

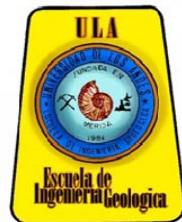


Universidad de Los Andes

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Geológica

Departamento de Geomecánica



Realizado por:

Riveros Anggi	C.I. 18.095.900
Rodríguez Mirleé	C.I. 11.960.232
Torres Freidys	C.I. 17.340.795

Prof. Norly Belandria

Mérida, Agosto de 2010

Terraplenes

INTRODUCCIÓN

La tierra es un material utilizado por el hombre desde tiempos muy antiguos. Lo han empleado básicamente para la construcción de viviendas.

En la actualidad, la mayor parte de las obras de ingeniería involucran realizar obras de tierras, como por ejemplo, los terraplenes, los recubrimientos, rellenos, canales, taludes, cimentaciones y cualquier tipo de construcción civil.

En el presente trabajo se estará desarrollando el tema de los terraplenes, como una de las obras más importantes que incluye movimientos de tierra.

Terraplenes

Los **Terraplenes** forman parte de uno de los dos grandes grupos de las obras de tierra, al igual que los **Desmontes** (ver Fig.1). Son también denominados Rellenos y generalmente son obras de ingeniería que consisten en grandes acumulaciones de tierra que se compactan y estabilizan para servir de soporte a cualquier obra de ingeniería. Etimológicamente la palabra proviene del francés “terre-plein” (literalmente: tierra + lleno).

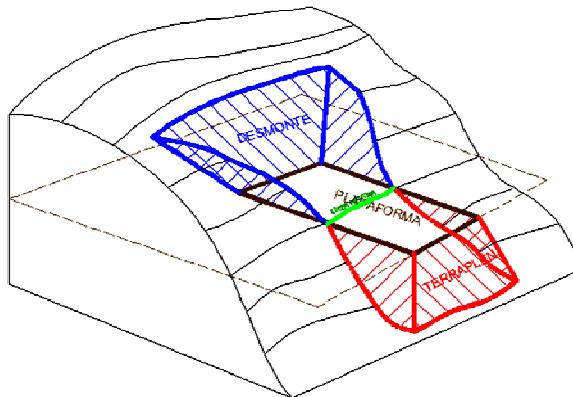


Fig. 1. Desmontes y Terraplenes, subdivisiones de las obras de tierra.

[Disponible Online: <http://www.uclm.es/area/egi/AULA DES>]

Los terraplenes típicos incluyen caminos, presas, diques, canales, y bermas.

Por otro lado, se tienen tres tipos de rellenos:

- Terraplén: Son estructuras realizadas con materiales tipo suelo, con tamaños máximos generalmente inferiores a 100 – 150 mm y poseen bajo contenido en finos. Se construyen mediante tongadas (capas compactadas).
 - Pedraplén: Son estructuras construidas con fragmentos rocosos. Se construyen mediante tongadas (capas compactadas).
 - Escollera: Estructuras construidas con bloques de rocas que pueden alcanzar hasta 1 m³.

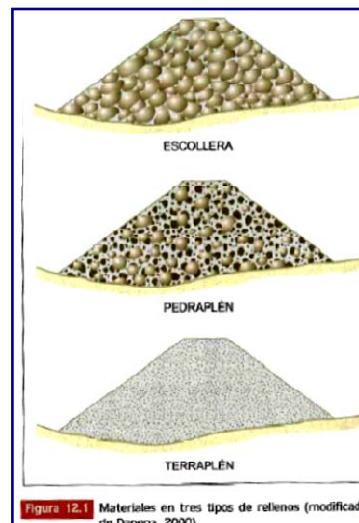


Fig. 2. Tres tipos de Rellenos.
[BAÑON, L., BEVIÁ, JF. (2000)]

Terraplenes

ZONAS DISTINGUIBLES EN UN TERRAPLÉN:

- **El Cimiento o Base:** Parte del terraplén situada por debajo de la superficie original del terreno, que ha sido variada por el retiro de material inadecuado. Esta capa es la más inferior de todas, por lo que está en contacto directo con el terreno natural. Sus características mecánicas no son muy elevadas, debido a que las tensiones en este punto son bajas y disipadas. Su espesor será como mínimo de un metro (1 m).
- **Núcleo:** Es la parte del relleno comprendida entre el cimiento y la corona. Conforma la parte central del terraplén, acaparando la mayor parte de su volumen y siendo el responsable directo de su geometría.
- **Corona:** Es la capa de terminación del terraplén, en la que se asentará el pavimento, por lo que estará sometida a grandes esfuerzos. Su espesor será de aproximadamente 50 cm, salvo que los planos del proyecto o las especificaciones especiales indiquen un espesor diferente. Debe ser la capa más estable posible para el movimiento de la maquinaria sobre la misma.
- **Espaldón:** Es la parte exterior del relleno tipo terraplén que, ocasionalmente formará parte de los taludes del mismo. No se considerarán parte del espaldón los revestimientos sin misión estructural en el relleno como plantaciones, cubierta de tierra vegetal, protecciones antierosión, etc.

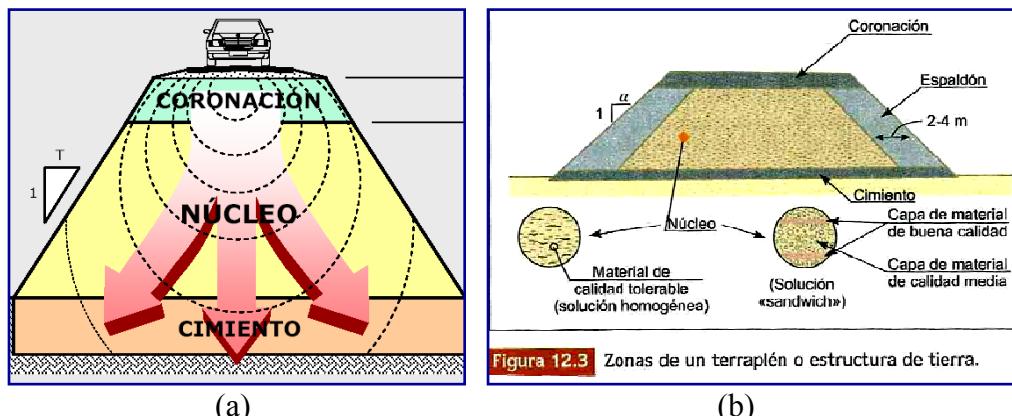


Fig. 3. Zonas distinguibles en un Terraplén.

