



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

PEDRAPLENES EN LAS VÍAS TERRESTRES

T E S I N A

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN **VÍAS TERRESTRES**

P R E S E N T A :

ING. JAVIER LÓPEZ BAUTISTA

DIRECTOR DE TESINA: **ING. PEDRO CORONA BALLESTEROS**

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX.

NOVIEMBRE 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PEDRAPLENES EN LAS VÍAS TERRESTRES

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	5
OBJETIVOS	6
JUSTIFICACIÓN	7
1. GENERALIDADES	9
Estructuras de Roca.....	9
1.1. Pedraplenes	10
1.1.1. Zonas del pedraplén.....	11
1.1.2. Subrasante y subyacente de Pedraplenes.....	12
1.3. Escolleras.....	14
2. PREPARACIÓN PARA DESPLANTE DE PEDRAPLÉN	16
2.1. Preparación de la superficie	16
2.1.1. Desmante del terreno.	16
2.1.2. Despalme.	17
2.2. Pedraplenes de poca altura.....	18
2.3. Pedraplenes sobre suelos blandos	19
2.3.1. Medidas a adoptar	20
2.4. Contrapesos a pie de falla	22
3. MATERIALES	24
3.1. Clasificación de los Materiales.....	24
3.1.1. Granulometría del suelo (Tamaño máximo 7.5 cm).....	24
3.1.2. Graduación del suelo.	25
3.1.3. Forma del suelo.	25
3.1.4. Plasticidad del suelo.....	26
3.2. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).	26
3.3. Características de los materiales para la formación de pedraplenes.....	28
4. PROYECTO DE PEDRAPLENES	34
4.1. Datos para el proyecto.....	34
4.2. Bases para el proyecto.	34
4.3. Pedraplenes sobre laderas	35
4.4. Pedraplenes de gran altura.....	35
5. CONSTRUCCIÓN DE PEDRAPLENES	38
5.1. Acondicionamiento de la humedad	38
5.1.1. Criterios sobre la humedad de compactación	38
5.2. Extendido	39

5.3. Compactación.....	41
5.3.1. Consideraciones diversas.....	41
5.4. Control de compactación de pedraplenes.....	43
5.5. Control de compactación de Enrocamiento con suelo	43
CONCLUSIONES.....	44
BIBLIOGRAFIA	45

INTRODUCCIÓN

La construcción de un pedraplén consiste en la extensión y compactación de materiales pétreos procedentes de excavaciones de roca formados por fragmentos que oscilan entre los 75 mm y los 750 mm, este se usa para la construcción de estructuras, bien de gran altura o que se ubiquen en zonas inundables.

Son resistentes a la erosión, inundaciones de larga duración y pueden tener taludes más verticales en comparación con los terraplenes (estructuras realizados con tierra), al tener mayor ángulo de rozamiento interno, lo que les hace ocupar una superficie menor de desplante y utilizar también una menor cantidad de material haciendo que el espesor de cada capa sea menor.

Debido a su composición, los pedraplenes poseen gran resistencia a la sobrecarga lo cual los hace convenientes para obras viales con alta circulación de camiones y/o maquinaria pesada, vías ferroviarias y protecciones marítimas, utilizados también para la construcción de muelles u otras obras en el borde costero.

En la actualidad se cuenta con poderosos medios de excavación, transporte y compactación que permiten realizar enormes cortes y construir pedraplenes hasta del orden de los 100 metros de altura, como si se tratara de grandes presas, por lo que, en muchos países, se tiende a reducir estas limitantes, para tratar de aprovechar más racionalmente los materiales disponibles.

Para ello, a veces será suficiente, el distribuirlos adecuadamente según las funciones que debe cumplir cada zona del pedraplén, aprovechar el enorme potencial de la maquinaria moderna y de las nuevas técnicas desarrolladas, por lo que el ingeniero deberá tener un conocimiento más profundo de los materiales, así como, de los procedimientos constructivos para garantizar la debida calidad de la obra.

Otro factor que así mismo está influyendo hoy en día, tanto en el proyecto como incluso en la técnica de construcción de carreteras, es la creciente preocupación en el mundo por la conservación del medio ambiente y la cada vez menor posibilidad de utilizar zonas para vertedero, al menos en determinadas regiones, por lo que es recomendable por ello aprovechar al máximo posible los materiales disponibles.

En este trabajo se trata de exponer a los ingenieros y futuros egresados que se interesen en el mundo de las vías terrestres, el estado actual, los conocimientos y las técnicas de proyecto, construcción y control de calidad de los pedraplenes, y que sirva de apoyo en el proyecto de caminos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL.

El objetivo primordial de esta tesina es desterrar de nuestro lenguaje ingenieril en la construcción de vías terrestres que tanto el pedraplén como el enrocamiento con suelo se ha tenido por mucho tiempo, el vocablo “*material no compactable*” es contradictorio, pues en terracerías todos los materiales son compactables el termino correspondiente a “*Acomodo de material*” no es propio en la construcción de terracerías, pues es una acción de colocar algo de modo que se ajuste o adapte a otra cosa. Se tienen antecedentes en los pedraplenes de las presas de gran altura, donde su construcción se dio de manera adecuada al utilizar maquinaria como el compactador vibratorio, luego entonces, tanto en los manuales como en las normas se deben utilizar los vocablos “*Compactación*” o “*Material compactable*”.

OBJETIVOS ESPECIFICOS.

En la construcción de pedraplenes y enrocamiento con suelo, se debe cumplir con los siguientes objetivos, en una forma concisa y clara, presentar la metodología que abarca, desde el estudio de los materiales de construcción hasta la etapa de construcción, tomando en cuenta la técnica desarrollada en nuestro país en esta materia.

En este trabajo se abordan los principios generales de diseño, construcción de pedraplenes y enrocamiento con suelo, escrito a un nivel que permita a los ingenieros, que no están suficientemente familiarizados en el tema, profundicen en este estudio, especialmente a los ingenieros no especializados en el campo de las vías terrestres, además pretenden ser una guía que nos permita proponer con criterio los materiales a emplear, la maquinaria a utilizar, así como su procedimiento constructivo.

Es de importancia el presente trabajo debido a que existen muy pocas publicaciones sobre el tema, y para el cual se pretende que sirva a los alumnos de ingeniería civil, los datos, recomendaciones para diseño de pedraplenes y enrocamiento con suelo.

JUSTIFICACIÓN

En México uno de los principales problemas a los que se enfrenta la ingeniería civil son los cambios climatológicos (ciclones, huracanes, sequías), que cada vez afectan con mayor fuerza el territorio nacional, por lo que es cada vez más frecuente encontrar deslaves por fuertes lluvias, desbordamientos de ríos, que al estar cerca de las carreteras provocan grandes daños a la estructura de la misma, necesitando soluciones rápidas y eficientes que permitan la movilidad de los habitantes en casos de emergencia.

Se construyen pedraplenes al encontrar zonas inestables tales como: zonas bajas saturadas, zonas inundables, nivel freático, etc., éstas se mejoran eliminado el material inestable y sustituyéndolo con una plantilla o pedraplén de espesor variable. Y si se requiere una capa rompedora de capilaridad, en la actualidad los pedraplenes se utilizan por la necesidad de reducir costos de construcción ya que utilizan en algunos casos los materiales productos de los cortes. Y en otros son materiales productos de bancos de préstamo.

Es por eso que este trabajo aborda generalidades, materiales, procesos constructivos, y recomendaciones, que nos ayuden a dar soluciones en los problemas que hoy tenemos utilizando racionalmente los materiales disponibles, así como, brindar una base a los futuros egresados que se interesen en el mundo de las vías terrestres y que sirva de apoyo en el proyecto de caminos.

En este trabajo se abordaron casos en obra, en los que se requirió de la utilización de pedraplenes como solución principal a la problemática encontrada.

La propuesta de este trabajo denominado “Pedraplenes en las vías terrestres” se basa en la necesidad de tener una normativa de construcción, correspondiente a los requisitos de la calidad de los materiales para pedraplenes y enrocamiento con suelo, ya que las actuales normas únicamente tratan lo relativo a terraplenes. Esta omisión ha generado fallas, sobre todo a las estructuras de enrocamiento con suelo que constituyen las terracerías de un camino.



CAPITULO

I

GENERALIDADES

1. GENERALIDADES

Estructuras de Roca

Las obras de infraestructura lineales (carreteras y ferrocarriles principalmente), pueden considerarse como la integración de una serie de (estructura) que soportan el pavimento por el que han de transitar los vehículos, y usuarios de dichas obras.

Estas son, principalmente:

- Estructuras formadas por terraplenes, pedraplenes o enrocamiento con suelo, construidos a partir de materiales sometidos a compactación para conseguir un producto, resistente y poco deformable.
- Estructuras formadas por el propio terreno natural como consecuencia de la excavación de cortes, terraplenes y túneles, con o sin aportación de materiales elaborados (muros).
- Estructuras elaboradas, tipo puente, viaducto, etc., en que el uso de materiales como el concreto o como el acero permiten mantener la plataforma de la carretera.

Además de los terraplenes, pedraplenes y enrocamiento con suelo para infraestructura carretera o de ferrocarril (Figura 1.1), las estructuras de terracería también se utilizan para otros fines, como presas de materiales sueltos, diques de protección, estructuras marítimas o terraplenes para conseguir plataformas horizontales.

Los pedraplenes son estructuras realizadas con materiales procedentes de cortes o bancos, con tamaños máximos generalmente inferiores a 75 mm y bajo contenido en finos; los pedraplenes se construyen con fragmentos rocosos y el enrocamiento con suelo con materiales que son la combinación de ambos.



