

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-Managua

A la Libertad por la Universidad !!



INGENIERÍA GEOLÓGICA II

Estructuras de tierras

Dr. Tupak Obando R., Geólogo
Doctorado en Geología y Gestión Ambiental
Celular: 84402511
Website: <http://blogs.monografias.com/>

Managua, 2010

CONTENIDO

1. Introducción
2. Metodología de diseño
3. Materiales
4. Puesta en obra y control
5. Terraplenes sobre suelos blandos
6. Terraplenes a media ladera

Introducción

Las obras de infraestructuras lineales (carreteras y ferrocarriles principalmente), pueden considerarse como la integración de una serie de «estructuras» que soportan el firme por el que han de discurrir los vehículos o medios de transporte usuarios de dichas obras. Estas son, principalmente:

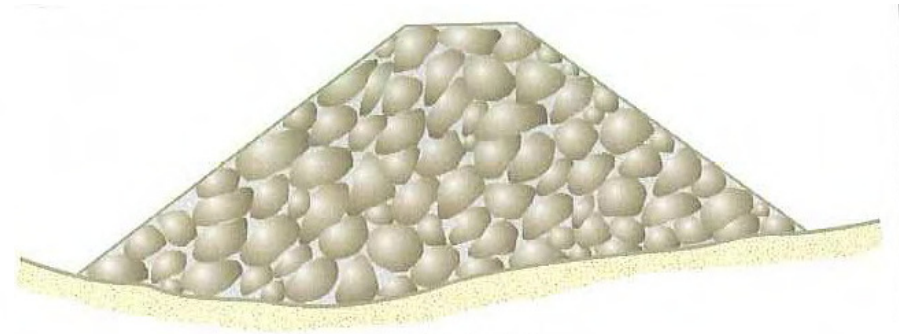
- Estructuras de tierra formadas por terraplenes, pedraplenes o escolleras, construidas a partir de materiales sueltos sometidos a compactación para conseguir un producto semicontinuo, resistente y poco deformable.
- Estructuras formadas por el propio terreno natural, como consecuencia de la excavación de desmontes, trincheras y túneles, con o sin aportación de materiales de fábrica (sostenimientos, muros, etc.).
- Estructuras de fábrica, tipo puente, viaducto, etc., en que el uso de materiales aglomerantes (como el cemento) o aglomerados (como el acero) permiten mantener la plataforma de la carretera.

Además de los terraplenes, pedraplenes y escolleras para infraestructuras lineales (Figura 12.1), las estructuras de tierra también se utilizan para otros fines, como presas de materiales sueltos, diques de abrigo o, simplemente, rellenos marítimos o terraplenes para conseguir plataformas horizontales.

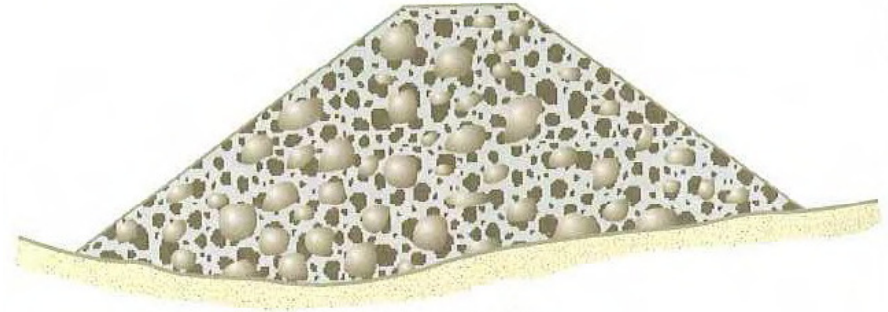
Los **terraplenes** son estructuras realizadas con materiales tipo suelo, con tamaños máximos generalmente inferiores a 100-150 mm y bajo contenido en finos; los **pedraplenes** se construyen con fragmentos rocosos, y las **escolleras** con bloques de roca que pueden superar un metro cúbico. Los dos primeros tipos se construyen mediante tongadas, es decir, capas de material que se van depositando y compactando sucesivamente.

Para el diseño de las **estructuras de tierra** han de considerarse varios aspectos:

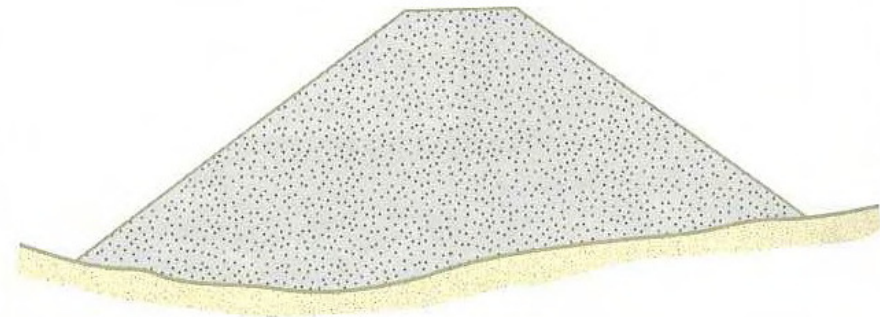
- Es necesario un buen conocimiento geotécnico de los materiales que formarán la estructura.
- Se deben tener en cuenta no sólo las propiedades de los materiales locales sino las circunstancias climáticas, hidrológicas, topográficas, etc., que rodean cada diseño y ejecución, no recurriendo a diseños estándares ni olvidando la topografía en que se inserta la estructura de tierra.
- En cualquier país, aunque en gran parte de su territorio el agua sea escasa, es habitual que se produzcan periódicamente (cada 5 a 10 años) importantes aportaciones de agua en forma de avenidas, inundaciones, etc., que saturan las estructuras de tierra y el terreno sobre el que se apoyan. Es frecuente pasar de unas condiciones de estabilidad en seco a otras de suelos saturados con presiones intersticiales, que disminuyen el coeficiente de seguridad frente al deslizamiento fácilmente en 0,3-0,5 unidades. Así, si el terreno natural sobre el que podría apoyarse un terraplén se considera «infinito» e inclinado
- Los procesos erosivos pueden cambiar las condiciones resistentes de las estructuras de tierra a medio y largo plazo.



ESCOLLERA



PEDRAPLÉN

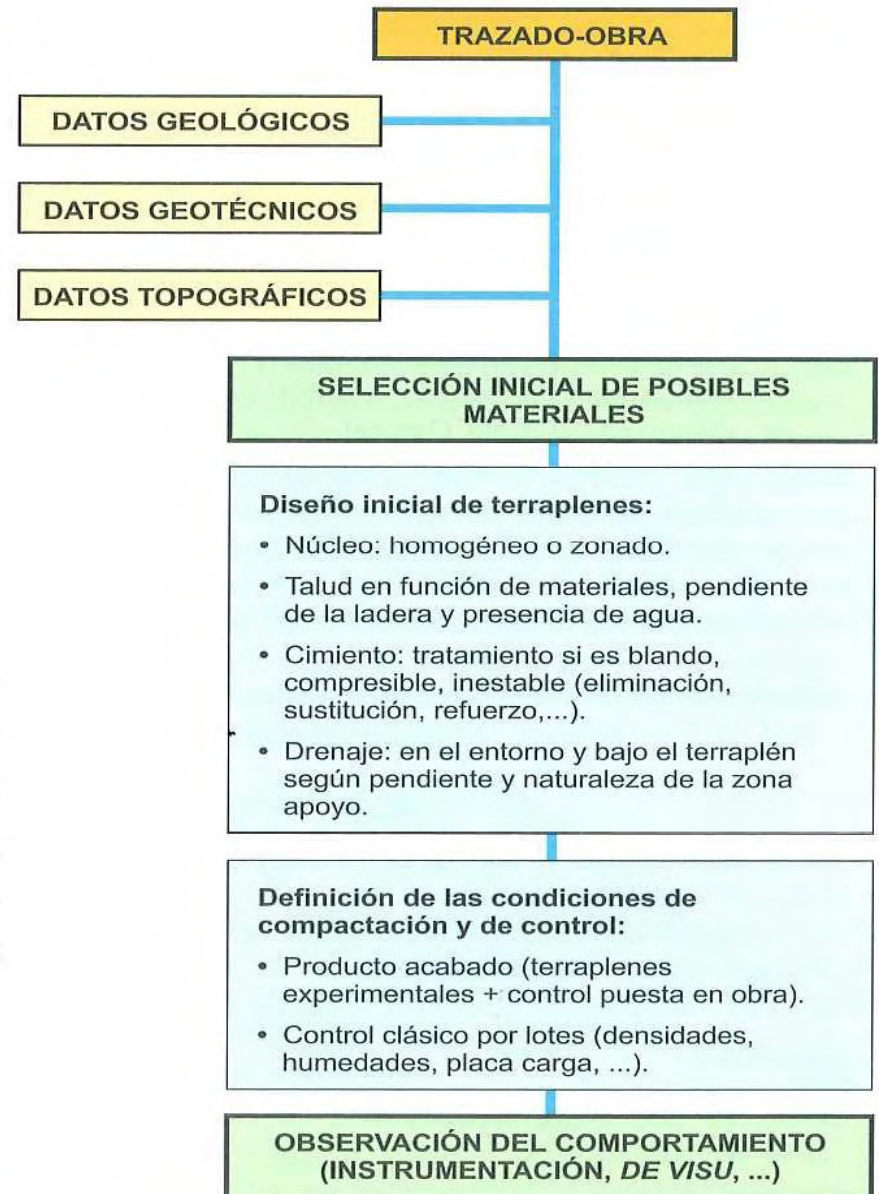


TERRAPLÉN

- Debe asegurarse la estabilidad frente a la rotura del propio terraplén, así como del conjunto terraplén-terreno de apoyo.
- Deben tenerse en cuenta las deformaciones de la estructura de tierra, tanto las de su propia masa como las que induce en el terreno de cimentación.