Fuente: (a) BAÑON, L., BEVIÁ, JF. (2000); (b) GONZÁLEZ, L. (2002)

Terraplenes

TIPOS DE TERRAPLENES:

- **Terraplenes de Poca Altura:** Se caracterizan por tener una altura menor de 5 metros, grandes longitudes (hasta de varios kilómetros) y disponibilidad de espacios amplios para la maniobra de equipos. Son también llamados terraplenes de zonas planas.

Este tipo de terraplén está influenciado por el terreno natural, ya que está próximo a la coronación. Por ello es necesario realizar una excavación para ubicar el cimiento; de este modo se dará una mayor uniformidad al terreno de apoyo. Es recomendable fijar una altura mínima para mejorar las condiciones del drenaje, aislando el agua freática existente en el terreno. En este tipo de obra se deben emplear suelos de mayor calidad, adecuados y seleccionados o estabilizarlos con cal o cemento para mejorar su resistencia.

- **Terraplenes de Gran Altura:** Son también llamados terraplenes de zonas montañosas y escarpadas. Se caracterizan por tener una altura de hasta 30 metros, pequeñas longitudes (menor de 50 metros) y no ofrecen espacios amplios para la maniobra de equipos.

La mayoría de los terraplenes asientan del orden de un 1 a un 3% de su altura a lo largo de su vida útil, dependiendo de la calidad de su ejecución. Existen superficies de deslizamiento causantes de asientos diferenciales que pueden llegar a colapsar la estructura. Para aminorar la magnitud de los asientos existen diversas técnicas las más usadas son:

- Post compactación: Se fundamenta en conseguir un mayor empaquetamiento de las partículas de suelo, utilizando grandes pesos soltados desde una altura considerable (compactación dinámica), materiales explosivos para zonas profundas de terraplén (compactación por explosivos) o elementos vibrantes introducidos a lo largo de una estructura (vibroflotación).

Terraplenes

- Precarga del terreno: consiste en aplicar una carga sobre el terreno que constituye el terraplén de manera que asiente prematuramente. Posteriormente, se volverá a llenar hasta alcanzar la cota de proyecto. Es efectiva para suelos finos. Existen diversas variantes de este sistema: relleno de tierras, empleo de grandes bloques de hormigón y escolleras, reducción del nivel freático.
 - Inyecciones: Consiste en inyectar al suelo materiales más resistentes, para mejorar sus cualidades. Se usa en suelos granulares Gravas o arena de tamaño medio.
- **Terraplenes de zonas onduladas y entre onduladas - montañosas:**
Tienen características intermedias entre los dos anteriores.
 - **Terraplenes para Suelos Blandos:** Los suelos blandos, tales como arcillas, limos y turbas presentan un nefasto comportamiento como soporte de cualquier tipo de obra de tierra. Para este tipo de suelo es conveniente realizar un estudio geotécnico que caracterice el terreno, de manera que pueda estimarse la forma más precisa de estabilidad y los asientos admisibles del terraplén. Para este tipo de suelo se obra de dos posibles maneras: si la capa tiene poca potencia puede ser económicamente viable su eliminación empleando maquinaria de movimiento de tierras; sin embargo un mayor espesor obligará actuar directamente sobre el terreno existente para mejorar sus cualidades resistentes.
 - **Terraplenes sobre Laderas:** Las obras asentadas sobre laderas especialmente las lineales, como es el caso de las carreteras requieren de estabilidad mecánica. La estabilidad más inmediata pero la más costosa, es tender los taludes de la explanación. El inconveniente es el notable incremento del volumen de tierras que pueda llegar a suponer.
En el caso de laderas en roca, una buena medida es eliminar la capa del material erosionado y de origen aluvial que queda almacenado en la superficie. En laderas

Terraplenes

con taludes superiores a 2:1 4:1 6:1 es aconsejable escalaronar la superficie de contacto entre terreno y terraplén, si existen riegos de filtraciones es conveniente realizar drenes longitudinales en cada uno de los escalones para evitar presiones intersticiales que desestabilicen la obra. Si la ladera es inestable puede ser factible salvarla mediante viaductos en secciones mixtas o completas, de forma que la vía no toque el terreno, cimentándose directamente sobre un estrato profundo más competente.

CONSTRUCCIÓN DE TERRAPLENES:

El proceso constructivo de un terraplén comprende diversas etapas y operaciones enfocadas a conseguir las características resistentes y estructurales exigidas a cada capa, y que aseguren un correcto funcionamiento del mismo.

La calidad de un terraplén depende en gran medida de su correcta realización, es decir, de la apropiada colocación y posterior tratamiento de los diferentes materiales empleados en su construcción.

Para ello es importante tener en cuenta que una mala ejecución puede ocasionar problemas que afectaran a la funcionalidad de la carretera; así una humectación o compactación deficiente provocara asentamientos excesivos del terraplén occasionando problemas de inestabilidad como colapso y desmoronamiento de la obra.