Figura 1.1 Tres tipos de estructuras de terracería

Los dos primeros tipos se construyen mediante capas de material que se van depositando y compactando sucesivamente.

En el presente trabajo de investigación se abordarán los temas relacionados a estructuras de roca, como:

Clasificación de estructuras de roca y roca con suelo

Pedraplenes: Está formado por fragmentos de roca de gran tamaño producto de corte o de banco que oscilan entre los 75 mm y los 750 mm. Consiste en la extensión y compactación de materiales pétreos procedentes de excavaciones de roca mediante un tractor de orugas y posteriormente si se requiere con compactador vibratorio. Se usa para la construcción de estructuras, bien de gran altura o en zonas inundables. (plantillas de cimentación, por ejemplo) o hidráulicas (mantos de presas), colocados de forma ordenada o aleatoriamente funcionando como protección frente a la erosión causada por el oleaje.

Enrocamiento con suelo: Son estructuras que se construyen con material de granulometría intermedia entre la de terraplén y la de pedraplén, producto del corte, el cual se extiende y compacta con el fin de obtener el nivel de la superficie que indique el proyecto.

1.1. Pedraplenes

Son estructuras construidas con fragmentos de roca chicos y medianos de roca producto de los cortes o de banco de préstamo. Consecuentemente, se disponen cuando en la traza existe una abundancia de cortes de roca de buena calidad para que la excavación sea económica y no sea necesario triturar la roca y cribarla hasta conseguir la granulometría del proyecto (Figura 1.2).

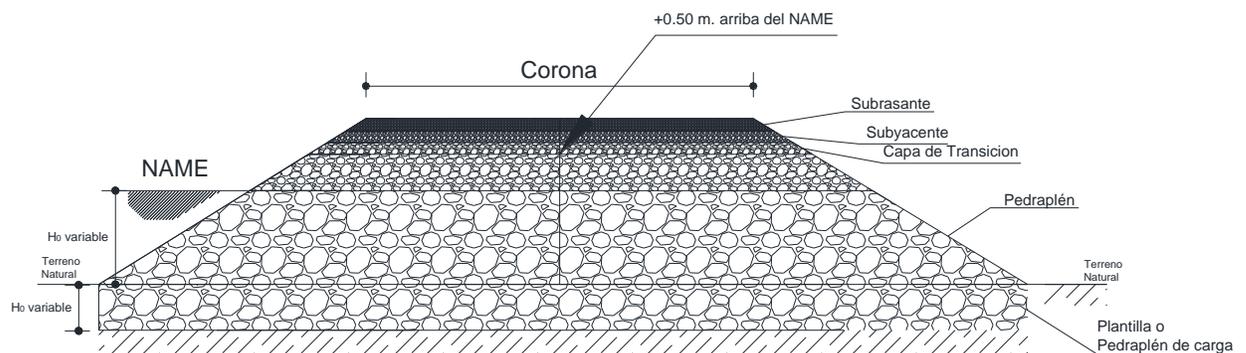


Figura 1.2 Sección típica de Pedraplén

Los pedraplenes tienen además otras ventajas:

- Los taludes pueden ser más verticales al tener mayor ángulo de rozamiento interno. Esto reduce la superficie ocupada y el volumen de los materiales a utilizar.
- El pedraplén resiste las inundaciones prolongadas y la erosión superficial mucho mejor que los terraplenes y los enrocamiento con suelo.
- El plazo de construcción de una estructura de la misma altura es menor, con un pedraplén que, con un terraplén, dado que el espesor de capa es mayor.

En cuanto a su deformabilidad, los pedraplenes presentan características muy diferentes de los terraplenes, por lo que son difícilmente comparables. Los terraplenes sufren asentamientos mayores, pero si la compactación y la geometría del cimienta son adecuadas las deformaciones a largo plazo son menores. En los pedraplenes, las deformaciones a largo plazo se deben a reajustes internos de la posición de los fragmentos de roca o a un desplazamiento de la roca en los puntos de contacto sometidos a grandes concentraciones de tensiones por el tráfico. Por ejemplo:

Los pedraplenes se emplean preferentemente en dos situaciones: estructuras de gran altura y estructuras ubicadas en zonas inundables en su parte inferior. En este último caso, se debe construir con pedraplén al menos el tramo que puede ser afectado por el agua, más una holgura de 30 a 50 cm.

1.1.1. Zonas del pedraplén

En un pedraplén se pueden distinguir tres etapas de construcción, preparación del desplante de pedraplén, cuerpo del pedraplén o plantilla y una zona, conocida como zona de transición; pueden considerarse capas adicionales que depende de las

Características morfológicas del terreno en el que se construyen (el ejemplo más usual es la zona inundable ya sea de forma permanente u ocasional).

La zona de transición tiene un espesor del orden de 1 m y surge por la imposibilidad de construir directamente sobre el pedraplén una superficie adecuada para ser el cimienta del pavimento. En efecto un pedraplén tiene una superficie discontinua con abundantes huecos; en estos huecos es imposible encontrar un apoyo adecuado para la compactación de las capas de terracerías y pavimento, además los materiales de terracerías se introducirían en los huecos, aumentando los volúmenes consumidos.

La transición es un conjunto de capas en las que la granulometría se va cerrando, aplicando los criterios de filtro usuales en geotecnia, hasta obtener una superficie adecuada para la construcción de la subrasante y/o subyacente.

En los pedraplenes se distinguirán tres zonas constructivas:

- **Transición:** Formada por la parte superior del pedraplén, con un espesor mínimo 1 m y suele constituirse por dos capas como mínimo, a no ser que en el proyecto se indique otro valor (Figura 1.3).
- **Cuerpo del pedraplén:** conforma la parte total del pedraplén, acaparando la mayor parte de su volumen y siendo el responsable directo de su geometría; es en esta zona donde se materializan tanto el talud que asegure su estabilidad como la altura necesaria para alcanzar la cota definida del proyecto incluye la zona de inundación que generalmente es variable.
- **Preparación:** Es la parte del pedraplén situada por debajo de la superficie original del terreno natural, y que ha sido excavada durante el proceso de despalme o al hacer excavación adicional por presencia de material inadecuado. Esta capa es la superficie inferior de todas por lo que está en contacto directo con el terreno natural.

Generalmente, sus características mecánicas no tienen por qué ser muy elevadas, ya que las tensiones que llegan a ella son muy bajas al estar muy disipadas. No obstante, existen situaciones en las que es recomendable emplear materiales de buena calidad para mejorar las características resistentes del terreno, sobretodo en terraplenes altos.

1.1.2. Subrasante y subyacente de Pedraplenes

Es la capa de subrasante, en la que se asentará el pavimento. Esta cercanía a las cargas del tráfico implica que va estar sometida a fuertes sollicitaciones, por lo que el material que la constituya debe tener una gran capacidad resistente. Además, deberá tener pocos cambios volumétricos y presentar gran resistencia para soportar

las cargas de la maquinaria sobre él, lo que facilitará la correcta colocación de las capas del pavimento.

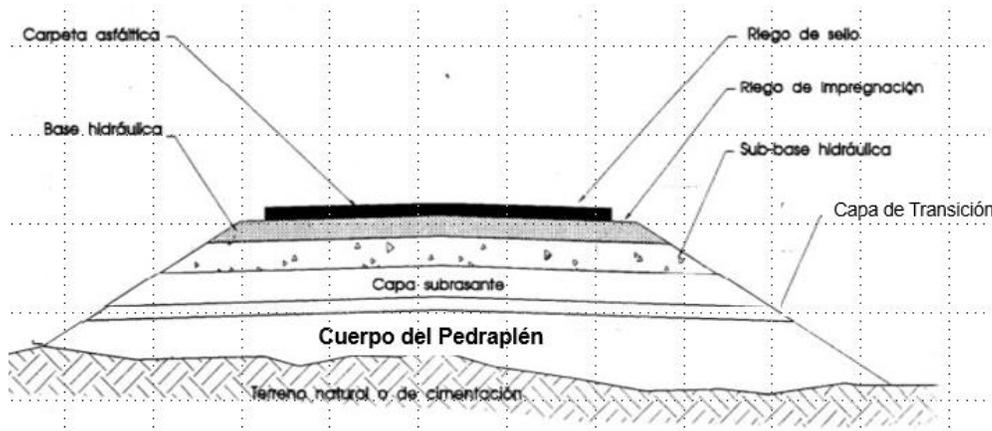


Figura 1.3 Sección donde se localiza la capa de transición en un pedraplén

1.2. Enrocamiento con suelo

Son estructuras que se construyen con material de granulometría intermedia entre la de terraplén y la de pedraplén, producto del corte, el cual se extiende y compacta con el fin de obtener el nivel de la superficie que indique el proyecto, sobre la que se asienta la subrasante y/o subyacente, la corona, la estructura, se forman bermas y bordos, así como tender taludes, entre otros.

Debido al gran desarrollo moderno de las vías terrestres los requerimientos de pendiente y curvatura provoca la necesidad de construir terraplenes de altura cada vez mayor. Como consecuencia natural de la necesidad práctica de utilizar los materiales en el sitio, es también muy común que estas estructuras hayan de ser construidas con fragmentos de roca y suelo (Figura 1.4), es importante mencionar que en estructuras de pedraplén de gran altura es recomendable la utilización de viaductos, ya que ayudan a reducción.