Metodología de diseño

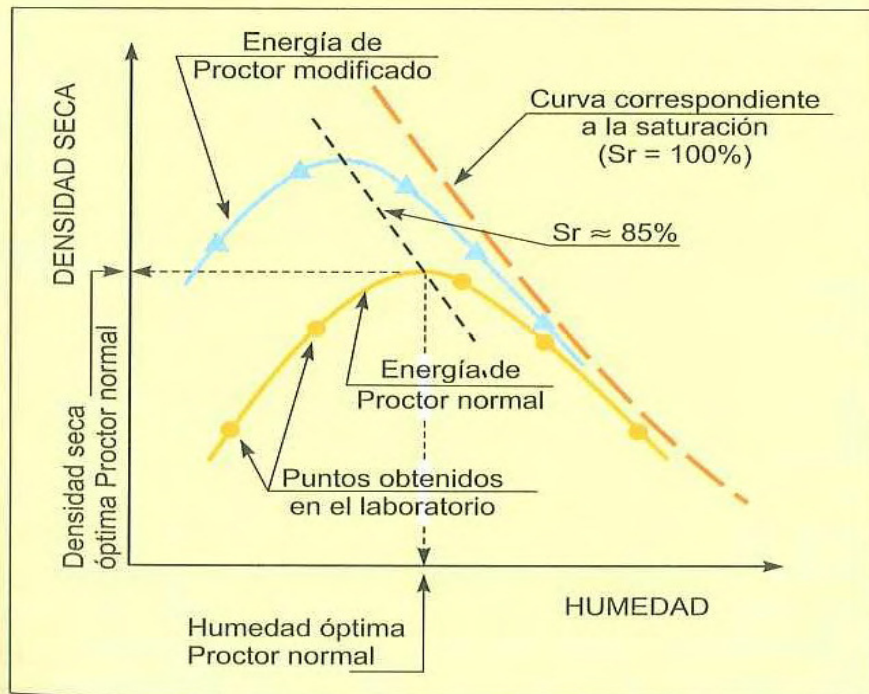
- Conocer los tipos de materiales disponibles en la zona, su situación, volúmenes, etc., para lo que se requiere una adecuada información geológica, geotécnica y topográfica del área de trabajo.
- Realizar un diseño ajustándose, en lo posible, a los materiales disponibles y a las exigencias de los pliegos de prescripciones técnicas. Esto puede llevar a que algunos materiales no sean aceptables si se utiliza, por ejemplo, el Pliego
- Los taludes de estos terraplenes no siempre pueden ser los habituales 1,5(H):1(V) (H: horizontal; V: vertical), inclinación generalmente utilizada con materiales de calidad, salvo que se disponga de materiales adecuados para estos valores. En la Figura 12.5 se muestran los



Ensayos de materiales

Ensayo Proctor normal

Este ensayo se utiliza para determinar la densidad seca máxima de un suelo y la humedad óptima para la cual se alcanza esta densidad. Se emplea un molde de un litro que se llena con tres capas del material a ensayar, y se compacta golpeando un número determinado de veces con una maza que aplica siempre la misma energía. Para realizar el ensayo se preparan varias muestras que, después de desecarlas, se humedecen con diferente contenido en humedad. Tras el ensayo se calcula la densidad seca de cada muestra; con cinco o seis determinaciones



Curvas obtenidas en ensayos de compactación con energía constante.

Ensayo Proctor modificado

Este ensayo es semejante al anterior, pero se emplea una energía de compactación más alta, y solo se ensaya el material de granulometría inferior a 20 mm. El resultado es similar al Proctor normal, aunque se obtiene mayor densidad seca y menor humedad. En el caso de suelos arcillosos resulta más adecuado utilizar otro ensayo de compactación, el **Harvard miniatura**, con otra energía y tipo de maza (que aplica la energía por presión y no por impacto).

Ensayo CBR

El ensayo CBR (*California Bearing Ratio*) se utiliza para evaluar la capacidad portante de suelos en terraplenes, explanadas y capas de base o subbase en firmes. El ensayo consiste en compactar las muestras en moldes normalizados, sumergir en agua las probetas y realizar un punzamiento sobre la muestra con un pistón normalizado. Los resultados se representan en curvas de densidad seca-índice CBR. Este índice indica el porcentaje de presión ejercida por el pistón sobre el suelo para una penetración determinada con relación a la presión correspondiente a la misma penetración en una muestra tipo.