Dentro del proceso de construcción de este tipo de obras, pueden distinguirse diversas fases de ejecución, tales como las que se muestran en la Fig.4:

Terraplenes

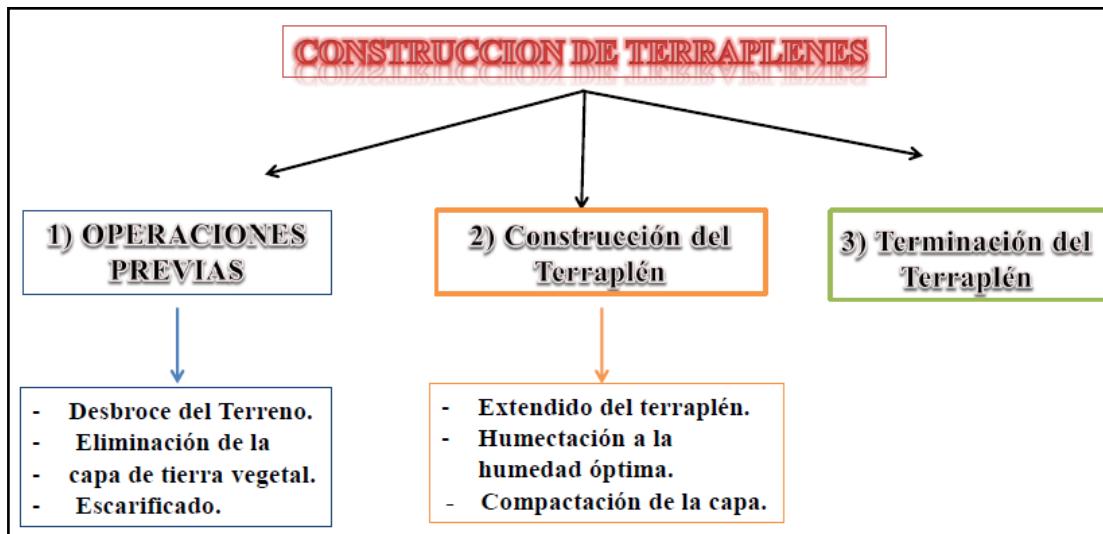


Fig. 4. Esquema sobre la Construcción de Terraplenes. [Autores (2010)]

1- Operaciones Previas:

- **Desbroce del terreno:** Consiste en extraer y retirar de la zona afectada por la traza de la carretera todos los arboles, plantas, maderas caídas, escombros, basura o cualquier otro material indeseable que pueda producir inconvenientes al desarrollo de la obra o al futuro comportamiento de la vía.
Como regla general, es recomendable extraer todos las protuberancias y raíces, especialmente aquéllas de diámetro superior a 10cm; que deberán ser eliminados hasta una profundidad de aproximadamente 50cm por debajo de la superficie natural del terreno. Así como también los huecos causados por la extracción de este tipo de elementos como los pozos y agujeros existentes en la zona de trabajo, deberán rellenarse y compactarse adecuadamente para evitar que estas zonas se comporten como puntos débiles en la estructura del terreno.
- **Eliminación de la capa de tierra vegetal:** Es la eliminación de la capa más superficial del terreno, generalmente compuesta por un alto porcentaje de materia orgánica (humus), debido a que debe ser evitada dada la susceptibilidad que presenta a procesos de oxidación y mineralización.

Terraplenes

Cabe destacar que si se trata de terraplenes de gran altura puede considerarse la posibilidad de no eliminar esta capa siempre y cuando sea de pequeño espesor ya que los asientos que produzcan serán pequeños en comparación con el total, siempre y cuando no se suponga una potencial superficie de deslizamientos del talud situado sobre ella.

Si el talud se lleva a cabo sobre un terreno inestable o formado por turba, arcillas expansivas, fangos o limos de mala calidad deberá eliminarse dicha capa o procederse a su estabilización en el caso de tener un espesor considerable.

- **Escarificado:** Una vez llevada a cabo la eliminación de la capa vegetal es conveniente si es necesario escarificar y recompactar el terreno en una profundidad entre 15 y 25 cm, dependiendo de las condiciones en que se encuentre dicho suelo.

Este proceso consiste en la disagregación de la capa superficial del terreno, efectuada por medios mecánicos. Generalmente se emplean herramientas especiales acopladas a maquinas tractoras de gran potencia que se encargan simultáneamente de la eliminación del terreno vegetal y del proceso de escarificado.

El objetivo del mismo es uniformizar la composición del suelo y facilitar su posterior recompactación, haciendo que este proceso sea más efectivo, eventualmente puede recurrirse al empleo de conglomerantes tales como cal y cemento para mejorar las características del suelo.

Sobre esta capa de terreno se asentara el cimiento del terraplén, por lo que es necesario que quede preparada para una correcta recepción de esta primera capa de relleno.

Terraplenes



Fig. 5. Máquina tractora efectuando labores de excavación y escarificado.

[BAÑON, L., BEVIÁ, JF. (2000)]

2- Construcción del Terraplén propiamente dicho, compuesta por tres operaciones cíclica, aplicables a cada terraplén:

- **Extendido de la capa de suelo:** Consiste en colocar el material en capas de espesor uniforme y sensiblemente paralelas a la explanada, el mismo deberá ser homogéneo y presentar características uniformes en cada capa; en caso de no presentar esta homogeneidad deberá mezclarse convenientemente hasta conseguirla.

El espesor de cada capa debe ser lo suficientemente reducido para que con los medios disponibles de la obra, se obtenga en todo su espesor el grado de compactación exigido. Por lo general dicho espesor oscila entre los 15 a 20 cm de la capa delgada en suelos finos o secos y de 20 a 40cm de la capa media empleada para suelos granulares o húmedos.

La maquinaria a emplear es muy diversa y la elección de uno u otro modelo dependerán fundamentalmente de la distancia de transporte de las tierras:

- Para distancias de transporte inferiores a 500m, se emplea el bulldozer o el angledozer en terraplenes a media ladera.
- Si la distancia se halla entre 1 y 5 km, suele emplearse la mototraílla o scrapper para el transporte y posterior extendido.
- Una distancia superior a los 5km se requiere el empleo de palas cargadoras, camiones para el transporte de tierras y motoniveladoras para su extendido.

Terraplenes



Fig. 6. Maquinaria empleada en el transporte y extendido de tierras.
[BAÑON, L., BEVIÁ, JF. (2000)]

- **Humectación a la humedad óptima:** Una vez llevado a cabo el extendido de las capas del terreno se procede a condicionar la humedad del suelo:
 - Por un lado, se asegura una óptima compactación del material, asegurando la suficiente resistencia y reduciendo los posteriores asentamientos del terraplén.
 - Por otro, evita que las variaciones de humedad que se produzca después de la construcción provoquen cambios excesivos de volumen en el suelo, ocasionando daños y deformaciones.

Para ello suelo tomarse como humedad de referencia, la determinada en el ensayo de Proctor Normal o modificado (humedad óptima Proctor).