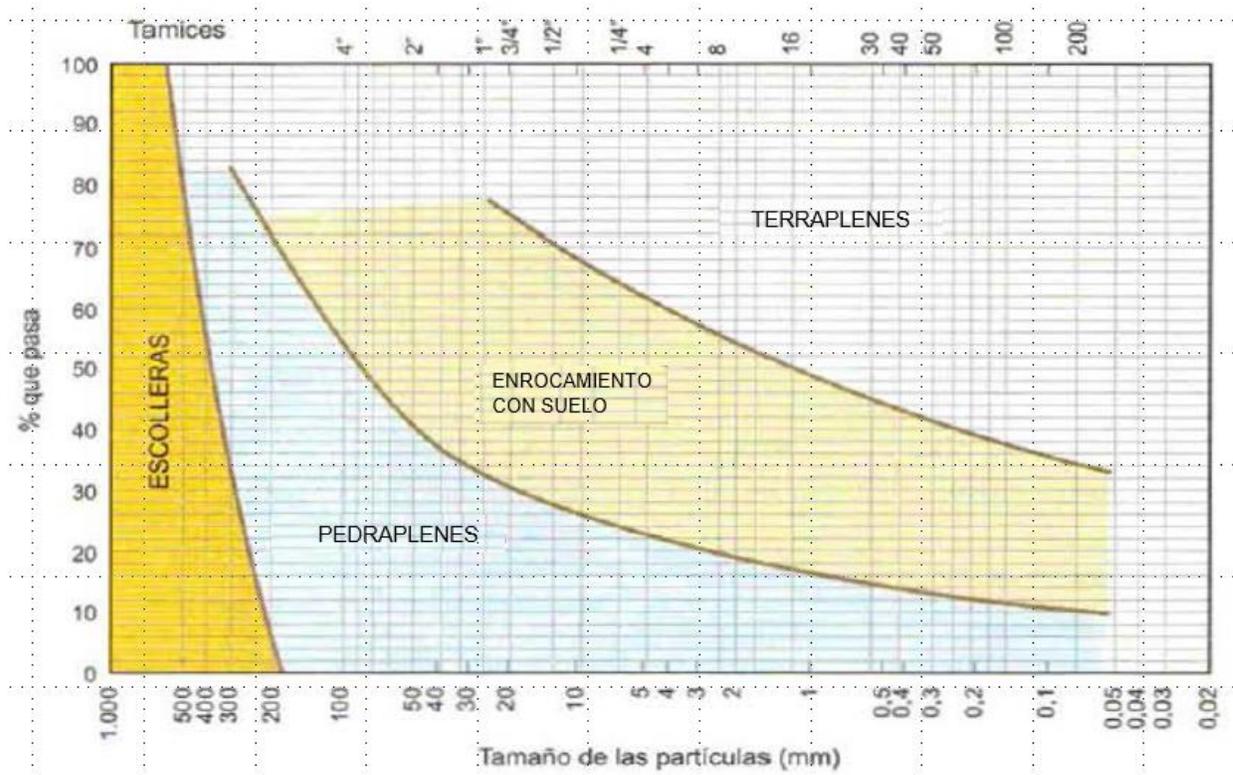


Figura 1.4 Rangos granulométricos para obras de tierras

En el enrocamiento con suelo también pueden distinguir varias zonas:

- a) Preparación de desplante para el enrocamiento con suelo
- b) Cuerpo del enrocamiento con suelo incluyendo una holgura de 1.5 a 2.0 metros.
- c) Transición, es la zona superpuesta al cuerpo y constituye una transición entre el cuerpo y las capas superiores de la carretera o ferrocarril, coronación de una presa. etc.; suele tener un espesor mínimo de 1 m y suele constituirse por dos capas como mínimo.

El espesor de capa que suele emplearse es variable y depende del tipo de roca a utilizar, del tamaño máximo que se obtiene en cantera y de la maquinaria disponible.

1.3. Escolleras

Un relleno se denomina escollera cuando el material utilizado tiene una forma y tamaño uniforme. En las escolleras para carreteras, se exige que las rocas que las forman tengan unos tamaños comprendidos entre 200 (mm) y 1000 (mm), con lo cual la curva granulométrica de una escollera para carreteras sería la reportada en la Figura 1.4.

Se incluyen en este trabajo las escolleras para carreteras en virtud de que constituyen obras de protección marginal de la norma “Enrocamiento” N.CTR.PUE.1.02.001/06 correspondiente a puertos y que generalmente se confunde con pedraplenes (Figura 1.5)

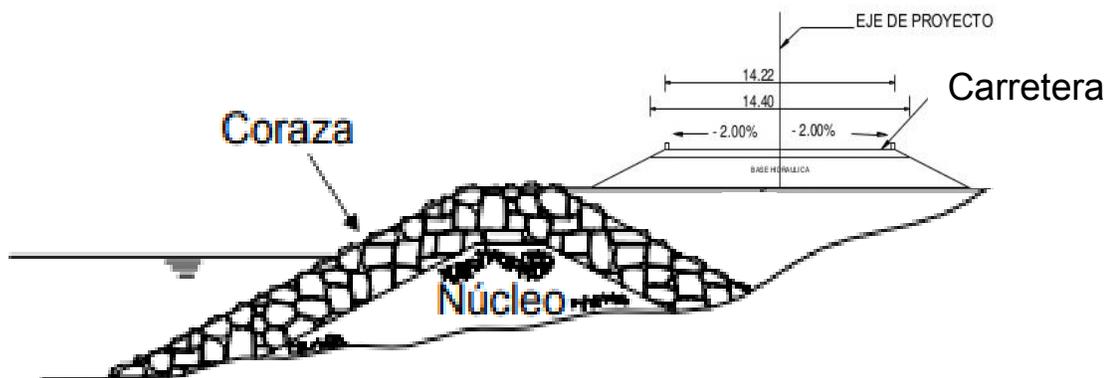
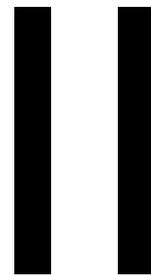


Figura 1.5 Sección típica de escollera en carreteras



CAPITULO



TERRENO DE CIMENTACIÓN

2. PREPARACIÓN PARA DESPLANTE DE PEDRAPLÉN

Como en casi todas las obras de ingeniería, el desplante del pedraplén es uno de los factores que pueden originar mayores dificultades en el comportamiento de una carretera, dificultades generalmente de más importancia de la que puedan derivarse del uso de material inadecuado o de su mala colocación.

Son muy conocidos los problemas de asentamientos diferenciales o incluso hundimientos que pueden producirse al construir pedraplenes sobre depósitos de turbas o arcillas blandas.

2.1. Preparación de la superficie

2.1.1. Desmonte del terreno.

El desmonte es la remoción de árboles, plantas, maleza, broza, maderas caídas, escombros, basura y todo aquel material que pueda influir desfavorablemente en el comportamiento del pedraplén, existente en el derecho de vía.

Su objetivo es eliminar la presencia de material vegetal, impedir daños a la obra y mejorar la visibilidad (Figura 2.1)

El desmonte comprende:

- Tala, que consiste en cortar los árboles y arbustos.
- Roza, que consiste en cortar y retirar maleza, hierba, zacate o residuos de siembras.
- Desenraice, que consiste en sacar los troncos o tocones con o sin raíces.
- Limpia y disposición final, que consiste en retirar el producto del desmonte al banco de desperdicio que indique el proyecto.



Figura 2.1. Desmonte sobre la carretera Tuxtla – Gutiérrez Cd. Cuauhtémoc

2.1.2. Despalme.

En general es la remoción del material superficial del terreno, de acuerdo con lo establecido en el proyecto, con el objeto de evitar la mezcla del material de las terracerías con materia orgánica o con depósitos de material no utilizable.

Sin embargo, puede evitarse su eliminación en pedraplenes de mediana y gran altura, cuando su espesor sea reducido, de forma que los asentamientos a que pueda dar lugar sean pequeños con relación a los totales de la estructura y siempre que su presencia no pueda implicar un riesgo eventual de deslizamiento. Además, se debe tener en cuenta que su conservación sobre terrenos blandos puede mejorar el tránsito de vehículos y las condiciones de apoyo para la colocación de las primeras capas de la estructura de terracerías (Figura 2.2).

Independientemente de que sea necesaria o no la eliminación de la materia vegetal desde el punto de vista de la calidad de la obra podrá exigirse su extracción y almacenamiento para su posterior utilización como arroje en otros lugares. A estos efectos debe tomarse en cuenta que la tierra vegetal es un producto excelente para la vegetación y debe ser tratada con todo cuidado, tanto en las obras como en los depósitos de almacenamiento.



Figura 2.2. Despalme sobre la carretera Tuxtla – Gutiérrez Cd. Cuauhtémoc

Consideraciones normativas

- El espesor del despalme será el que indique el proyecto, de acuerdo con la estratigrafía del terreno o con la existencia de estructuras artificiales.
- A menos que el proyecto indique otra cosa el material natural producto del despalme se empleará para el recubrimiento de los taludes de terraplenes (arripe), así como de los pisos, fondo de las excavaciones y taludes en los bancos al término de su explotación, o se distribuirá uniformemente en áreas donde no impida el drenaje o que no invada cuerpos de agua, para favorecer el desarrollo de vegetación, según lo indique el proyecto.
- Al menos que el proyecto indique otra cosa el material producto del despalme colocado en taludes de terraplenes, así como de los pisos, fondo de las excavaciones de los bancos al término de su explotación o en zonas donde se distribuyó uniformemente se le adicionarán semillas de pasto o se propondrá la revegetación propia de la zona adecuada al paisaje y que no impida la visibilidad según lo indique el proyecto.
- Las operaciones de despalme dejan la superficie del terreno fácilmente erosionable por los agentes atmosféricos. Por ese motivo, estos trabajos no deberán llevarse a cabo hasta el momento y en las condiciones oportunas para reducir a un mínimo el tiempo de exposición.

2.2. Pedraplenes de poca altura.

En las secciones de pedraplén de poca altura se hace más sensible la influencia del terreno natural y por ello podrá ser necesaria una excavación adicional para la construcción, de esta forma se evitarán transiciones eventuales de despalme a terraplén y se dará uniformidad al terreno de apoyo. Generalmente es recomendable disponer un espesor mínimo de 1.0 metro (Figura 2.3).



Figura 2.3. Pedraplén de poca altura sobre la carretera Federal Chiapa de Corzo

Generalmente el desplazamiento se produce por la fuerza originada por el peso del terraplén (bulbo de presión). Cuando se recurre a soluciones de este tipo hay que llevar una supervisión muy cuidadosa, completada en todo caso por la ejecución de sondeos para controlar la posible formación de bolsas (Figura 2.5)

El procedimiento, es construir una plantilla de trabajo que permita sustentación de los terraplenes. Dicha plantilla será construida como mínimo en terraplenes relativamente bajos (<3m) por un pedraplén de un metro de espesor de material o inclinación y asentamiento secundario con un enrocamiento de fragmentos de (7.5 cm a 75.0 cm), y deberá sobresalir de 30 a 50 cm del tirante de agua. La plantilla será colocada a volteo y a fondo perdido sobre la superficie blanda del terreno con la geometría y características que así indique la dependencia (incluyendo el asentamiento primario).

Para construir los pedraplenes sobre depósitos blandos hay que hacer un estudio geotécnico detallado de la estabilidad del terreno natural y asentamientos, así como llevar un control de asentamientos durante la construcción.

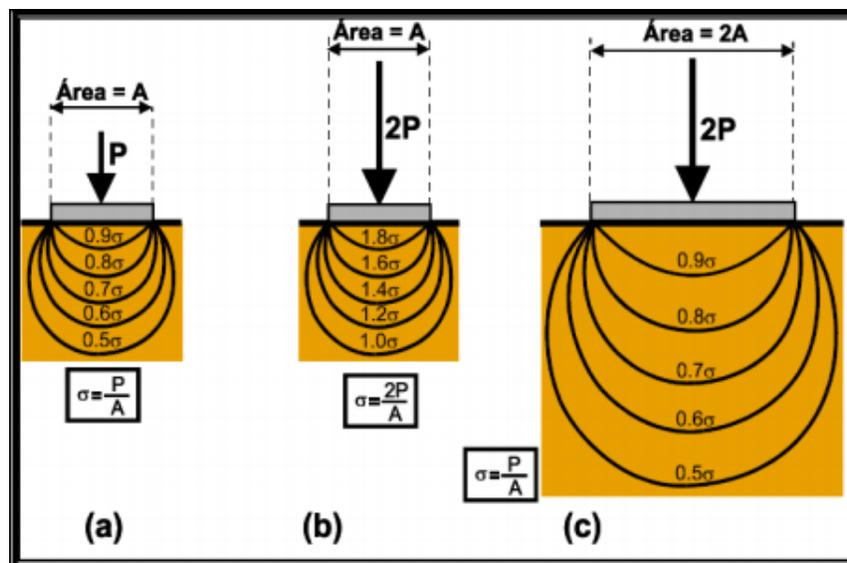


Figura 2.5. Distribución de esfuerzos en el suelo (bulbo de presión)

2.3.1. Medidas a adoptar

Cuando se construye una capa de enrocamiento directamente sobre un terreno natural blando, las presiones externas, como el tráfico, hacen que el material granular se mezcle con el subsuelo blando. Esto causa pérdida de resistencia en la capa granular y fallo prematuro de la estructura y en estas ocasiones se utiliza geotextil y georred. La función estabilizadora del geotextil puede dividirse en varios componentes:

-
- Por sujeción del terreno, el geotextil controla el movimiento lateral del material en la base de la capa granular y separación entre la capa granular y el terreno blando, evitando su mezcla, con lo que se mantiene intacta la capacidad portante y se consigue un alto grado de compactación.
 - Función filtrante del geotextil, controlando la humedad excesiva en el terreno blando, evitando la migración de finos y aumentando así el grado de consolidación.
 - Geotextiles como refuerzo, manteniendo así la separación entre capas adyacentes del terreno. Este refuerzo se da tanto en la zona de rodadura (al intentar moverse las partículas de árido adyacentes al geotextil desde la zona bajo la carga, su confinamiento aumenta la resistencia, reduciendo la carga a compresión del subsuelo), como fuera de ella (al crearse una presión hacia abajo cuyo efecto es el de una sobrecarga que aumenta la capacidad portante de la zona de rodadura).

Este componente sólo puede ser considerado parte de la función general de estabilización en las aplicaciones en las que puedan tolerarse notables deformaciones de superficie, debido a que su contribución depende de las tensiones que puedan generarse en el geotextil, tensiones que sólo pueden generarse si la superficie de la estructura puede deformarse (lo que, por ejemplo, se da en carreteras sin pavimentar y no se da en carreteras pavimentadas).

- Mecanismo de membrana, dado que las deformaciones producidas desarrollan tensiones a tracción en el plano que inducen un componente de carga perpendicular al plano del geotextil.
- Refuerzo local al distribuir las cargas.

Las propiedades a considerar son alto módulo inicial (deformación pequeña para desarrollar cargas a tracción en su plano), elongación a rotura entre el 5 y el 15 %, buena resistencia al punzonamiento y al desgarro y buena permeabilidad al agua. Sobre la plantilla se deberá colocar un geotextil no tejido de polipropileno de 350 g/m² para evitar la migración de finos hacia la parte baja del pedraplén solo cuando se requiera.



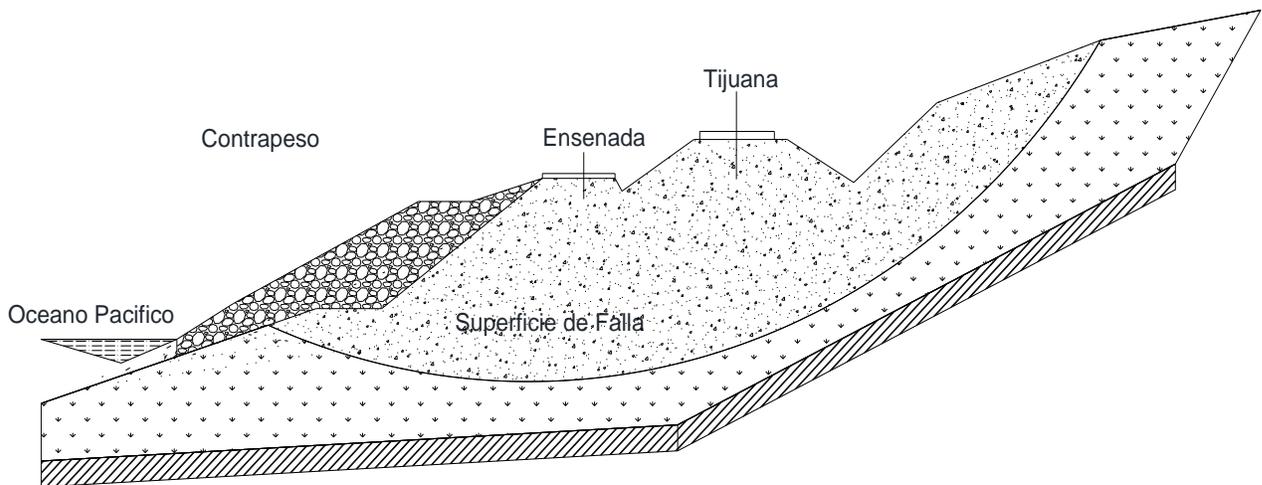
Utilización de Geotextiles en suelos blandos

2.4. Contrapesos a pie de falla

La solución busca por lo general tener dos efectos; en primer lugar, equilibrar el efecto de las fuerzas motoras en la cabeza de la falla, en forma similar a como lo hace una berma, a la que equivale en algunos aspectos: en segundo lugar: incrementar la resistencia al esfuerzo cortante del material subyacente cuando este es de naturaleza friccionante buscando el equilibrio más un factor de seguridad.

Una apropiada forma de la superficie de falla y que el terreno en la zona de colocación tenga la resistencia para soportar el peso que se le impone son probablemente las dos condiciones básicas para que pueda pensarse en el empleo de esta situación.

El método en si consiste en colocar un peso suficiente del suelo o roca en la zona apropiada a pie de falla con el fin de estabilizar y prevenir erosiones.



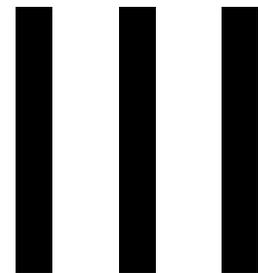
Esquema de contrapeso en un pedraplén de enrocamiento



Falla de Terraplén



CAPITULO



MATERIALES

3. MATERIALES

3.1. Clasificación de los Materiales

Al hacer el diseño de pedraplenes y enrocamiento con suelo, el ingeniero debe tener presentes una serie de propiedades de los materiales de que dispone para formar el cuerpo del pedraplén y de los que existen en su preparación para el desplante. Podrían mencionarse, por ejemplo, propiedades como la permeabilidad, resistencia al corte, intemperismo acelerado, desgaste de los ángeles, etc. Las cuales tienen un amplio rango de variación en los diferentes tipos de enrocamiento. De aquí que sea conveniente, tratar acerca de la clasificación de enrocamiento con el objeto de verificar con diferentes factores que afectan sus propiedades mecánicas, al mismo tiempo que se establezca una convención para ordenarlos en grupos con características semejantes.

De las diversas convenciones que existen para clasificar a los suelos, se han elegido aquí el sistema conocido como "Sistema Unificado de Clasificación de Suelos"(S.U.C.S), para clasificar los enrocamientos se utilizó la Tabla 1 M.MMP.1.02/03 del manual de materiales de la SCT.

Con objeto de explicar mejor el sistema unificado de clasificación de suelos antes mencionado, y que su aplicación sea de utilidad práctica para el ingeniero, es necesario describir primero los factores de los cuales dependen, principalmente, las propiedades mecánicas que a éste le interesan.

3.1.1. Granulometría del suelo (Tamaño máximo 7.5 cm)

Las propiedades mecánicas de los suelos están íntimamente relacionadas con el tamaño y la forma de las partículas que los integran.

Un suelo puede estar constituido predominantemente por partículas de tamaños muy semejantes entre sí, o bien, puede encontrarse en él una gran diversidad de tamaños, variando desde aquellos que no son visibles aun con los mejores microscopios ópticos (partículas coloidales) hasta piedras de 7.5 cm. Si se hace pasar una porción de suelo a través de una serie de mallas o tamices de aberturas conocidas, como los que indica en la tabla 1, en cada una de ellas se irán deteniendo partículas cuyo tamaño es mayor que la abertura de la malla que los retiene y menor que la inmediata superior

De esta manera puede establecerse la proporción relativa, de peso, de los diversos rangos de tamaño que constituyen el material en cuestión.

Cuando tienen dichas proporciones para un suelo dado se dice que se conoce su granulometría.

Tabla 3.1 Abertura de mallas del sistema Tyler

MALLA* NÚM.	ABERTURA	ABERTURA	MALLA NÚM.	ABERTURA	ABERTURA
	Pulg.	mm.		Pulg.	mm.
	3.0	76.2	9	0.078	1.981
	2.0	50.8	10	0.065	1.651
	1.05	26.67	14	0.046	1.168
	0.742	18.85	20	0.0328	0.833
	0.525	13.33	28	0.0232	0.589
	0.371	9.423	48	0.0116	0.295
3	0.263	6.680	60	0.0097	0.246
4	0.185	4.699	100	0.0058	0.147
6	0.131	3.327	150	0.0041	0.104
8	0.093	2.362	200	0.0029	0.074

3.1.2. Graduación del suelo.

Cuando un suelo está constituido por partículas de gran variedad de diámetros, se dice que el suelo tiene buena "graduación". La curva granulométrica es continua y suave. Si la curva presenta tramos horizontales o verticales significa, respectivamente, que falta o predomina cierto rango de tamaños y se considera un suelo de "mala graduación".

Una línea vertical significa que ese suelo está formado por partículas de tamaño muy semejante entre sí y se conoce como "suelo uniforme". Un suelo uniforme es generalmente más poroso y ligero y menos resistente que otro bien graduado.

3.1.3. Forma de las partículas.

Independientemente de su tamaño, las partículas del suelo pueden tener formas redondas, subredondas, angulares o laminares, como se muestra en la figura 3.1. La forma influye en las propiedades mecánicas; por ejemplo: un suelo compuesto en su mayor parte por granos gruesos (mayores de 4.76 mm.) de forma angular, exhibe una mejor trabazón entre sus partículas que otro de igual granulometría, pero de granos redondos. Esto se traduce en una mayor resistencia al desplazamiento relativo de las partículas, en el primer caso. Por lo que respecta a los suelos de las partículas finas, la forma es aún más importante.

Los coloides de forma laminar alargada poseen propiedades electroquímicas que son mucho más intensas que en los de forma redondeada. Esta diferencia se refleja en las propiedades plásticas de los suelos finos.

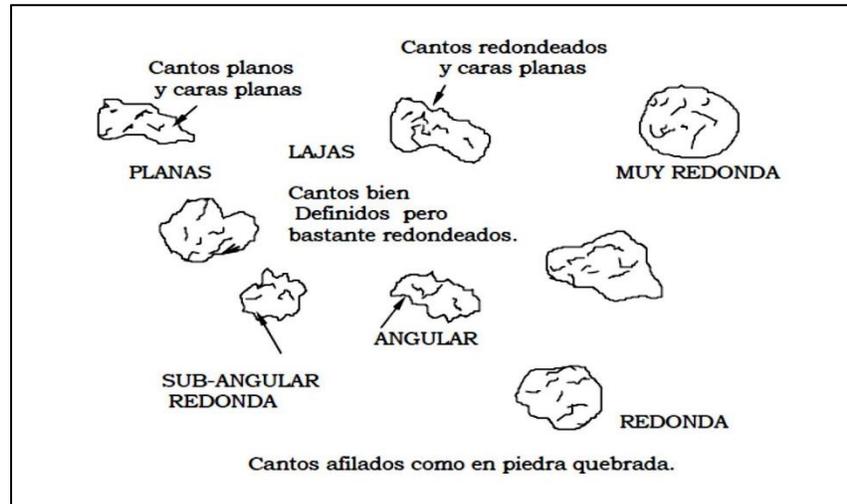


Figura 3.1 Formas de las partículas del suelo

3.1.4. Plasticidad del suelo.

Es un hecho bien conocido que, al mojar una tierra constituida por limo y arcilla, se vuelve blanda, formando lodo que, al secarse, se endurece en grado variable o se vuelve polvo.

Estos sencillos fenómenos son, en realidad de naturaleza, físico químico muy complejo, y que constituye la base de las pruebas desarrolladas por Atterberg para estudiar las variaciones de la consistencia de los suelos finos con los cambios de humedad. Atterberg introdujo los siguientes conceptos que se conocen como "límites de consistencia", o de "Atterberg".

3.2. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Este sistema, originalmente introducido por el Dr. A. Casagrande como "Sistema de clasificación de suelos para Aeropuertos", durante los años de la segunda Guerra Mundial, fue ligeramente modificado, posteriormente por el "U.S. Army Corps of Engineers" y el "U.S. Bureau of Reclamation", para adoptarlo a usos en caminos, presas de tierra y cimentaciones; actualmente se le conoce como Sistema Unificado.

Este sistema ofrece la doble ventaja de ser fácilmente adaptable al campo y al laboratorio, requiriendo poca experiencia y unas cuantas pruebas sencillas para determinar el grupo al cual pertenece un suelo dado. Por tomar en cuenta la granulometría, la graduación y las características de la plasticidad, describe a los suelos de tal manera que es fácil, con un poco de criterio, asociar a cada grupo de suelo el orden de magnitud de las características mecánicas, más importantes y, por consiguiente, su adaptabilidad a diversos usos en la construcción.

El cuadro se muestra (Tabla 3.2), en resumen, los principios sencillos en que se basa el sistema unificado de clasificación de suelos. Comienza por dividir los suelos en dos grandes categorías: suelos “gruesos” y suelos “finos”. Los primeros son aquellos constituidos por más de 50%, en peso, de partículas gruesas, considerando como tales las retenidas en la malla Núm. 200(0.074 mm).

Identificación en el campo (excluyendo las partículas mayores de 7.6 cm y basando las fracciones en pesos estimados)		Símbolo del grupo			Nombres típicos					
Suelos de grano grueso-Más de la mitad del material es retenido por el tamiz N.º 200	Gravas-más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz N.º 4	Gravas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios		GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con pocos finos o sin ellos				
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios		GP	Gravas mal graduadas, mezclas de arena y grava con pocos finos o sin ellos				
		Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)	Fracción fina no plástica (para la identificación ver el grupo ML más abajo)		GM	Gravas limosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y limo				
			Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)		GC	Gravas arcillosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla				
	Arenas-más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz N.º 4	Arenas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios		SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos				
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios		SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos				
		Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	Finos no plásticos (para identificación ver el grupo ML más abajo)		SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas				
			Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)		SC	Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas y arenas y arcillas				
		Métodos de identificación para la fracción que pasa por el tamiz N.º 40								
		Suelos de grano fino-Más de la mitad del material pasa por el tamiz N.º 200 (La abertura del tamiz N.º 200 corresponde aproximadamente al tamaño de la menor partícula apreciable a simple vista)	Limos y arcillas con límite líquido menor de 50	Resistencia en estado seco (a la disgregación)	Distancia (reacción a la agitación)	Tenacidad (consistencia)	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad		
CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas									
	OL							Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad		
Limos y arcillas con límite líquido mayor de 50	Ligera a media		Lenta	Ligera a media	MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o con diatomeas, suelos limosos				
						CH	Alta a muy alta	Nula	Alta	Arcillas inorgánicas de plasticidad elevada, arcillas grasas
							OH	Media a alta	Nula a muy lenta	Ligera a media
Suelos altamente orgánicos		Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa			Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos				

Los suelos que poseen características de dos grupos se designan con la combinación de los dos símbolos. P. ej., GW-GC, mezcla bien graduada de arena y grava. Todos los tamaños de tamices se refieren al U.S. Standard.

Tabla 3.2 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). (En Lambe y Whitman, 1981)

En los segundos., las partículas finas, limo y arcilla, constituyen más del 50%. Los suelos gruesos, también denominados “granulares”, se subdividen en “gravas” y “arenas” según que, más, o menos del 50% de las partículas gruesas sean retenidas por la malla Núm. 4.

En el laboratorio pueden precisarse estos datos mediante el análisis granulométrico, pero en el campo se requiere una poca de experiencia para apreciar a ojo los porcentajes relativos de cada uno de los componentes gruesos. Es útil saber que las partículas de 0.074 mm, son las más pequeñas que pueden distinguirse a simple vista y que el tamaño de la malla 4 es, aproximadamente, 5 mm

3.3. Características de los materiales para la formación de pedraplenes.

Para la construcción de pedraplenes, los materiales empleados deben cumplir algunas condiciones relacionadas con su naturaleza, su granulometría y la forma de las partículas.

Las rocas más adecuadas son las rocas resistentes, sin alteraciones apreciables, densas y estables frente a la acción de los agentes externos y, en particular, frente al agua. Esta estabilidad suele medirse mediante ensayos de inmersión prolongada (más de veinticuatro horas) en los que se controla la disgregación y la pérdida de masa de las partículas. También se mide con ensayos de ciclos sucesivos de humedad – sequedad, además es importante realizar las pruebas “*intemperismo acelerado*” y “*desgaste de los ángeles*”

Si el material es de menor calidad, puede resultar claramente inadecuado (que se desintegra rápidamente al estar expuesto a la intemperie o que se fragmenta demasiado durante la compactación: tobas, anhidrita, rocas solubles, etc.) o requerir un estudio especial: es el caso de las rocas blandas y evolutivas, como las margas, pizarras, areniscas blandas, aglomerados y conglomerados volcánicos, etc. (es aconsejable realizar estos estudios ya que el uso de estos materiales suele ser económicamente interesante.

Desde hace tiempo la tendencia de la utilización de materiales sueltos que se obtienen de las excavaciones para la realización de pedraplenes e incluso aunque no se trate de excavaciones obligadas son más comunes en la construcción de vías terrestres.

Se pueden construir secciones de presas de escollera con casi cualquier tipo de roca en la gama entre rocas duras en grandes bloques, que constituyen pedraplenes muy permeables, y rocas sedimentarias blandas en las que los fragmentos individuales se desmenuzan mediante la utilización de equipo pesado.

En la construcción de carreteras en especial a los pedraplenes, los asentamientos que se generan son un aspecto muy importante a considerar. El peligro de un pedraplén construido con materiales relativamente blandos se basa principalmente en su posible evolución con el tiempo y aunque al terminar la obra, la estructura pueda ser prácticamente indeformable con el tiempo el material puede irse degradando progresivamente rellenando los huecos que han quedado, dando lugar a los asentamientos en la superficie.

Consideraciones en material de enrocamiento con suelo

El material para enrocamiento con suelo será aquel que tenga condiciones granulométricas intermedias, entre las necesarias para ser considerado material para pedraplén y material para terraplén, es decir aquellos que cumplan las condiciones siguientes:

- Más del 20% de los fragmentos de roca, chicos y medianos
- El tamaño mínimo de los fragmentos chicos de roca, será de 75 mm (3")
- El tamaño máximo de los fragmentos medianos de roca será de 400 mm (16")
- El contenido de suelo, partículas menores a 75 mm (3"), será menor a 80%

La calidad de los materiales

Los materiales constituidos por fragmentos de roca alterada, deleznable, rocas sedimentarias o metamórficas poco compactas o arcillosas (lutitas, pizarras, entre otras), que, sometidos a los ensayos de *estabilidad de áridos y fragmentos de roca frente a la acción de desmoronamiento en agua*, manifiesten fisuración o desintegración no se deben utilizar.

No se deben utilizar rocas minerales solubles como el yeso y otras sales como cloruro de sodio, así mismo cuando el contenido de impurezas orgánicas sea superior al 2%.

Se deben eliminar las zonas de material inadecuado que aparezcan en el corte durante una excavación.

Consideraciones en materiales para pedraplén

Los materiales de pedraplén son fragmentos de roca, producto de los cortes o de la extracción en bancos, que se utilizan para formar el cuerpo del pedraplén, zona de transición y preparación para el desplante del cuerpo de pedraplén.

Los materiales por emplear en la construcción de pedraplenes procederán de los cortes o de la extracción en bancos y provendrá de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas resistentes, sin alteración apreciable, compacta y estable frente a la acción de los agentes externos y, en particular frente al agua.

Requisitos de materiales

- La granulometría de los materiales está comprendida entre un tamaño de 7.5 cm a 75 cm
- El contenido en peso de las partículas que pasan por la malla de 7.5 cm deberá ser menor al 10%.
- El contenido en peso de partículas que se retengan en las mallas de 20 cm en capas de transición y 75 cm en capas de pedraplén no será mayor al 10%.

(Citados de la tabla 1 Métodos De Muestreo Y Prueba De Materiales de la M-MMP-1-02/03)

Tipo	Subtipos	Identificación	Simbolo de grupo
Fragmentos de roca menores a 75	Medianos (mayores de 20 cm y menores de 75 cm)	Fragmentos medianos, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo.	Fm
		Fragmentos medianos mezclados con fragmentos grandes, predominando los medianos sobre los grandes, con menos del 10% de fragmentos chicos o de suelo.	Fmg
		Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos, predominando los medianos sobre los chicos, con menos del 10% de fragmentos grandes o de suelo.	Fmc
		Fragmentos medianos mezclados con fragmentos grandes y chicos, predominando los medianos sobre los grandes y éstos sobre los chicos, con menos del 10% de suelo.	Fmgc
		Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos y grandes, predominando los medianos sobre los chicos y éstos sobre los grandes, con menos del 10% de suelo.	Fmcg
	Chicos (mayores de 7.5 cm y menores de 20 cm)	Fragmentos chicos, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo.	Fc
		Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes, predominando los chicos, con menos del 10% de fragmentos medianos o de suelo.	Fcg
		Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos, predominando los chicos, con menos del 10% de fragmentos grandes o de suelo.	Fcm
		Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes y medianos, predominando los chicos sobre los grandes y éstos sobre los medianos, con menos del 10% de suelo.	Fcgm
		Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos y grandes, predominando los chicos sobre los medianos y éstos sobre los grandes, con menos del 10% de suelo.	Fcmg

Además de cumplir con estas condiciones y según lo indique el proyecto, el cuerpo del pedraplén y la preparación de desplante, en su caso, se construirán utilizando materiales fragmentos de roca medianos o chicos o la mezcla de ambos.

Solamente podrá contener menos de (10) por ciento; en peso de fragmentos o de suelo, aunque también se puede considerar hasta (20) por ciento de fragmentos grandes.

- Fragmentos chicos, con menos f (10) diez por ciento en peso, de otros fragmentos o de suelo.
- Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos, predominando los chicos sobre los medianos.

Mezclas:

% Fragmentos chicos (Fc)	% Fragmentos medianos (Fm)
60	40
70	30
80	20
90	10

Zona de Transición

El material para la zona de transición tendrá las características granulométricas:

Según lo indique el proyecto o así lo apruebe la dependencia, la terminación, construida en el último metro del pedraplén, el espesor superior de las capas decrecerá desde la más baja hasta la parte superior, con el objeto de establecer un paso gradual entre el cuerpo del pedraplén y la capa subyacente, teniendo como restricción que su construcción mínima sean en dos capas.

Además, entre los materiales pétreos empleados en las capas superiores de la transición, se comprobará en que dos capas se cumplan las siguientes condiciones.

$$\frac{I_{15}}{S_{85}} < 5 \quad \& \quad \frac{I_{50}}{S_{50}} < 25$$

Donde:

I_x = la abertura de la malla por el cual pasa el x por ciento en peso del material de la capa inferior y

S_x = la abertura de la malla por el cual pasa el x por ciento en peso del material de la capa superior

La densidad mínima del material de la transición será la correspondiente a una porosidad, es decir, relación entre el volumen de pesos y el volumen total de partículas sólidas más poros; del veinte (20) por ciento.

Taludes Reforzados con Georedes o Geotextiles

Se dice que se tiene un suelo reforzado cuando para mejorar el comportamiento mecánico de los suelos se incluyen, dentro de un relleno controlado, elementos fabricados por el hombre tales como capas de textiles o mallas plásticas (Figura 3.2)

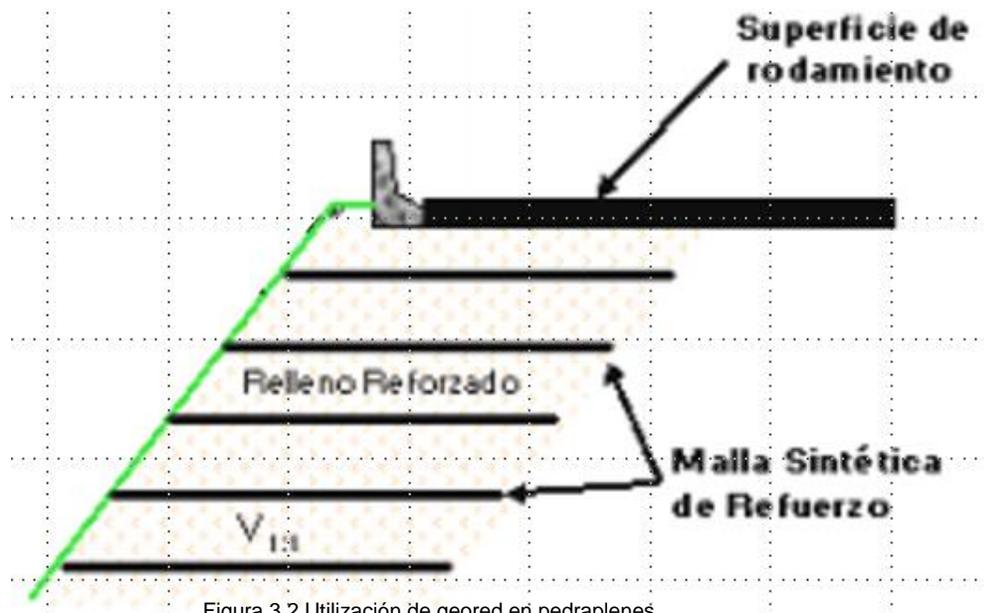


Figura 3.2 Utilización de geored en pedraplenes



CAPITULO

IV

PROYECTO DE PEDRAPLENES

4. PROYECTO DE PEDRAPLENES

El proyecto de pedraplenes está condicionado por una serie de circunstancias entre las cuales los problemas de estabilidad y deformabilidad constituyen solamente una vertiente. La altura de las estructuras viene en principio impuesta por el trazado y sus condiciones geométricas que obedecen a razones político – económicas. La altura por lo tanto queda en gran parte fijada por razones ajenas a las puramente geotécnicas. Aunque a la vista de las dificultades que en cuanto a estabilidad puedan preverse al atravesar determinadas zonas, pueda desviarse el trazado.

Los métodos que se siguen en la actualidad para diseñar pedraplenes o enrocamiento con suelo son el resultado de la experiencia, basada principalmente en la observación del comportamiento de este tipo de estructuras, su diseño era puramente empírico, en muchos casos, como lo han demostrado algunas fallas ocurridas, con un desconocimiento de las características de los materiales que intervienen en la construcción y de los diversos fenómenos a que dichos materiales estaban sujetos.

4.1. Datos para el proyecto.

Los datos necesarios para el proyecto de pedraplenes donde se describen los estudios de las cimentaciones y las fuentes de materiales de construcción estarán gobernados por la naturaleza del proyecto y su propósito inmediato; es decir, si el proyecto se va a utilizar como base de un presupuesto para determinar su costo y viabilidad, si el proyecto es para obtener datos de construcción, o si va a servir para un objeto intermedio.

La extensión de los estudios de las cimentaciones y fuentes de materiales de construcción también estará gobernada por la complejidad de la situación.

4.2. Bases para el proyecto.

El principio básico de proyecto es construir una estructura, satisfactoria y funcional al costo total mínimo. Se debe dar la debida consideración a las necesidades de mantenimiento, de manera que las economías obtenidas en el costo inicial de construcción no resulten en costos excesivos de mantenimiento. Para que el costo sea mínimo, el pedraplén debe proyectarse para la máxima utilización de los materiales más económicos de que se disponga, incluyendo los materiales que deban excavar para su desplante.

Los pedraplenes y enrocamiento con suelo deben ser seguros y estables durante las fases de la construcción y de operación.

En este punto solamente se mencionarán dos casos: los pedraplenes sobre laderas y pedraplenes de gran altura. El enrocamiento con suelo se construye obligado por la curva masa del proyecto o de material perteneciente de cortes.

4.3. Pedraplenes sobre laderas

La problemática de los pedraplenes dicta la mayoría de las veces por fallos en la cimentación asociados a un drenaje insuficiente, del mismo modo se estudiaron medidas prácticas adoptar para prevenir o corregir los daños que pudieran originarse en tales condiciones.

Lo esencial al momento de proyectar es conocer cuáles son los posibles orígenes de la inestabilidad a base de hacer un reconocimiento detallado de la ladera para, una vez definida su estructura, escoger el tratamiento

4.4. Pedraplenes de gran altura

Las grandes autopistas con grandes radios y pendientes reducidas en terrenos montañosos, exigen la construcción de terraplenes o pedraplenes de gran altura que entran en la categoría de pedraplén de grandes presas y que pueden extrapolarse con mucha experiencia adquirida en la misma. Hay sin embargo dos factores que establecen diferencias muy características.

Uno de ellos es que en el caso de terraplenes y pedraplenes no es preciso que el macizo sea impermeable lo que elimina las exigencias especiales que se imponen en los cuerpos de las presas de tierra para evitar agrietamiento y los arrastres.

Hay sin embargo otro factor más restrictivo en terraplenes y pedraplenes, consistente en que los asentamientos en la subrasante son más críticos que en las presas de tierra, ya que en el pavimento las tolerancias son pequeñas.

En los grandes pedraplenes como en las presas, también con frecuencia se recurre a la zonificación. Hay que empezar por asegurar especialmente las condiciones de cimentación y por ello, en la parte inferior de la estructura puede ser necesario colocar materiales de buenas características resistentes ya que es la sometida a mayores esfuerzos, tanto normales como cortantes. En la parte central se podrá, en general ser más tolerante, y por último en coronación se recurrirá de nuevo a materiales de buena calidad.

Como ejemplo se tiene a la presa “La Yesca” que en una altura de 208.5 Metros aproximadamente, los asentamientos máximos que ha mantenido es de 0.97 metros (Juan de Dios Alemán Velázquez, “Diseño Geotécnico de Presas de Gran Altura De Enrocamiento con Cara de concreto Aspectos Fundamentales” pg. 36.), solo el 0.5% de su altura, si trasladamos esta proporción a los pedraplenes de gran altura de una carretera (altura mayor a 15 metros) y si tomamos como ejemplo un terraplén de 30 metros de altura la deformación en la rasante será de 15 cm, **que es un valor pequeño y tolerable,** en este trabajo de diseño se describe que sus pedraplenes tipo “T” y “3C” se compactaron con un rodillo vibratorio de 12.2 toneladas agregando 250 litros de agua por cada metro cubico de material y aplicando 6 pasadas, procedimiento constructivo de compactación que se requiere en la construcción de pedraplenes de nuestro país para lograr estructuras resistentes a los efectos del agua.

En los pedraplenes importantes se deberá asegurar en todo momento su estabilidad, por los métodos más convenientes para la proyectista, tanto para asentamientos a largo plazo como para corto plazo.

Deben evitarse enrocamientos uniformes y muy angulosos, aun cuando sean de roca muy dura como los basaltos, ya que serán altamente deformables. Si no existe otra opción, será necesario emplear capas más delgadas y tamaños máximos menores que lo usual para reducir la deformabilidad de este tipo de enrocamientos.

Es importante la utilización de pedraplén de prueba ya que permite confirmar que las granulometrías especificadas son obtenibles de una manera económica, así como definir el número de pasadas óptima y las características de deformabilidad de los materiales.

Los pedraplenes también nos permiten confirmar la importancia de agregar agua para mejorar la compactación de los enrocamientos, los cuales se compactaron agregando 250 l/m³ (litros de agua / volumen del material). No así en los aluviones, los cuales no presentaron mejoría al agregárseles agua, por lo cual son finalmente compactados en seco.



Consideraciones de diseño de pedraplenes

- La altura del pedraplen se proyectará 0.5 metros por encima del tirante de agua.
- Se deberá realizar un análisis de estabilidad de taludes para determinar el Angulo de fricción del suelo, para conocer el talud a utilizar (el más común es 1.5:1).
- En pedraplenes de gran altura (mayores a 10 metros) se deberá realizar un análisis de elemento finito que permita conocer elementos como resistencia, esfuerzo cortante, consolidación para conocer las deformaciones que sufrirá a lo largo del tiempo (programa praxis).



CAPITULO

V

CONSTRUCCION DE PEDRAPLENES

5. CONSTRUCCIÓN DE PEDRAPLENES

La construcción de pedraplenes comienza por la cimentación con el desmonte, despalle y la excavación del terreno según proceda para asegurar la estabilidad del macizo, a continuación, se va a considerar la construcción del cuerpo del pedraplén en sí, desde la parte que corresponde a la excavación efectuada para la preparación de desplante de pedraplén o enrocamiento con suelo, hasta la capa subrasante. Las diversas operaciones a efectuar se agrupan en las siguientes fases acondicionamiento del contenido de humedad, extensión, compactación y control.

5.1. Acondicionamiento de la humedad

5.1.1. Criterios sobre la humedad de compactación

En este apartado se va a hacer referencia a las correcciones en el contenido de agua de terraplenes, ya que en el caso de pedraplenes típicos la función del agua y los problemas que plantea en el proceso de compactación son muy diferentes y, por ello, se tratarán más adelante al hablar de los mismos.

El acondicionamiento de la humedad del suelo tiene dos funciones. Una de ellas es conseguir una adecuada compactación del material para obtener un macizo suficientemente resistente e indeformable.

Otra, evitar que las variaciones de humedad que se produzcan después de la construcción, al provocar cambios de volumen con determinados tipos de suelos, puedan producir daños o deformaciones en la calzada (Figura 5.1)



Figura 5.1 Acondicionamiento de humedad en carretera villa victoria – San José del Rincón

5.2. Extendido

El extendido en pedraplenes los espesores normales son de 0,50 o 0,60 m. Sin embargo, el uso de maquinaria de compactación pesada, especialmente la vibratoria, permite, a veces, la utilización de capas más gruesas, incluso sobrepasando 1,0 m de espesor. Esto puede estar justificado en el caso de pedraplenes, pues así es posible triturar menos la piedra, ya que su tamaño máximo no debe exceder de los dos tercios del espesor de la capa (Figura 5.2)

El extendido de pedraplenes debe acompañarse de un riego con agua a razón de 250 litros por metro cubico



Figura 5.2 Extendido de pedraplén en Carretera Villa Victoria – San José del Rincón

De este modo, en pedraplenes de roca sana se disminuyen los asentamientos después de la construcción, al no provocar un arrastre de finos y un reblandecimiento de las aristas de la roca durante su colocación y puesta en carga. Cuando se trata de pedraplenes de tipo intermedio a terraplenes, el agua cumplirá también una función análoga al caso de tierras, facilitando la compactación y evitando el hinchamiento en suelos de tipo expansivo.

El extendido de pedraplenes debe efectuarse empleando un bulldozer pesado, siendo recomendable hacer el vertido a unos 7 u 8 m del borde de la capa y arrastrando posteriormente el material a su posición definitiva. De esta forma se rellenan los huecos con el material más fino y las vibraciones de la maquinaria de extensión contribuyen a la compactación. (Figura 5.3)



Figura 5.3 Extendido de material mediante bulldozer carretera Villa Victoria – San José del Rincón

Aunque, como hemos dicho, el tamaño máximo de las partículas generalmente admitido en pedraplenes es de dos tercios del espesor de la capa, se pueden colocar piedras aisladas de mayor tamaño en el cuerpo y cimentación, si están suficientemente separadas y convenientemente distribuidas y se rellenan los huecos que queden con material más fino para formar una masa densa y compacta.

El extendido del enrocamiento con suelo se debe acompañar de un riego con agua para que se obtenga la humedad óptima del suelo (Figura 5.4).



Figura 5.4 Extendido y acondicionamiento de humedad en carretera Villa Victoria – San José del Rincón

5.3. Compactación

5.3.1. Consideraciones diversas

Las capas extendidas, cuando se trate de materiales sensibles al agua, se dejarán con una pendiente transversal de por lo menos el 6% y se compactarán inmediatamente después de su extensión. Cuando se termine el trabajo de un día o se puedan tener precipitaciones, se dejará además alisada la superficie mediante rodillos vibratorios apropiados. Para evitar la erosión de los taludes por escurrimiento de aguas de la plataforma compactada, se tomarán además las medidas adecuadas (Figuras 5.5 y 5.6).



Figura 5.5 Compactación con pata cabra



Figura 5.6 Compactación de Pedraplén con rodillo

La compactación de las capas, se efectuará desde fuera hacia el centro, mediante un rodillo vibratorio de 12.2 toneladas como la efectuada en la presa “La Yesca” mencionada anteriormente.

Compactar una franja de por los menos 2,0 m de anchura desde el talud (Figura 5.7), en capas más delgadas y mediante una maquinaria ligera apropiada.

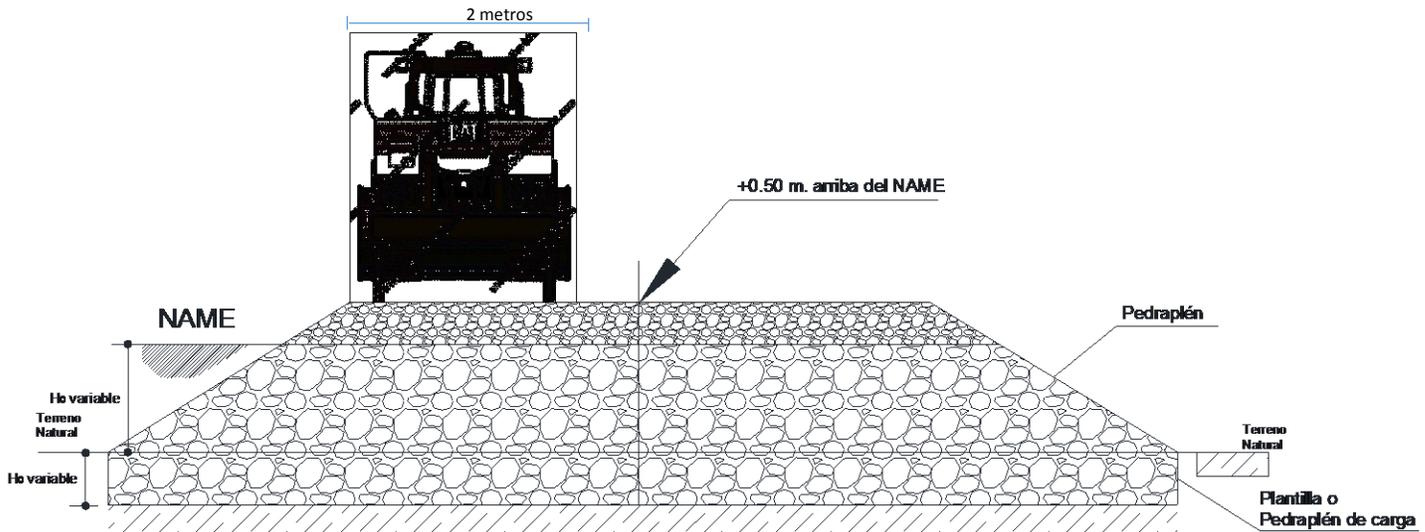


Figura 5.7 Se compactará en por lo menos 2.0 m. desde el talud.

- Dar un ancho suplementario a la estructura de 1,0 m sobre los niveles de proyecto.
- El cuerpo del pedraplén se efectúa según el perfil teórico y los taludes se compactan directamente, utilizando maquinaria apropiada.

Para definir el grado de compactación preciso se pueden seguir dos sistemas:

- Control de procedimiento. Consiste en establecer la forma en que debe efectuarse la compactación fijando, según las características del suelo y el tipo de maquinaria a emplear, el espesor de capa y el número de pasadas.

- Control de capa terminada. Con este sistema se fijan las características que debe de cumplir el material una vez colocado en obra. Para ello se utilizan diversas características, entre las cuales la más usada es la densidad *in situ* y su relación con una densidad patrón de laboratorio.

La elección de uno u otro sistema dependerá de varias condiciones. Por un lado, del tipo de material de que se trate, pues en pedraplenes y suelos que contengan gruesos, no es posible determinar la densidad *in situ* por procedimientos normales, ni compararla con ninguna densidad patrón.

Por otra parte, pueden influir factores accidentales, como las disponibilidades de personal entrenado para supervisar el procedimiento de compactación, la existencia o no de equipos de laboratorio capaces de seguir el ritmo de las obras, etc.

5.4. Control de compactación de pedraplenes

Se pueden utilizar ensayos de placa de carga, siempre que su diámetro sea superior a 4-5 veces el tamaño máximo del material del pedraplén. Lo que lleva a que este ensayo apenas sea utilizado en estas obras, sino como ensayo especial (Figura 5.8). También se pueden medir densidades *in situ* realizando grandes huecos en los que se introduce una lámina impermeable, rellenando a continuación de agua para conocer el volumen que ocupa el material extraído. Pesando éste (también se trata de un ensayo especial).



Figura 5.8 Ensayo placa de carga.

5.5. Control de compactación de Enrocamiento con suelo

En el caso de estructuras enrocamiento con suelo, el control de compactación también se realiza, principalmente, con el ensayo de la «huella». aunque es posible utilizar también densidades *in situ* y ensayos de placa de carga.

CONCLUSIONES

Como conclusión de este trabajo de investigación se tiene que, un buen diseño de los pedraplenes y/o enrocamiento con suelo debe de garantizar la estabilidad, y la seguridad de esta, contra distintos tipos de falla, como son: el deslizamiento de los taludes, los asentamientos, debido a que están ligadas con las propiedades mecánicas de los materiales que forman el cuerpo del pedraplén y la cimentación, por lo que al llevar a cabo el diseño y la construcción, el ingeniero debe conocer cuantitativamente dichas propiedades, así como sus posibles variaciones en función de los diversos factores que las afectan, para estar en condiciones de predecir su afectación través del tiempo.

Se cumplió con el objetivo principal en el sentido de desterrar de nuestro vocablo ingenieril de construcción en las vías terrestres los conceptos de "*Material no Compactable*" y "*Material Acomodado*" que tanto el pedraplén como el enrocamiento con suelo para reducir efectivamente su deformabilidad, se debe compactar, ya que se evitaren movimientos verticales y horizontales que están presentes en la construcción y que tanto daño han ocasionado a nuestro país.

Una buena información relativa a las características geotécnicas del sitio es también un elemento indispensable, en vista del gran número de factores que intervienen en el comportamiento mecánico de los distintos tipos de materiales que pueden formar el cuerpo del pedraplén.

Por otra parte, el no contar con una normativa vigente respecto a la utilización de pedraplenes y enrocamiento con suelo, hace que las obras se realicen sin los estándares de calidad necesarios, para su correcto funcionamiento teniendo cada vez más, obras en mal estado que pueden ocasionar accidentes graves a los usuarios de las vías terrestres.

BIBLIOGRAFIA

- Luis I. Gonzalez de Vallejo, Madrid (2002), Ingenieria Geologica, Ed.Prentice Hall.
- Ventura Escario, Madrid (1981), Terraplenes Y Pedraplenes Estado Actual De La Técnica, Direccion General de Carreteras.
- Juan de Dios Alemán Velásquez, Mexico (2013), Diseño Geotécnico De Presas De Gran Altura De Enrocamiento Con Cara De Concreto Aspectos Fundamentales, Al México.
- PG3 Articulo 331, Pedraplenes, (Consulta 11 Septiembre 2017) Disponible en:
http://www.carreteros.org/normativa/pg3/ordenes/circulares/326_2000/331.pdf
- Pedro Corona Ballesteros, (2015), Enrocamientos contaminados por suelo y pedraplenes para caminos: omision normativa grave, *Vías Terrestres*, Vol.38, pg. 24-25.
- Normativa IMT, (Consulta 25 Septiembre 2017), Disponible en:
<http://normas.imt.mx/busqueda-desplegable.html#CTR>