Ensayo de placa de carga

En el ensayo de placa de carga se da una presión inicial de unos 20 kPa y después se aplican dos ciclos de carga y descarga (hasta una presión del orden de 300 kPa), deduciendo el módulo de deformación del segundo ciclo E_2 y comparándolo con el del primer ciclo, E_1 . Normalmente se exige un valor mínimo de E_2 (30 MPa para materiales del núcleo y 45 MPa para coronación) y un valor de la relación E_2/E_1 inferior a 2.2 (para que las curvas presión-asiento estén próximas y no se produzcan deformaciones plásticas no recuperables al aplicar sucesivos esfuerzos sobre la tongada).

Ensayo de la «huella»

El ensayo de la «huella» se realiza materializando una línea de 10 m de longitud sobre el terraplén y marcando un punto cada metro. Se nivelan estos puntos y se hace pasar un camión, con una carga prefijada junto a los puntos. A continuación se vuelve a nivelar y se determina la media de «asientos» obtenidos en los diez puntos. Se suele exigir que el asiento medio sea inferior a 3 mm para coronación e inferior a 5 mm para núcleos de terraplenes.

Ensayo de desgaste de Los Ángeles

La resistencia al desgaste de los áridos se determina por medio de la máquina de Los Ángeles introduciendo 5 a 10 kg de muestra de roca, con una granulometría especificada, en un tambor giratorio junto con unas bolas de

acero. Se somete la muestra a 500 o 1.000 vueltas, a una velocidad de 33 r.p.m. Una vez terminado el periodo de vueltas, el material retirado del tambor se hace pasar por el tamiz 1,6 UNE, con objeto de separar los finos producidos por el desgaste y rotura del árido. El resultado del ensayo es la diferencia entre la masa original de la muestra y la correspondiente al final del ensayo, expresada en tanto por ciento de la masa original.

Ensayo de dispersibilidad por tubificación (*pinhole test*)

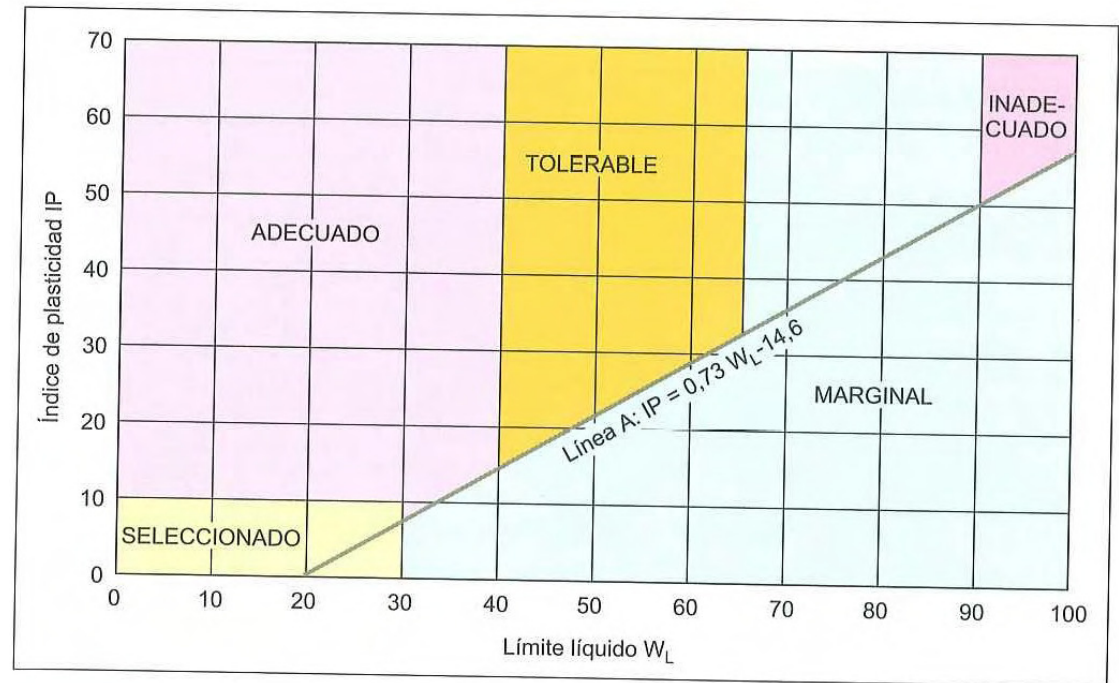
Se utiliza para identificar suelos arcillosos dispersivos o altamente erosionables. Consiste en hacer circular agua a través de un orificio practicado a lo largo de la muestra, observando el material arrastrado y el caudal de agua circulante.

Materiales

Terraplenes

La clasificación más conocida es la elaborada por **Casagrande**, que diferencia tres tipos de suelos:

- Altamente orgánicos, cuya utilización no es conveniente.
- De grano grueso (menos del 50 % pasa por el tamiz n.º 200); se dividen en gravas (G) y arenas (S).
- De grano fino (más del 50 % pasa por el tamiz n.º 200); su distinción se basa en la plasticidad.



