilidad en la tipología y porte de la vegetación establecida. La secuencia sería:

1. Construcción de montones irregulares de tierra vegetal. La distribución superficial de los diferentes apilamientos debe conseguir que sean interceptadas, por lo menos en un punto, todas las posible líneas de flujo superficial de la parcela.
 2. Excavación manual de zanja de poca profundidad, dibujando la línea de contorno de aguas abajo de cada montón, con objeto de retener los posibles sedimentos originados en los apilamientos de tierra
 3. Plantación densa de árboles y arbustos sobre las superficies que han recibido tierra vegetal, colocando plantas de mayores exigencias en las zonas centrales de los montones.
- *Pantalla vegetal en márgenes externos de pistas comunes*

En los márgenes externos de pistas de uso común de nueva creación puede aprovecharse el material excavado sobrante para la creación de montones alineados con la pista. La tierra

vegetal excavada durante las labores de apertura de la pista se debe utilizar para recubrirlos, lo que requiere una cierta planificación en las operaciones de movimiento de tierras.

Sobre dichos montones será conveniente abrir hoyos de plantación en los que se aportará tierra, si se considera necesario, y mejoras orgánicas, con vistas a la plantación de árboles (pinos, algarrobos, encinas, acebuches, etc.) y arbustos de gran densidad (retamas, coscojas, palmitos, etc.). El resto de la superficie puede ser sembrado con plantas herbáceas y subarborescentes.

- *Plantaciones en las riberas de canales de drenaje*

Con objeto de embellecer y estabilizar las vías de drenaje que se construyan para conducir la escorrentía superficial pueden abrirse hoyos o zanjas de plantación en la franja que sirve para enrasar las paredes del canal con el terreno adyacente.

En estas zonas previsiblemente más húmedas pueden plantarse especies propias de ramblas como adelfas y zarzamoras, junto a otras arbustivas y algunos árboles como algarrobos y encinas. Estos últimos deben situarse más alejados del eje del canal para minimizar el riesgo de afección sobre el mismo en su crecimiento.

En esencia, en este caso como en el anterior, las plantaciones deben buscar una mejora de las propiedades edáficas en los puntos de plantación, mezclando o sustituyendo el material excavado con tierra y materiales orgánicos.

3.- MEDIDAS ESTRUCTURALES DE CONSERVACIÓN DE SUELOS Y DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS

Durante periodos de intensas lluvias no es extraño que las aguas de los arroyos El Pinar y Sierra Blanca adquieran un aspecto lechoso debido a la carga de sedimentos que transportan. También es posible observar, en numerosos puntos localizados dentro de las áreas en explotación, la gran erodibilidad de los materiales más alterados que forman parte del yacimiento.

Es corriente que el simple rebose de la escorrentía desde las partes situadas en posición dominante sobre los frentes de cantera genere incisiones que dan lugar a caprichosas formas erosivas en los mismos. La cuestión puede tener relativamente poca importancia mientras dure la explotación, siempre y cuando fuera controlada la calidad de las aguas a la salida de la zona de canteras, en el curso de estas hacia el cauce del Guadalhorce. En cambio, para lograr la rehabilitación posterior de los terrenos sin que se perpetúen los fenómenos degradativos, será absolutamente necesario controlar la escorrentía concentrada, además de proporcionar una cubierta protectora sobre las superficies desnudas.

3.1.- DISMINUCIÓN DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

Las propias bermas introducidas en el diseño de los futuros frentes para mejorar la estabilidad de los mismos son un freno al escurrimiento superficial. Sobre las superficies de las bermas menores de los frentes no procede construir ninguna estructura de control de la escorrentía. Si se dotan de una ligera contrapendiente, es previsible que, salvo para eventos de intensidad de lluvia extraordinarios, toda el agua caída se infiltre. Si se ha procedido de tal manera que la capacidad de almacenamiento de agua sea la máxima posible en la zona ocupada por las raíces de las plantas introducidas, este aporte de agua será beneficioso.