Es importante destacar que existen una serie de casos particulares necesarios de tratar de forma especial:

- *Suelos secos:* Un suelo con bajo nivel de humedad puede ser compactado hasta su nivel óptimo sin necesidad de humectarlo, empleando para ello una mejor energía de compactación, ya que la humedad optima disminuye con la energía de compactación.
- *Suelos sensibles a la humedad:* Suelen presentar curvas de compactación muy pronunciadas, lo que los hace especialmente sensibles a la humedad.

Terraplenes

- *Suelos expansivos:* Destacan las arcillas las cuales deben compactarse con unas condiciones óptimas de humedad para evitar cambios de volumen importantes durante la vida útil de la obra.
- *Suelos colapsables:* Se caracterizan por su baja densidad y bajo grado de humedad, presentando un gran número de huecos en su seno. La inundación de este tipo de suelo produce un colapso ocasionando un asiento brusco del terraplén.

Si la humedad del suelo es excesiva, existen diversas formas de reducirla; entre ellas destacan la adición de materiales secos o sustancias de cal viva.

- **Compactación de la capa:** Destinada a aumentar la estabilidad y resistencia mecánica del terraplén; el cual se alcanza comunicando energía de vibración a las partículas que conforman el suelo, produciendo una reordenación de estas, que adoptaran una configuración energéticamente más estable.

La calidad de la compactación referida a la densidad máxima obtenida en el ensayo Proctor; lo que indica que para cimientos y núcleos debe ser al menos el 95%, mientras que en coronación debe superar el 100% de la obtenida en el ensayo.

La maquinaria empleada es muy diversa, aunque suele emplearse compactadores vibratorios de llanta metálica lisa, compactadores de neumáticos o rodillos de pata de cabra según el tipo de suelo; en los márgenes y zonas difíciles se emplean vibroapisonadores o planchas vibrantes.



Fig. 7. Maquinaria de compactación de terraplenes.

[BAÑON, L., BEVIÁ, JF. (2000)]

Terraplenes

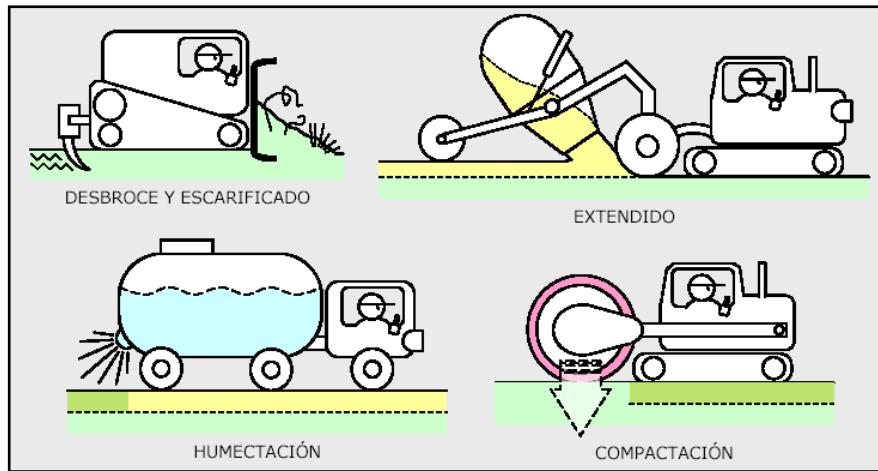


Fig. 8. Principales fase constructivas de un terraplén.

[BAÑON, L., BEVIÁ, JF. (2000)]

3- Terminación del Terraplén: Una vez construido el terraplén se realizará el acabado geométrico del mismo, reperfilando los taludes y la superficie donde posteriormente se asentará el firme, empleándose generalmente la motoniveladora; de igual modo se realizará una última pasada con la compactadora sin aplicar vibración con el fin de corregir posibles irregularidades producidas por el paso de la maquinaria y sellar la superficie.

Los taludes podrán ser revegetados para aumentar su estabilidad y favorecer su integración ambiental, pudiéndose emplear la capa de tierra vegetal anteriormente excavada dadas sus propiedades fertilizantes.



Fig. 9. Motoniveladora perfilando la explanada mejorada.

[BAÑON, L., BEVIÁ, JF. (2000)]

Terraplenes

CONTROL DE CALIDAD:

Para asegurarse el correcto comportamiento del terraplén es necesario establecer una serie de procedimientos de control y comprobación de diversas características del suelo ya que a la larga van a determinar su comportamiento mecánico. En el siguiente esquema (Fig. 10) se refleja los pasos que involucra el control de calidad:

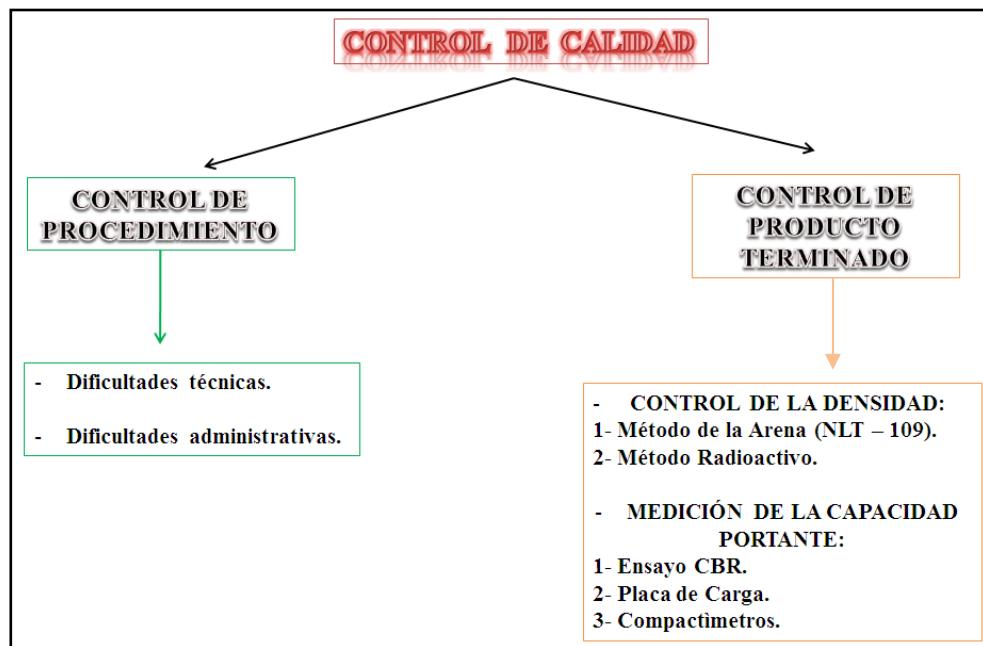


Fig. 10. Esquema sobre el Control de Calidad. [Autores (2010)]

- **Control de Procedimiento:** Consiste en establecer la forma en que deberá efectuarse la ejecución del terraplén fijando, según las características del suelo disponible y el tipo de maquinaria a emplear, el espesor de la capa o el número de pasadas.