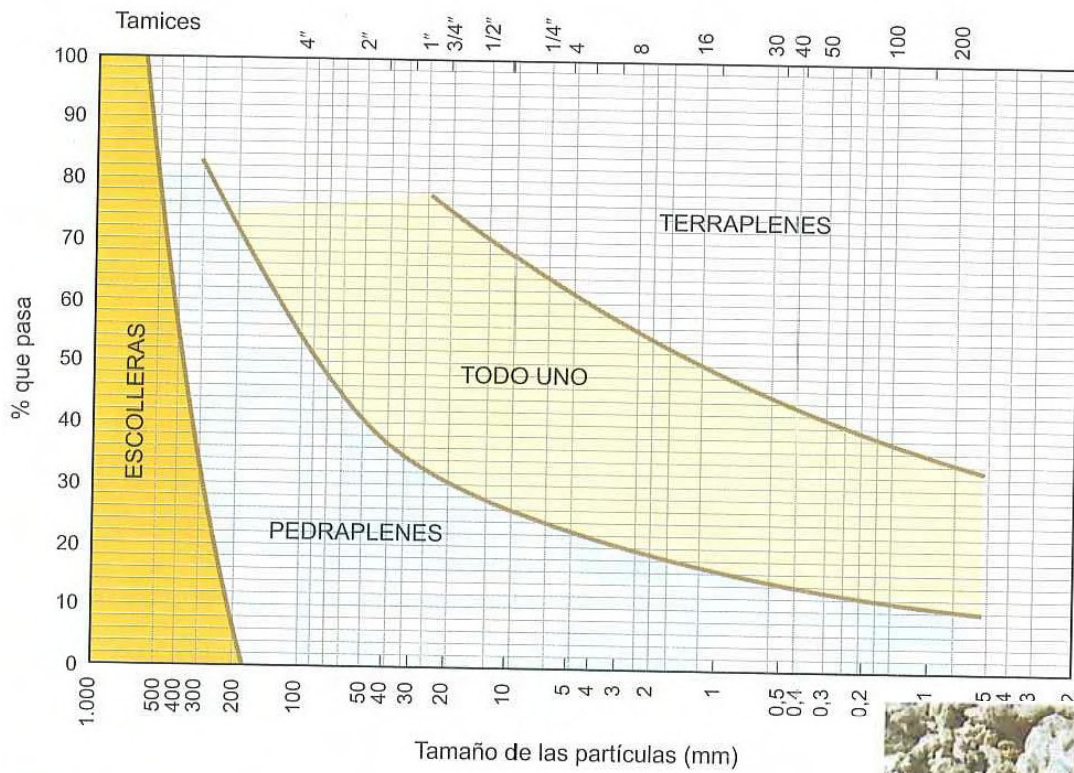
Pedraplenes y rellenos tipo «todo uno»

En los pedraplenes y rellenos «todo-uno» también pueden distinguirse varias zonas:

- a) Cimiento, de 1 m de espesor mínimo.
- b) Núcleo o parte central mayoritaria de la estructura.
- c) Espaldones o material que constituye los taludes del relleno.
- d) Transición, es la zona que corona el núcleo y constituye una transición entre el núcleo y las capas de fuera de la carretera o ferrocarril, coronación de una presa, etc.; suele tener un espesor mínimo de 1 m y suele constituirse por dos tongadas como mínimo.

Para los pedraplenes se emplean:

- Rocas adecuadas (con resistencia a compresión simple superior a 50 MPa, sin esquistosidad ni foliación).
- Rocas que necesitan estudio especial, como las foliadas (pizarras, esquistos, etc.), las porosas (areniscas, rocas volcánicas, etc.) y las alterables (argilitas, margas, etc.); en cualquier caso, su resistencia a compresión simple debe estar entre 25 y 50 MPa.



Roca de yeso (en cantera, procedente de voladura) utilizada en pedraplenes

Escolleras

Un relleno se denomina **escollera** cuando el material utilizado tiene una granulometría uniforme y sus «granos» son, en general, de gran tamaño. En las escolleras para carreteras, se exige que las rocas que las forman tengan unos tamaños comprendidos entre el tamiz UNE 500 (peso de 200 kg) y el tamiz UNE 200 (peso de 10 kg), con lo cual la curva granulométrica de una escollera para carreteras sería la recogida en la Figura 12.9; en Dapena (2000) se detallan estos aspectos.

En el caso de puertos y obras hidráulicas se exige que la granulometría sea uniforme, pero los volúmenes de cada elemento tienen que ser mucho mayores, en función de las acciones que tengan que soportar. También para carreteras, en la construcción de relle-

nos de escollera, se han utilizado tamaños mayores de los citados anteriormente.

La escollera es un material seleccionado cuya extracción debe seguir un procedimiento estricto para poder obtener los tamaños adecuados, reduciendo al máximo la manipulación del material. Por esta razón se extrae de canteras en las que se ha estudiado el tipo y colocación de explosivos para obtener el máximo rendimiento.