El posible escurrimiento sobre estas bermas hacia los extremos de las mismas debe frenarse haciendo uso de la propia vegetación (herbácea al principio) y de la forma que se dé a los hoyos de plantación, cuya vista en planta debe tener forma de media luna abierta hacia aguas arriba.

En términos generales, esto es válido para todas las superficies. Se tratará de disminuir el volumen y la velocidad de escurrimiento actuando de tal manera que pueda ser mejorada la capacidad de almacenamiento de agua en superficie y la capacidad de infiltración.

No obstante, en las bermas mayores y en las plataformas, durante aguaceros de alta intensidad, puede generarse un caudal que puede ser importante y deberá ser canalizado. En las bermas, los canales serán revestidos de material granular grueso (encachado de piedra es lo más idóneo) y se situarán a corta distancia de la cara del talud superior, dejando una franja intermedia que pueda ser aprovechada para plantar especies trepadoras. El canal debe establecerse sobre la tierra vegetal en aquellas superficies que se recubran totalmente, aunque convendrá que esquiven los amontonamientos de tierra que se apoyan sobre los taludes.

En las plataformas, el canal, que también deberá ser revestido, puede llevarse por donde se quiera con tal de dotar a las superficies colaterales de una ligera pendiente hacia el mismo. En perpendicular a las ligeras pendientes se pueden interponer líneas de plantación, fajas sembradas, hoyos abiertos en media luna, caballones, etc. Cualquier sistema que permita un aumento de la infiltración, por reducción de la velocidad de escorrentía o su represamiento temporal, será beneficioso para la vegetación establecida siempre que exista una capacidad de retención de agua suficiente en el volumen de tierra explorado por las raíces.

Finalmente, toda la escorrentía generada circulará por vías de drenaje principales, que deberán quedar fijas en cuanto se alcance un nivel de base definitivo sobre una superficie explotada. Estas canalizaciones son fundamentales, pues sustituirán a los actuales drenajes naturales y, por ello, deberá cuidarse en extremo tanto su capacidad de desagüe, como su aspecto y la vegetación de sus márgenes.

3.2.- CONTROL DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL CONCENTRADA

La escorrentía superficial se concentrará finalmente en determinadas líneas de corriente cuya situación, como ya se ha comentado, dependerá del tipo de superficie de que se trate. Estas vías de drenaje deberán estar calculadas de modo que sean capaces de soportar caudales de diseño prefijados.

3.2.1.- Parámetros básicos para el cálculo de caudales

- **Precipitaciones máximas en 24 h.**

La serie anual de valores de precipitación máxima en 24 h es la base para la realización de los cálculos hidrológicos necesarios. La serie anual es fácil de obtener a partir de los datos recogidos de precipitación máxima en 24 h de la serie mensual a lo largo de un periodo conveniente de años. A partir de ella es posible extrapolar con suficiente base teórica más allá del intervalo de observación. Los datos de precipitaciones máximas diarias aportados por el Instituto Meteorológico están recogidos en la siguiente tabla, con indicación del mes en el que se produjeron.

OBSERVATORIO DE ALHAURÍN DE LA TORRE	
AÑO	PRECIPITACIÓN DIARIA MÁXIMA (mm)
1968	57,3 (feb.)
1969	112,5 (ene.)
1970	126,0 (dic.)
1971	67,0 (oct.)
1972	79,3 (nov.)
1973	47,6 (feb.)
1974	51,0 (oct.)
1975	55,0 (mar.)
1976	49,5 (oct.)
1977	66,0 (nov.)
1978	240,5 (nov.)
1979	80,0 (ene.)
1980	40,0 (ene.)
1981	-
1982	176,5 (nov.)
1983	215,0 (nov.)
1984	208,0 (ene.)