Este tipo de control se lleva a cabo en diversos países, destacando una vez más el modelo Francés, en nuestro país. Presenta diversas dificultades para su implantación:

Terraplenes

- **Dificultades técnicas:** El gran abanico climatológico existente en nuestro país dificulta la elaboración de métodos específicos de control suficientemente homogéneos.
 - **Dificultades administrativas:** La escasa disponibilidad de personal especializado en realizar controles periódicos y detallados, unido al inconfundible carácter ibérico hacen más práctico el efectuar “ensayos sorpresas” durante la ejecución de la obra, manteniendo así un estado permanente de tensión y falsa vigilancia sobre el contratista.
- **Control de producto terminado:** Consiste en fijar las características que debe cumplir el material una vez colocado en obra; para ello se mide *in situ* diversas características y se comparan con valores obtenidos sobre muestras patrón en laboratorio. Generalmente las magnitudes objeto de control son las siguientes:
 - **Control de la densidad:** La densidad del suelo en referencia a la obtenida en el ensayo Proctor, define directamente su grado de compactación. Para determinar la densidad en la obra se lleva a cabo los siguientes métodos:
 - 1- **Método de la arena (NLT – 109):** Consiste en la excavación de un agujero en la zona a ensayar, determinando el peso del material extraído. Para determinar el volumen del agujero, éste se rellena de arena empleando un recipiente calibrado que permita conocer la cantidad introducida. Conocida la masa y el volumen puede determinarse la densidad del suelo.
 - 2- **Método Radioactivo:** Se basa en la interacción de la radiación gamma con los electrones existentes en las partículas del suelo. El aparato nuclear un contador (Geiger) mide la diferencia entre la energía emitida y la recibida, que es proporcional a la densidad del suelo.

Terraplenes

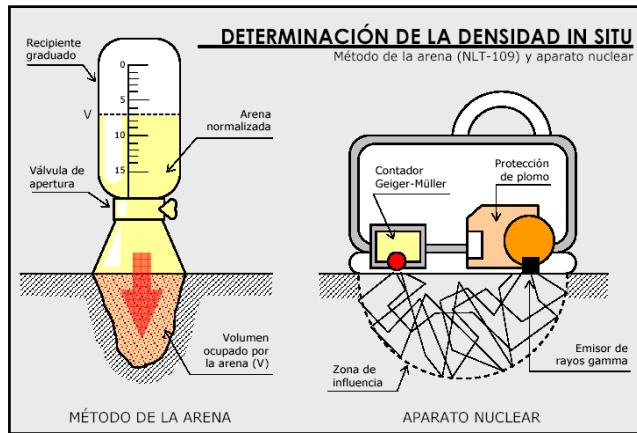


Fig. 11. Métodos para la determinación de la densidad *in situ*.

[BAÑON, L., BEVIÁ, JF. (2000)]

- **Medición de la capacidad portante:** Consiste en determinar si el terreno es capaz de absorber y distribuir las tensiones transmitidas por el tráfico a través del firme. Existen diferentes métodos para controlar la capacidad portante del terreno:

- 1- **Ensayo CBR:** Es un ensayo normalizado de penetración (NLT – 112) que mide la presión necesaria para introducir un pisón a una cierta profundidad, comparándola con la empleada en una muestra patrón.
- 2- **Placa de carga:** Consiste esencialmente en la aplicación escalonada de una carga variable sobre una superficie determinada generalmente circular o cuadrada midiendo los asientos obtenidos a lo largo del tiempo. (Estos ensayos están en desuso ya que son bastante caros, no ofrecen una muestra representativa del suelo y sólo son confiables en terrenos homogéneos).
- 3- **Compactímetros:** Este tipo de aparatos van incorporados a la llanta de los compactadores vibratorios; miden la densidad y el grado de compactación del terreno en función de la onda armónica generada sobre el propio terreno durante el proceso de vibracompactación.

Terraplenes

Control de calidad de terraplenes en carreteras			
MATERIAL A CONTROLAR		ENSAYO	LOTE
MATERIALES	En el lugar de procedencia	<ul style="list-style-type: none">• 1 Proctor normal• 1 Granulométrico• 1 Límites Atterberg• 1 CBR laboratorio• 1 Materia orgánica	<ul style="list-style-type: none">- 1.000m³ de material- 1 vez al día- 5.000 m³ de material- 1 vez cada 3 días- 10.000 m³ de material- 1 vez a la semana
	En el tajo o lugar de empleo	<ul style="list-style-type: none">- Examinar los montones procedentes de la descarga de camiones, desechar los que a simple vista contengan restos de tierra vegetal, materia orgánica o bolos- Señalar aquellos lotes que presenten alguna anomalía en su aspecto- Tomar muestras de los lotes señalados para repetir los ensayos efectuados en el lugar de procedencia	
EXTENSIÓN		<ul style="list-style-type: none">- Comprobar <i>grosso modo</i> el espesor y anchura de las tongadas- Vigilar la temperatura ambiente, siempre superior a 20°C	
COMPAC-TACIÓN	Centro del terraplén	<ul style="list-style-type: none">• 5 Det. de Humedad• 5 Det. de Densidad	<ul style="list-style-type: none">- 5.000m² de tongada- 1 vez al día
	Franjas laterales (2.00 m)	<ul style="list-style-type: none">• 1 Det. de Humedad• 1 Det. de Densidad	<ul style="list-style-type: none">- Cada 100 metros lineales a ambos lados
GEOMETRÍA		<ul style="list-style-type: none">- Cotas de replanteo de eje, con mira cada 20 m, más los puntos singulares- Anchura y pendiente transversal en los mismos puntos- Existencia de desigualdades de anchura, rasante o pendiente transversal aplicando la regla de 3 m, en caso de sospecha	

Tabla 1. Control de Calidad de Terraplenes en Carreteras. Tomado de:
Recomendaciones para el control de calidad en carreteras. (MOPU, 1.978).
[BAÑON, L., BEVIÁ, JF. (2000)]

MATERIALES A EMPLEAR:

Los materiales que se emplean en la construcción de terraplenes deben provenir de las excavaciones de la explanación, de préstamos laterales o de fuentes aprobadas. Es necesario que estos materiales estén libres de: sustancias contaminantes, de materia orgánica, raíces y otros elementos perjudiciales.

Terraplenes

Los materiales expansivos no deben utilizarse en la construcción de dichas obras, debido a que esto puede ser perjudicial para la misma. Sin embargo, si sólo se cuenta con este tipo de materiales el Supervisor de la obra deberá proceder a estabilizarlos antes de colocarlos.

Se deben utilizar materiales que permitan cumplir las condiciones básicas siguientes:

- Condiciones aceptables para la puesta en obra.
- Estabilidad satisfactoria de la obra.
- Deformaciones tolerables a corto y largo plazo, para las condiciones de servicio que se definan en Proyecto.

Debido a que el suelo puede alterarse durante las operaciones de extracción, deben considerarse las características intrínsecas del material (granulometría, capacidad de absorción de agua, etc) y las alteraciones que introducen las operaciones de manejo (según la maquinaria empleada, las condiciones ambientales, etc).

Clasificaciones de suelos para la construcción de Terraplenes:

- **Casagrande:** En la que se clasifican los materiales por su granulometría, límites de Attemberg, contenido de materia orgánica, diferencia tres tipos de suelos.
 - Altamente Orgánicos, cuya utilización no es conveniente.
 - De Grano Grueso (menos del 50% para por el tamiz N° 200), siendo estas gravas (G) y arenas (S).
 - De Grano Fino (más del 50% para por el tamiz N° 200), su distinción se basa en la plasticidad.

Terraplenes

- **PG-3 (2000):** En la que se clasifican los materiales por su granulometría, límites de Attemberg, contenido de materia orgánica, límites para su posible aceptación. No considera condiciones de ejecución, ni energías a aplicar, lo cual deja libertad a los directores de la obra para que consigan el producto deseado. Distingue cinco tipos.
 - **Suelos Seleccionados:** Se emplean en la coronación y en todo el resto de la estructura de tierra.
 - Contenido de materia orgánica (MO) < 0.2 %
 - Contenido de Sales Solubles en Agua, incluido el yeso (SS) < 0.2 %
 - Tamaño Máximo no superior a 100 mm (D máx. \leq 100 mm)
 - Cernido por el tamiz N° 0.4 \leq 15%, o que en caso contrario que cumpla todo lo siguiente: cernido por el tamiz N° 2 < 80%, cernido por el tamiz N° 0.4 < 75%, cernido por el tamiz N° 0.080 < 25%, límite líquido (LL) < 30 e Índice de Plasticidad (Ip) < 10.
 - **Suelos Adecuados:** Los que no pudieron ser clasificados como seleccionados.
 - Contenido de materia orgánica (MO) < 1 %
 - Contenido de Sales Solubles en Agua, incluido el yeso (SS) < 0.2 %
 - Tamaño Máximo no superior a 100 mm (D máx. \leq 100 mm)
 - Cernido por el tamiz N° 2 < 80%
 - Cernido por el tamiz N° 0.080 < 35%
 - Límite Líquido (LL) < 40
 - Si el límite líquido es > 30, el índice de plasticidad (Ip) > 4
 - **Suelos Tolerables:** Los que no pudieron ser clasificados como seleccionados, ni como adecuados. Se emplean en núcleos, cimientos y espaldones.
 - Contenido de materia orgánica (MO) < 2 %
 - Contenido en yeso < 5 %
 - Contenido de Sales Solubles distintas al yeso (SS) < 1 %
 - Límite Líquido (LL) < 65
 - Si el límite líquido es > 40, el índice de plasticidad será mayor del 73% que resulte de restar 20 al límite líquido (Ip > 0.73 (LL - 20))
 - Asiento en ensayo de colapso < 1%
 - Hinchamiento en ensayo de expansión < 3%

Terraplenes

- **Suelos Marginales:** Los que no pudieron ser clasificados como seleccionados, ni como adecuados, ni tolerables. Son suelos muy plásticos y por lo tanto expansivos, no se permite su utilización en la construcción de terraplenes sino con un estudio y tratamiento especial.
 - Contenido de materia orgánica (MO) < 5 %
 - Hinchamiento en ensayo de expansión < 5%
 - Si el límite líquido es > 90, el índice de plasticidad será mayor del 73% que resulte de restar 20 al límite líquido ($Ip > 0.73 (LL - 20)$)
- **Suelos Inadecuados:** No se permiten para la construcción de terraplenes.
 - No se pueden incluir en las categorías anteriores
 - Las turbas u otros suelos que contengan materiales perecederos u orgánicos
 - Los que puedan resultar insolubles para actividades que sobre los mismos se desarrollen.

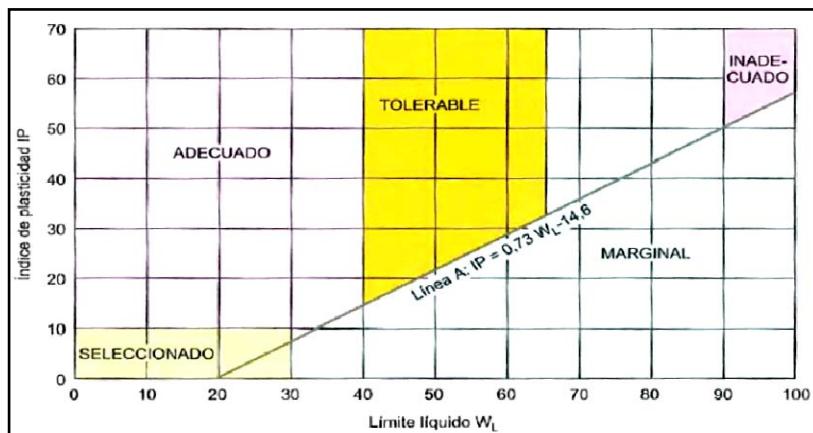


Fig. 12. Clasificación de Suelos para Terraplenes según su Plasticidad.
(Ministerio de Fomento, PG-3 2000) [GONZÁLEZ, L. (2002)]

- **Francesa:** En la que se clasifican los materiales por su granulometría, plasticidad, contenido de sales, estado de humedad, etc. Establece relaciones sobre cuándo y dónde se puede utilizar. Distingue seis grandes grupos.

Terraplenes

A Suelos finos	D < 50 mm Pasa por 80 μm > 35 %	$I_P < 10$		A ₁			
		$10 < I_P < 20$		A ₂			
		$20 < I_P < 50$		A ₃			
		$I_P > 50$		A ₄			
B Suelos arenosos y gravas con finos	D < 50 mm Pasa por 80 μm entre 5 y 35 %	Pasa por 80 μm entre 5 y 12 %	Retenido por 2 mm < 30 %	E A > 35 B ₁			
			Retenido por 2 mm > 30 %	E A < 35 B ₂			
			E A > 25 B ₃	E A < 25 B ₄			
		Pasa por 80 μm entre 12 y 35 %	$I_P < 10$	B ₅			
			$I_P > 10$	B ₆			
		Pasa por 80 μm , mucho pasa por 80 μm > 5 %	Pasa por 80 μm , poco	Pasa por 80 μm , mucho C ₁			
C Suelos con elementos finos y gruesos				D < 250 mm C ₂			
				D > 250 mm C ₃			
Pasa por 80 μm < 5 %		D < 50 mm	Retenido en 2 mm < 30 % D ₁				
			Retenido en 2 mm > 30 % D ₂				
		50 mm < D < 250 mm D ₃					
		D > 250 mm	D ₄				
E Rocas evolutivas		Materiales de estructura fina, frágil, sin arcilla o poco arcillosos. Ejemplo: greda, areniscas finas.					
		Materiales de estructura gruesa, frágil, sin arcilla o poco arcillosos. Ejemplo: arenas gruesas, pudingas.					
		Materiales arcillosos evolutivos. Ejemplo: margas, pizarras arcillosas, argilitas.					
F		Materiales putrescibles, combustibles, solubles o contaminantes. Ejemplo: tierra vegetal, basuras, turbas, ciertas escombreras de minas, suelos salinos y yesíferos, ciertas escorias, etc.					

EA = Equivalente de arena (ensayo para determinar la proporción relativa de suelo granular y suelo cohesivo).

Tabla 2. Clasificación Francesa de Suelos para obras de Tierra.
[GONZÁLEZ, L. (2002)]

Adicionalmente, es importante tener en cuenta que en todo suelo a emplearse en la construcción de terraplenes, debe cuidarse la presencia de Yeso (Ca_2SO_4), ya que éste se disuelve fácilmente en agua, y en zonas donde existan filtraciones, frecuentes precipitaciones o un alto nivel freático, no deben ser utilizados este tipo de suelos con comportamiento arcilloso (contenido de yeso superior al 20%).

Por otro lado, tomando en cuenta las diferentes zonas que componen un terraplén, en el **cimiento** se pueden colocar suelos (PG-3, 2000) seleccionados, adecuados y tolerables; por economía se pueden tomar los tolerables si no existen problemas de tipo

Terraplenes

estructural o constructivo en el área. En el **núcleo** se pueden emplear suelos seleccionados y adecuados, y también tolerables siempre y cuando el núcleo esté sujeto a inundación (en contacto directo con el agua). Y por último en la **coronación** se pueden emplear suelos que cumplan con condiciones granulométricas y de plasticidad estrictas, los suelos seleccionados son aptos para ello aunque también se usan suelos adecuados e incluso tolerables, siempre y cuando sean debidamente estabilizados con cal o cemento para mejorar la resistencia.

RECOMENDACIONES:

- Para terraplenes de poca altura; se recomiendan espesores mínimos de 1 m, al igual que se le debe dar importancia al material que compone el cimiento, éste debe ser de mayor calidad y se debe estabilizar con cal y cemento.
- Para terraplenes de gran altura; se recomienda llevar a cabo técnicas de asentamientos luego de haber construido la estructura, entre las que se tienen la Post-compactación, Precarga del Terreno o Inyecciones.
- Para terraplenes sobre suelos blandos, se recomienda: si el espesor de la capa de arcilla es pequeño se puede remover con maquinaria, y si es de mayor tamaño se debe replantear la estrategia mejorando las propiedades de resistencia del mismo y realizar a la vez un estudio geotécnico para caracterizar el terreno.
- Para terraplenes sobre laderas, se recomienda: si se está trabajando sobre roca se debe eliminar el material meteorizado o en su defecto el material aluvial que se encuentre en superficie siempre y cuando éste no exceda los 6 m, de lo contrario hay que estabilizar. Otra medida que se puede tomar es tender los taludes de la explanación, pero este es un método costoso y no es muy beneficioso debido a la gran cantidad de material que involucra.
- En laderas con taludes entre 2:1 a 6:1 o más se recomienda escalonar la superficie de contacto entre terreno y terraplén, y si hay infiltraciones se deben colocar drenes longitudinales en cada escalón para evitar la desestabilización de la obra.

Terraplenes

- Durante la construcción del terraplén se debe tomar en cuenta lo siguiente:
 - No construir terraplenes cuando la temperatura ambiente sea inferior a 2°C a la sombra, ya que esto afectaría el agua contenida en el suelo llegando incluso a congelarla y esto a su vez dificulta la compactación.
 - Evitar el paso de vehículos durante la compactación, ya que esto genera concentraciones de huellas de rodadura.
 - Para evacuar rápidamente las aguas pluviales (de lluvia), se debe asegurar una pendiente del 6% durante la ejecución del terraplén.
 - La compactación debe ser uniforme tanto en los flancos como en el centro del terraplén, ya que esto podría generar grietas laterales y combaduras de la superficie de rodadura.

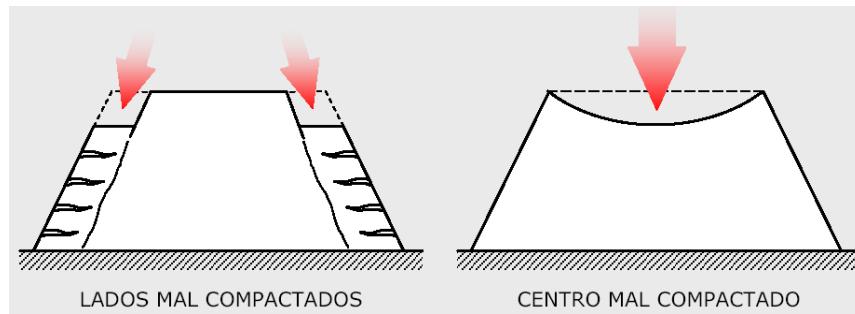


Fig. 13. Consecuencias de la mala compactación

[BAÑON, L., BEVIÁ, JF. (2000)]

- Cuando se tenga suelos con nivel freático alto, se debe emplear uno de estos cuatro métodos: excavación de zanjas profundas, empleo de geotextiles, construcción en sándwich y estabilización del suelo.

Terraplenes

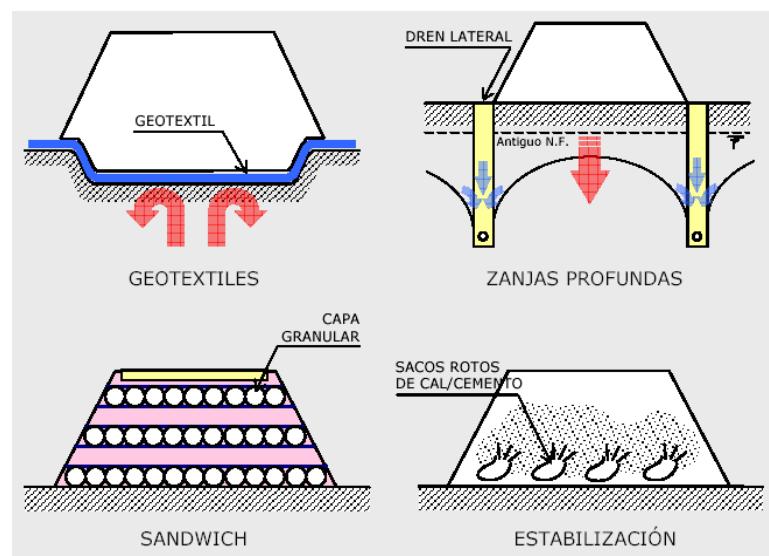


Fig. 14. Terraplenes en Suelos con Nivel Freático Alto.

[BAÑON, L., BEVIÁ, JF. (2000)]

Terraplenes

CONCLUSIONES

Las obras de tierra son proyectos de ingeniería hoy en día muy importantes en el desarrollo de un país. Por medio de ellas, se ha logrado acondicionar y hacer más fácil la vida de los seres humanos. Todas estas obras (caminos, canales, diques, presas, túneles, etc) involucran el movimiento de tierra, y es aquí donde se abre paso a una de las dos grandes subdivisiones de este tipo de obras “Los Terraplenes”. Cabe destacar que existen obras de tierra positivas como los terraplenes o rellenos y obras de tierra negativas como los desmontes o excavaciones.

La construcción de terraplenes ha resultado ser muy útil para el desarrollo de vías, tanto para carreteras comunes como para ferrocarriles. Sin embargo, se concluye que todo proyecto de esta magnitud implica una serie de pasos y técnicas a emplear, y de materiales a utilizar (que sigan las normativas del proyecto) con el fin de lograr el éxito del mismo.

Es necesario que para cada zona que compone la estructura del terraplén se tomen en cuenta las previsiones antes descritas, en cuanto a materiales y dimensiones. Lo recomendable en toda construcción de este tipo es que se utilicen los mismos materiales que existan en zonas cercanas a la obra y de la mejor calidad posible, de lo contrario hay que evaluarlo en el presupuesto del proyecto.

Terraplenes

BIBLIOGRAFÍA

BAÑÓN, L., BEVIÁ, JF (2000), **Manual de Carreteras vol. 2: Construcción y mantenimiento**, Ed. Enrique Ortiz e Hijos, contratista de obras, S.A. Alicante, 390 pp., ISBN: 84-607-0123-9. España.

GONZÁLEZ, L. (2002), **Ingeniería Geológica**. Editorial PEARSON. ISBN: 84-205-3104-9. Madrid – España.

SUÁREZ, J. (), **Obras de Tierra**. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga - Colombia.

ZAPATA, E. (). **Terraplenes**. Universidad Nacional Sede de Medellín. Página web. Disponible en: <http://www.docentes.unal.edu.co/eazapata/docs/CIV-CLASE%2017.pdf>. Consultada en Agosto 2010.

S/A. (). **Superficies Topográficas**. Página web. Disponible en: http://www.uclm.es/area/egi/AULA_DES. Consultada en Agosto 2010.

CASTANEDO, F. (). **Obras de Tierra III**. Página web. Disponible en: http://www.equipodeprospecciones.com/descargas/master_ingenieria_geologica/terraplenes3_master_ingen_geol.pdf. Consultada en Agosto 2010.

Construmática. (). **Ejecución de Terraplenes**. Página web. Disponible en: http://www.construmatica.com/construpedia/Ejecuci%C3%B3n_de_Terraplenes. Consultada en Agosto 2010.

S/A. (). **Capítulo 2: Movimiento de Tierra**. Página web. Disponible en: http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manual/EG-2000/cap2/seccion210.htm. Consultada en Agosto 2010.