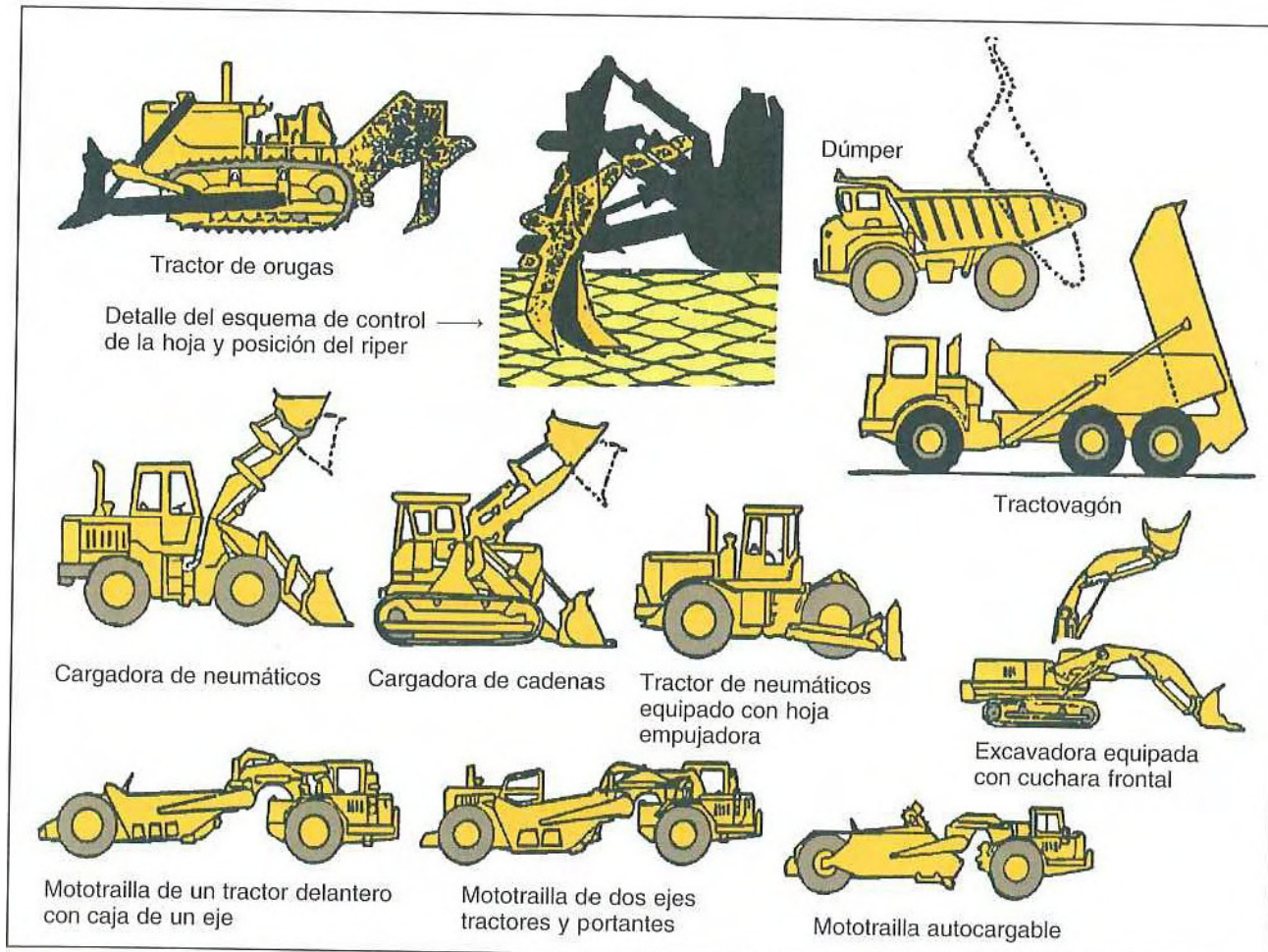
Una de las aplicaciones de la escollera es la construcción de rellenos para vías de comunicación ante la presencia de terrenos inundables y suelos blandos, en los que los bloques de escollera se «clavan» en el terreno y desplazan parcialmente a dichos suelos, reduciendo así los asentos.

Las escolleras se han utilizado principalmente para la construcción de espaldones de presas y todavía se emplean en los mantos exteriores de los diques de puertos, en los que se requieren grandes tamaños y calidad en la roca colocada. Se emplean también como elemento resistente para la estabilización de taludes y laderas inestables, colocándolas a su pie (o sustituyendo al terreno original en esta zona), aportando peso, permitiendo el drenaje y reforzando el conjunto

Puesta en obra y control

Una vez diseñada la estructura de tierra (geometría, materiales, zonación, etc.), el **proceso de puesta en obra** consiste en las siguientes etapas:

- Extracción en cantera, zona de préstamo, desmonte próximo, túneles, etc., con la maquinaria adecuada (retroexcavadora, palas, etc.).
- Transporte del material hasta la obra, sin que experimente grandes cambios ni alteraciones (con dumpers, camiones, traillas, etc.).
- Vertido y extensión del material en el sitio e que se incorpora a la estructura de tierra (con traillas, palas, etc.); en la Figura 12.12 puede verse diversos tipos de maquinaria que se utiliza en estas fases previas a la compactación.
- Compactación del material ya extendido (Figura 12.13); este último proceso pretende, aportando la energía adecuada, conseguir la mayor concentración posible de sólidos en un volumen dado, con unas condiciones de humedad que permitan la aproximación de las partículas y la constitución de una estructura semisaturada lo más estable posible. Según la granulometría del material se obtienen estructuras diferentes (floculadas, orientadas, etc.), con orientación diferente de los granos y comportamientos distintos frente al agua; las más sensibles, en general, son las que proceden de materiales limosos.



Algunos tipos de maquinas utilizadas para el movimiento de tierras (Kraemer y otros, 1989).

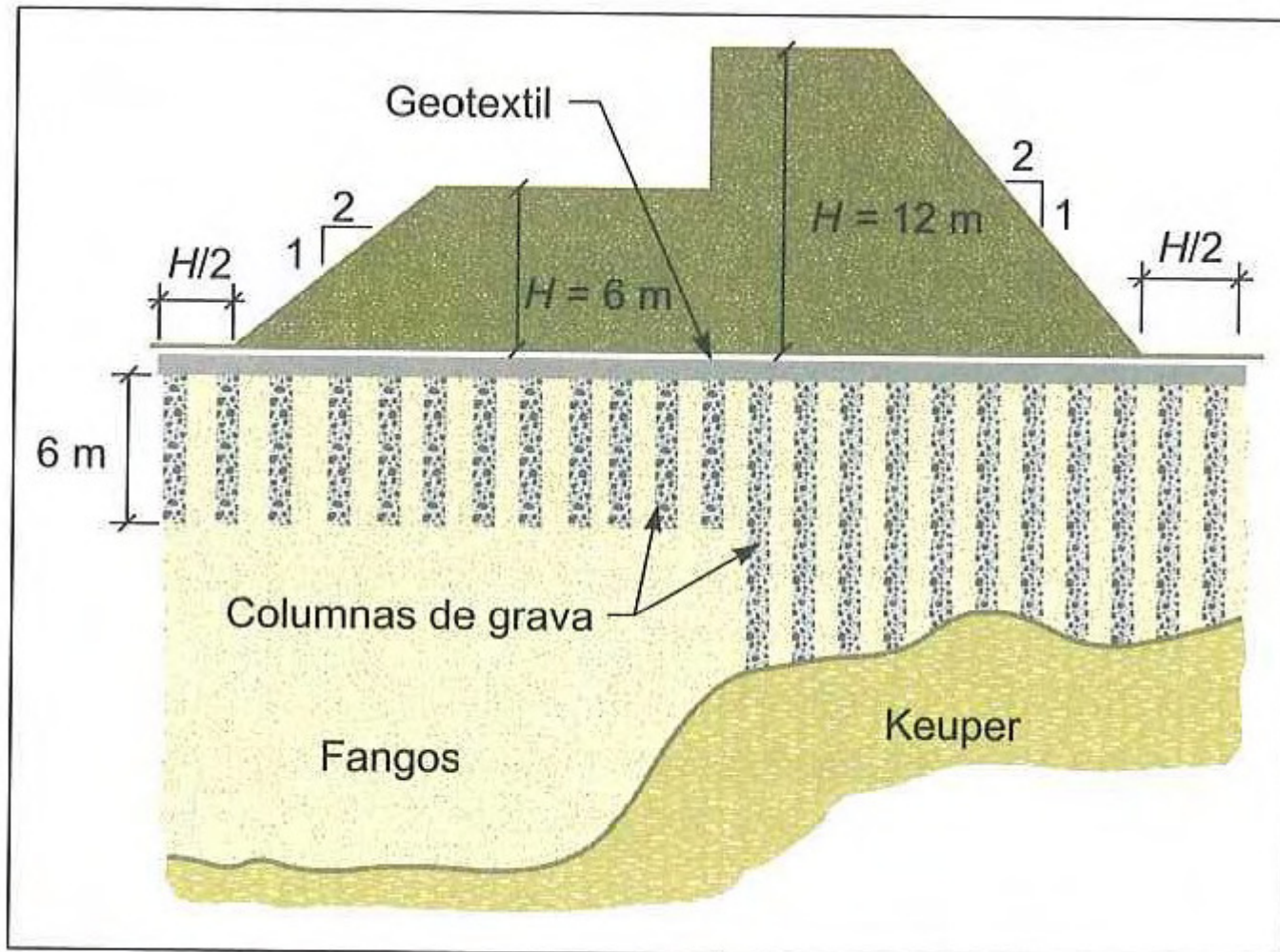


Compactación de la coronación de un terraplén con rodillo liso vibratorio.