OBSERVATORIO DE ALHAURÍN DE LA TORRE	
AÑO	PRECIPITACIÓN DIARIA MÁXIMA (mm)
1985	35,5 (ene.)
1986	72,0 (nov.)
1987	54,0 (nov.)
1988	100,5 (oct.)
1989	170,0 (nov.)
1990	65,5 (abr.)
1991	68,0 (nov.)
1992	99,0 (feb.)
1993	82,5 (mar.)
1994	20,0 (ene.)
1995	12,5 (ene.)

El estudio de frecuencias de los valores anuales (ver tabla siguiente) indica que en todos los años de la serie se alcanza una precipitación igual o superior a los 10 mm algún día, y que con una frecuencia de 29,62% se superan los 100 mm caídos en 24 h.

INTERVALO (mm/24 h)	FRECUENCIA ABSOLUTA	FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS	
10-20	1	3,70	100,00
21-30	1	7,40	96,30
31-40	2	14,81	92,59
41-50	2	22,22	85,18
51-60	4	37,04	77,77
61-70	4	51,85	62,96
71-80	3	62,96	48,15
81-90	1	66,66	37,03
91-100	1	79,37	33,33
>100	8	100,00	29,62
	27		

- **Precipitaciones extremas y periodos de retorno**

La distribución de Gumbel ha sido empleada con buenos resultados para el estudio de frecuencias de valores extremos de las variables meteorológicas. Cuando se ha aplicado a los valores máximos diarios de series anuales de lluvias se han logrado ajustes muy precisos para los mismos. Esta distribución responde a la expresión:

$$F(X) = e^{-e^{-y}}$$

Donde $F(X)$ es la probabilidad de que en un año no se supere el valor de precipitación “X”, e “Y” es la llamada variable reducida, la cual puede expresarse como función de dos parámetros (α , u) que se obtienen de la serie de datos disponible:

$$y = \alpha \cdot (x - u)$$

La precipitación correspondiente queda definida entonces con la siguiente expresión:

$$X = - \frac{\text{Ln}[-\text{Ln}(F(X))]}{\alpha} + u$$

Los parámetros α y u se calculan en función de la media “ x_m ” y de la desviación típica “ S ” de la serie de datos anterior. Las expresiones de cálculo para cada uno de ellos, son las siguientes:

$$\alpha = \frac{S_n}{S}$$

$$u = \frac{(x_m - y_m \cdot S)}{S_n}$$

donde:

y_m = Media de la variable reducida “y”.

S_n = Desviación típica de la variable reducida.

Para calcular dichos datos se parte de la relación:

$$y = -Ln [Ln (\frac{n+1}{m})]$$

donde:

n = Número de años de la serie.

m = Número de orden de la serie.

Introduciendo los datos anteriores en la expresión de la precipitación, se obtiene la expresión final de la precipitación máxima "X" para un periodo de retorno "T".

donde y^T es la variable reducida para el periodo de retorno T.

Para simplificar los cálculos, en la siguiente tabla se establecen los valores de

para distintos periodos de retorno y según el número de años de la serie considerada.

Número de años	PERIODO DE RETORNO "T" (AÑOS)								
	2	5	10	15	20	25	30	50	100
10	- 0,14	1,05	1,83	2,27	2,58	2,82	3,02	3,56	4,29
11	- 0,14	1,03	1,81	2,25	2,55	2,79	2,98	3,52	4,24
12	- 0,14	1,01	1,78	2,21	2,51	2,74	2,93	3,46	4,18
13	- 0,14	1,00	1,75	2,17	2,47	2,70	2,89	3,40	4,11
14	- 0,14	0,98	1,72	2,14	2,44	2,66	2,85	3,36	4,05
15	- 0,14	0,96	1,70	2,12	2,41	2,63	2,81	3,32	4,00
16	- 0,14	0,95	1,68	2,09	2,38	2,60	2,78	3,28	3,96
17	- 0,14	0,94	1,67	2,07	2,36	2,58	2,76	3,25	3,93
18	- 0,15	0,93	1,65	2,06	2,33	2,56	2,73	3,22	3,89
19	- 0,15	0,92	1,64	2,04	2,32	2,54	2,72	3,20	3,87
20	- 0,15	0,92	1,62	2,02	2,30	2,52	2,69	3,18	3,84
21	- 0,15	0,91	1,61	2,01	2,29	2,50	2,67	3,16	3,81
22	- 0,15	0,90	1,60	2,00	2,27	2,48	2,66	3,14	3,79
23	- 0,15	0,90	1,59	1,98	2,26	2,47	2,64	3,12	3,77
24	- 0,15	0,89	1,58	1,97	2,25	2,46	2,63	3,10	3,75
25	- 0,15	0,88	1,58	1,96	2,23	2,44	2,61	3,09	3,73
26	- 0,15	0,88	1,57	1,95	2,22	2,43	2,60	3,07	3,71
27	- 0,15	0,88	1,56	1,94	2,21	2,42	2,59	3,06	3,70
28	- 0,15	0,87	1,55	1,94	2,20	2,41	2,58	3,05	3,69
29	- 0,15	0,87	1,55	1,93	2,20	2,40	2,57	3,04	3,67
30	- 0,15	0,86	1,54	1,92	2,19	2,39	2,56	3,03	3,65

Fuente: Elías Castillo, F. y Ruiz Beltrán, L. (1979). Precipitaciones máximas en España. Monografía nº 21. ICONA. Madrid.

Con lo que la expresión queda de la siguiente forma:

En nuestro caso, la serie de datos del observatorio de Alhaurín de la Torre se compone de 27 registros. Los parámetros estadísticos para esta serie son:

- Media aritmética: 90,7 mm.
- Desviación típica: 60,7.

Con estos se obtienen los siguientes valores de precipitación máxima en 24 h.

PERIODO DE RETORNO (años)	PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 h (mm)
10	185
15	207
20	224
25	236
50	275
100	313
Máxima de la serie: 240, 5 mm. Media aritmética: 90,7 mm Desviación típica: 60,7	

- **Intensidad de precipitación para la estimación de caudales**

La máxima intensidad media de precipitación, para un tiempo de concentración determinado y correspondiente a un periodo de retorno escogido, se relaciona con la intensidad de lluvia diaria ($I_d=P_d/24$) mediante una ley dimensional de intensidad-duración que es característica de cada estación. Se ha comprobado que dicha ley local es susceptible de expresarse, con suficiente aproximación, por una ley general en la que interviene un parámetro K variable según la posición geográfica y con significación física: $K= I_1/I_d$. Para la zona de estudio se puede tomar un valor de K igual a 9.

La expresión de la ley:

$$\frac{I_t}{I_d} = \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{28^{0,1} - D^{0,1}}{28^{0,1} - 1}}$$

propuesta por Témez, permite calcular los valores de la intensidad de diseño tomando D igual al tiempo de concentración adecuado al tipo de superficie a drenar, y un valor de I_d

correspondiente al periodo de retorno que sea más aconsejable en cada caso concreto de estructura de drenaje.

El valor de I_d , tomado a partir del valor puntual de precipitación máxima en 24 h de la estación que se viene considerando, debería multiplicarse por un factor reductor para obtener valores areales que respondan a la no simultaneidad de las lluvias cuando la zona a drenar es lo suficientemente grande. En nuestro caso, dado el tamaño de las superficies para las que teóricamente habrán de diseñarse las estructuras de drenaje, se puede considerar que la simultaneidad de las lluvias generadoras de escorrentía es completa, por lo que no se considera necesario emplear un factor reductor en el proceso de cálculo.

En la siguiente tabla se muestran los valores de I_d ($P_d/24$) para los diferentes periodos de retorno en la estación de Alhaurín de la Torre.

PERIODO DE RETORNO (T, en años)	10	25	50	100
I_d (mm/h)	7,7	9,8	11,5	13,0

- **Tiempos de concentración de las superficies a drenar**

El cálculo del caudal a desaguar en cada superficie concreta se realiza a partir de la máxima intensidad de lluvia previsible en el intervalo de tiempo igual al tiempo de concentración, es decir igualando D a T_c .

El tiempo de concentración se puede calcular aplicando diferentes tipos de fórmulas según las características morfológicas de la superficie a drenar.

Para superficies muy llanas, tales como las bermas mayores y plataformas, en las que el tiempo de recorrido del agua sobre la superficie será relativamente importante en relación con el de recorrido del agua concentrada en el canal, se recomienda el uso de fórmulas utilizadas para evaluar las necesidades de drenaje de terrazas agrícolas, como la californiana o de Kirpich:

$$T_c = 0,0195 \cdot L^{0,77} \cdot J^{-0,385}$$

siendo L la longitud del canal o máxima dimensión de la berma, y J la pendiente media (m/m) del recorrido del agua.

Para el resto de superficies, de topografía menos uniforme y llana, se recomienda utilizar la fórmula de Témez, que también sirve para el cálculo de obras de paso de agua a considerar en el trazado de pistas:

donde L es la longitud del cauce principal y J la pendiente media (m/m) del mismo.

- **Umbral de escorrentía**

Las pérdidas por evapotranspiración son despreciables en la predicción de escorrentías producidas por aguaceros de elevada intensidad, siendo el factor infiltración el más importante entre las posibles pérdidas. Dicho factor depende de la cobertura vegetal, de las condiciones físicas del suelo, incluido su contenido en humedad, y de la duración e intensidad de la lluvia.

Uno de los métodos más empleado para calcular las pérdidas a las que se refiere el anterior párrafo es el del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos. Dicho método asume la existencia de un umbral de escorrentía (P_0), por debajo del cual las precipitaciones no generan escorrentía. El valor de dicho parámetro es función de la capacidad de infiltración del suelo, la pendiente y la cobertura vegetal. En la tabla siguiente se muestran los valores del umbral de escorrentía para diferentes tipos de terrenos.

USOS DE LA TIERRA	PENDIENTE (%)	CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS	GRUPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	≥ 3	R	15	8	6	4
		N	17	11	8	6
	< 3	R/N	20	14	11	8
Cultivos en hilera	≥ 3	R	23	13	8	6
		N	25	16	11	8
	< 3	R/N	28	19	14	11
Cereales de invierno	≥ 3	R	29	17	10	8
		N	32	19	12	10
	< 3	R/N	34	21	14	12
Rotación de cultivos pobres	≥ 3	R	26	15	9	6
		N	28	17	11	8
	< 3	R/N	30	19	13	10
Rotación de cultivos densos	≥ 3	R	37	20	13	9
		N	42	23	14	11
	< 3	R/N	47	25	16	13
Praderas	≥ 3	Pobre	24	14	8	6
		Media	53	23	14	9
		Buena	-	33	18	13
		Muy buena	-	41	22	15
	< 3	Pobre	58	25	12	7
		Media	-	35	17	10
		Buena	-	-	22	14
		Muy buena	-	-	25	16
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal	≥ 3	Pobre	62	26	15	10
		Media	-	34	19	14
		Buena	-	42	22	15
	< 3	Pobre	-	34	19	14
		Media	-	42	22	15
		Buena	-	50	25	16
Masas forestales (bosques monte bajo, etc.)		Muy clara	40	17	8	5
		Clara	60	24	14	10
		Media	-	34	22	16
		Espesa	-	47	31	23
		Muy espesa	-	65	43	33

TIPO DE TERRENO	PENDIENTE (%)	UMBRAL DE ESCORRENTÍA (mm)
Rocas permeables	≥ 3	3
	< 3	5
Rocas impermeables	≥ 3	2
	< 3	4
Firmes granulares sin pavimento		2
Adoquinados		15
Pavimentos bituminosos o de hormigón		1

La experiencia de aplicación del método en nuestro país recomienda que estos valores se multipliquen por un coeficiente corrector, que para el sur y sureste de España vale 3. Este parámetro, refleja la variación regional de la humedad habitual en el suelo al comienzo de los aguaceros significativos, e incluye una mayoración para evitar sobrevaloraciones del caudal de referencia.

Así pues, en nuestro caso, tendremos valores de P_0 que pueden variar entre 3 y 5 para las superficies con roca desnuda según la pendiente del terreno, entre 8 y 14 para las superficies recubiertas con tierra vegetal sin vegetación y entre 17 y 47 para terrenos no alterados con vegetación de matorral o forestal de muy clara a espesa. Estos valores son los que se deben multiplicar por el valor de 3 para calcular el coeficiente de escorrentía.

El coeficiente de escorrentía C define la proporción de la intensidad de lluvia que genera escorrentía superficial. Este coeficiente depende de la razón entre la precipitación diaria máxima P_d , correspondiente al periodo de retorno, y el umbral de escorrentía P_0 a partir del cual se inicia ésta. El valor de dicho coeficiente se determina a través de la siguiente fórmula:

- **Cálculo del caudal**

El caudal a desaguar por cada obra de drenaje puede calcularse mediante la siguiente fórmula:

donde:

Q = Caudal a desaguar.

A = Área de la cuenca.

I_t = Intensidad de lluvia en mm/h.

C = Coeficiente de escorrentía.

K = Coeficiente dependiente de las unidades en las que se exprese el caudal y el área de la cuenca. Este coeficiente incluye un aumento del 20 % en el caudal para tener en cuenta el efecto de las puntas de precipitación.

		ÁREA DE LA CUENCA O SUPERFICIE APORTADORA.		
		km ²	ha	m ²
CAUDAL	m ³ /s	3	300	3.000.000
	l/s	0,03	0,3	3.000

3.2.2.- Dimensionado de los canales

Los canales para el drenaje serán en general de secciones trapezoidales o rectangulares de base ancha, o parabólicos, en función de las dificultades constructivas que por su sección y por las características del terreno a excavar se presenten.

Como es sabido, para el cálculo de las dimensiones habrá de jugarse con la ecuación de continuidad y la de la velocidad máxima admisible:

$Q = S \cdot v$, siendo Q el caudal, S la sección y v la velocidad.

$v = i^{1/2} \cdot R^{2/3} / n$ que ha de ser menor que la velocidad crítica o máxima admisible para el tipo de material que constituirá el cajero, siendo i la pendiente longitudinal, R el radio hidráulico y n el coeficiente de rugosidad de Manning.

Como ya se ha comentado parece recomendable utilizar revestimientos de piedra suelta, los cuales admiten velocidades entre 1,8 y 2,5 m/s según el tamaño.

3.2.3.- Algunas recomendaciones de diseño de las estructuras de drenaje

Para terminar, se darán algunas recomendaciones finales relativas al diseño y trazado de las estructuras de drenaje y de control de la erosión.

Los drenajes instalados en bermas deben tener continuidad con los drenajes de los accesos a las mismas. Como ya se ha dicho, los drenajes de plataformas, que recogerán la escorrentía de las mismas así como los caudales transportados por las cunetas de acceso a

los frentes que les lleguen pueden discurrir con cualquier trazado que se considere conveniente.

Para salvar el desnivel de una plataforma a otra o a un nivel de fondo de cantera se hará necesario construir bajantes. Estas pueden estar talladas en puntos donde la roca sea más competente, lo que proporcionaría un aspecto natural, o revestidas de hormigón. En la base de las bajantes deben construirse disipadores de energía con lechos de piedra gruesa. Estos pueden ser objeto de cálculo o, por el contrario, pueden ser contruidos de forma intuitiva siempre que, tendiendo a la sobredimensión, se considere innecesario, dado que los materiales a emplear, al igual que los revestimientos de los canales, se pueden obtener in situ.

También puede ser conveniente intercalar entre estos drenajes y los drenajes principales trampas de sedimentos, que sean funcionales hasta que se alcance una suficiente cobertura vegetal en la zona.