Terraplenes sobre suelos blandos

Los suelos blandos se caracterizan por presentar:

- Baja resistencia al corte a corto plazo, que supone problemas de estabilidad en terraplenes.
- Alta deformabilidad, lo que normalmente supone deformaciones del 4 al 10 % del espesor de suelo blando afectado por el terraplén.
- Un considerable período de tiempo hasta conseguir la estabilización de las deformaciones.
- Peligro de colapso por inundación o por concentración de tensiones en partículas en caso de rellenos o suelos metaestables.



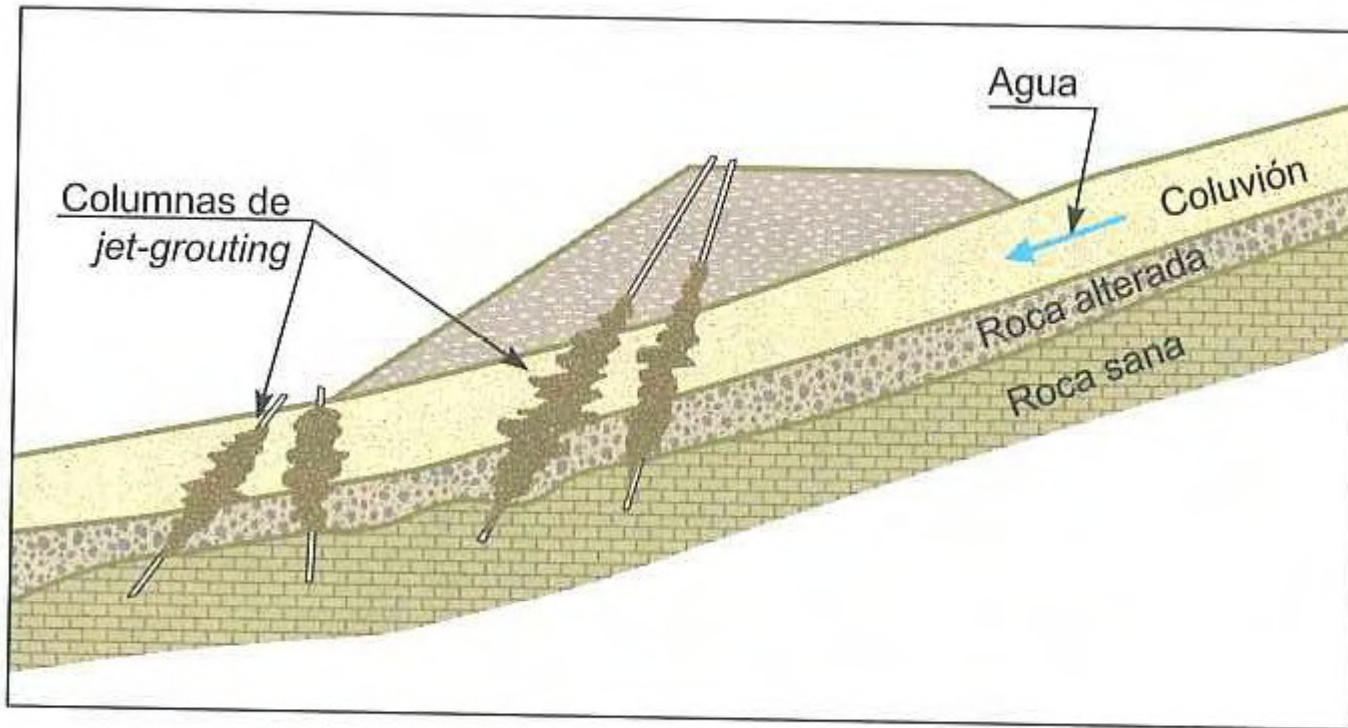
Tratamiento del terreno con columnas de grava en función de la altura del terraplén; variante de Medinaceli (Oteo y Sopeña, 1994).

Terraplenes a media ladera

- Coluviones, es decir, material alóctono, con gruesos y matriz limo-arcillosa, no compacto y relativamente permeable, con baja resistencia al corte debido a la matriz fina.
- Materiales eluviales, es decir alterados *in situ*, que pueden estar oxidados y fisurados (caso de materiales margosos y arcillosos) o muy transformados (prácticamente suelos arcillosos, por ejemplo, en laderas pizarrosas, aunque conservando la estructura).

En estos casos es necesario:

- Realizar el **drenaje de la zona de apoyo** del terraplén, de forma que se capte el agua que le viene de la parte superior de la ladera.
- Realizar la limpieza y **escalonamiento del terreno natural** de la ladera para apoyo adecuado del terraplén.
- **Reforzar el pie del terraplén**, empotrándolo en el terreno natural con un material grueso que asegure la resistencia de la ladera en esa zona.



Estabilización de un terraplén a media ladera con columnas de *jet-grouting*.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN