

## **RESUMEN TEMA 7 GRUPO INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE.**

### **SUBGRUPO 1 CARRETERAS** **MOVIMIENTO DE TIERRAS**

#### **1. MOVIMIENTO DE TIERRAS.**

Se denomina **movimiento de tierras al conjunto de operaciones a fin de modificar la forma de los terrenos naturales** para conseguir la explanación prevista en el proyecto, bien sea con la extensión y compactación de los terrenos en terraplén o por la extracción del mismo en desmonte al excavar el terreno natural.

Esta operación cobra una gran importancia en terrenos accidentados y con una velocidad específica alta, con terraplenes y desmontes de altura considerable y por consiguiente tienen una **gran incidencia económica en la obra**, lo que obliga a optimizar la compensación de volúmenes de la traza de terraplén y desmonte.

#### **2. CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES SEGÚN EL PG-3.**

A la hora de la **clasificación de los materiales**, el primer paso para su clasificación y caracterización es el **análisis granulométrico**. Se distingue así entre los suelos granulares o de **grano grueso**: gravas y arenas, así como los suelos de **grano fino** como son los limos y arcillas. En términos generales, las gravas y arenas se caracterizan por presentar una **cohesión muy reducida, una elevada resistencia a la deformación y una baja compresibilidad**. En cambio, los suelos de grano fino se caracterizan por su **mayor impermeabilidad, menor resistencia al esfuerzo cortante y una capacidad de soporte reducida**.

En el PG-3 se recoge que los suelos empleados en los **terraplenes** deben cumplir al menos **una de las dos condiciones**: bien que el porcentaje que pasa por el tamiz 20 UNE sea superior al 70 %, o bien que, el porcentaje que pasa por el tamiz 0,080 UNE sea igual o superior al 35 %. En caso contrario se consideran suelos para **pedraplén** (aquellos en los que pasa por el tamiz 20 UNE como máximo, el 30 % del material, y por el tamiz de 0,080 UNE el 10%) o para **rellenos todo uno**, con características intermedias.

Además, los suelos que cumplen las condiciones para ser empleados en terraplenes, se clasifican en **5 categorías** según sus características y que ordenados de **mayor a menor calidad** se tiene: **seleccionados, adecuados, tolerables, marginales e inadecuados**.

Como ejemplo, se puede destacar, que los **suelos seleccionados** serán aquellos donde, entre otras características, el contenido de materia orgánica sea  $<0,2\%$ , el contenido en sales solubles  $<0,2\%$ , que el tamaño máximo del árido sea  $\leq 100$  mm, y un porcentaje de material que pasa por el tamiz de 0,40 mm menor o igual a 15%. Por otro lado, los **suelos adecuados** serán los que, no cumpliendo todos los requisitos de los suelos seleccionados, tengan un contenido de sales solubles  $< 0,2\%$  y un contenido de materia orgánica  $< 1\%$ .

Además, el PG-3 también hace mención a tipologías de suelos más particulares, como por ejemplo los **suelos expansivos** (con un hinchamiento libre en ensayo superior al 3%), los **suelos colapsables** (asiento superior al 1% en el ensayo Proctor normal) o los **suelos con materia orgánica**, entre otros.

### 3. CONSTRUCCION DE TERRAPLENES PEDRAPLENES Y RELLENOS TODO UNO.

En el diseño de los **TERRAPLENES (art. 330 del PG-3)** se distinguen **4 zonas**:

- ✚ **Coronación:** Es la parte superior del relleno tipo terraplén, sobre la que se apoya el firme, con un espesor mínimo de dos tongadas y siempre mayor de cincuenta centímetros (50 cm).
- ✚ **Núcleo:** Es la parte del relleno tipo terraplén comprendida entre el cimientado y la coronación.
- ✚ **Espaldón:** Es la parte exterior del relleno tipo terraplén que, ocasionalmente, constituirá o formará parte de los taludes del mismo. No se considerarán parte del espaldón los revestimientos sin misión estructural en el relleno entre los que se consideran, plantaciones, cubierta de tierra vegetal, encachados, protecciones antierosión, etc.
- ✚ **Cimientado:** Es la parte inferior del terraplén en contacto con la superficie de apoyo. Su espesor será como mínimo de un metro (1 m).

El **espesor convencional de tongada** varía entre 15-40 cm y tendrán una compactación referida al ensayo Próctor de referencia o Próctor modificado del 100% del PM en la coronación, mientras que en el resto del cuerpo del terraplén se exigirá un 95%. El PG-3 establece condiciones adicionales, como, por ejemplo, que en la coronación se usarán suelos adecuados o seleccionados siempre que su capacidad de soporte sea la requerida y su índice CBR sea igual o superior a cinco.

Por su parte en lo referente a los **PEDRAPLENES (art. 331 del PG-3)**, estos podrán realizarse con taludes más inclinados que en el caso de los terraplenes y con una reducida deformabilidad. En su ejecución se distinguen **5 zonas básicas**:

- ✚ **Transición:** Formada por la parte superior del pedraplén, con un espesor de dos (2) tongadas y como mínimo de un metro (1 m), a no ser que en el Proyecto se indique expresamente otro valor.
- ✚ **Núcleo:** Parte del pedraplén comprendida entre el cimientado y la zona de transición.
- ✚ **Cimientado:** Formada por la parte inferior del pedraplén en contacto con el terreno preexistente o superficie de apoyo. Su espesor será como mínimo de un metro (1 m) o la máxima altura libre desde la superficie de apoyo hasta la zona de transición del pedraplén, cuando dicha altura libre fuera inferior a un metro (1 m).
- ✚ **Espaldones:** Son las partes exteriores del relleno que ocasionalmente constituyen o forman parte de los taludes del mismo.
- ✚ **Zonas especiales:** Son zonas con características especiales (zonas inundables, etc.) De existir, el Proyecto deberá fijar sus características y dimensiones.

Además, el PG-3 prevé la posibilidad de la ejecución de **coronación** en Pedraplenes, que será la zona comprendida entre la transición del pedraplén y la superficie de la explanada y deberá cumplir las mismas condiciones exigidas a la coronación de Terraplenes. El **espesor de tongada** en este caso es mayor que para los terraplenes, del orden de los 60 cm, y con una limitación del tamaño máximo utilizado de entre 10 y 90 cm, así como una limitación del tamaño mínimo de espesor de las tongadas de 3/2 del tamaño máximo e igualmente un tamaño máximo de tongada que no podrá superar el 1,35 m o 3 veces el tamaño máximo del material a emplear.

Finalmente, en el caso de los **RELLENOS TODO UNO (art. 333 del PG-3)**, se emplearán materiales que tendrán condiciones granulométricas intermedias entre los terraplenes y los pedraplenes, con tamaño máximo inferior a 100 mm. En su ejecución al igual que en el caso de los pedraplenes, se distinguen **5 zonas básicas**:

- ✚ **Transición:** Formada por la parte superior del relleno todo-uno, con un espesor de al menos dos (2) tongadas y como mínimo de un metro (1 metro), a no ser que en el proyecto se indiquen expresamente otros valores.
- ✚ **Núcleo:** Parte del relleno todo-uno comprendida entre el cimientado y la zona de transición.
- ✚ **Cimiento:** Formada por la parte inferior del relleno todo-uno en contacto con la superficie de apoyo. El espesor será como mínimo de un metro (1 metro) o la máxima altura libre desde la superficie de apoyo hasta la zona de transición, cuando dicha altura libre fuera inferior a un metro (1 metro).
- ✚ **Espaldones:** Son las partes exteriores del relleno todo-uno que ocasionalmente constituyen o forman parte de los taludes del mismo.
- ✚ **Zonas especiales:** Son zonas del relleno todo-uno con características especiales, tales como zonas inundables, etc. De existir, el proyecto deberá fijar sus características y dimensiones.

Además, el PG-3 prevé la posibilidad de la ejecución de **coronación** en rellenos todo uno, que será la zona comprendida entre la transición del pedraplén y la superficie de la explanada y deberá cumplir las mismas condiciones exigidas a la coronación de Terraplenes. El **espesor de tongadas** en este caso será el adecuado para que, con los medios disponibles, se obtenga el grado de compacidad deseado. Dicho espesor será en general de 40 cm y en todo caso  $> 3/2$  del tamaño máximo. Salvo autorización expresa el espesor máximo de tongada no superará los 60 cm

#### 4. COMPACTACIÓN.

Con las operaciones de compactación se obtiene la **estabilidad volumétrica, la resistencia mecánica y la inalterabilidad a los agentes externos**. Los espesores de las tongadas a compactar serán variables y dependerán del **tipo de material, la energía y tipo de compactado y el número de pasadas**.

Para evaluar la **eficacia del proceso** suele utilizarse un **índice llamado grado de compactación o % de compactación** alcanzado respecto de una densidad de referencia. Normalmente el ensayo utilizado para ello es el ensayo **Proctor Normal o Modificado** (diferenciándose únicamente en la energía de compactación aplicada, que será de aproximadamente 4,5 veces mayor en el segundo), siendo este último el adoptado comúnmente como referencia. Se busca determinar la humedad óptima, que es la que permite obtener la máxima densidad seca. La propia curva del ensayo Proctor, que relaciona la densidad y la humedad, da una idea de la compactabilidad del material ensayado. Un ángulo fuerte significa que una variación pequeña en la humedad causa una baja importante de densidad, es decir, esta curva correspondería a un material de mala compactabilidad. Una curva redondeada indica en general un material de buena granulometría y compactabilidad.



Por otro lado, para **evaluar la densidad alcanzada en obra se emplean métodos como el de la arena o el aparato nuclear.**

Entre los **equipos de compactación** se tiene una clasificación de los mismos en base al principio empleado para llevar a cabo dicha tarea, bien sea mediante **presión estática, vibración o impacto dinámico**. Entre los más empleados se tienen los rodillos lisos (para firmes o capas ya acabadas), los rodillos de pata de cabra (para la compactación de suelos cohesivos con cierta humedad), rodillos de rejas (para romper rocas blandas), rodillos de impactos y vibrantes, así como los compactadores de neumáticos (para capas de firme, bases y subbases).

## **5. EJECUCIÓN DE EXCAVACIONES: ESTABILIDAD DE TALUDES.**

### **5.1.- EJECUCIÓN DE EXCAVACIONES.**

La construcción de explanaciones de carreteras conlleva una serie de fases desde las operaciones previas de **despeje y desbroce, arranque, carga y transporte, formación de los terraplenes, rellenos todo en uno y pedraplenes, hasta la terminación y refino**. Así, una vez terminadas las operaciones de desbroce del terreno, se iniciarán las obras de excavación, ajustándose a las alineaciones, pendientes, dimensiones y demás información contenida en el Proyecto, y a lo que sobre el particular ordene el Director de las Obras.

La ejecución de excavaciones podrá llevarse a cabo en tierra, roca o terreno de tránsito. Para obtener información de los suelos a atravesar se llevarán a cabo, entre otros, ensayos de catas, sondeos o ensayos de prospección sísmica. Ésta última distingue los terrenos en función de la velocidad de propagación sísmica de las ondas, calificándose como suelos cuando velocidades  $< 1000\text{m/s}$ , rocas para terrenos con velocidades  $> 2000\text{ m/s}$  y de terreno de tránsito en el caso intermedio.

**En función del material encontrado**, los medios de arranque podrán ir desde bulldozers y retroexcavadoras, así como mototraillas en el caso de materiales de fácil excavabilidad, hasta el caso del empleo de MRH (martillo rompedor hidráulico) y voladuras en el caso de materiales de difícil excavabilidad o roca. En el caso de terreno de tránsito, será preciso una escarificación previa del terreno para lograr así su arranque y desmembramiento. En el caso del uso de explosivos, estos serán del tipo detonante secundarios, que son los que tienen gran potencia de arranque de la roca, como son los agentes explosivos: anfo, alanfo o anfo pesado.

### **5.2.- ESTABILIDAD DE TALUDES.**

Se conoce con dicho nombre a cualquier superficie inclinada respecto de la horizontal que hayan de adoptar las masas de tierras, ya sean en suelo o en roca.

En el caso de **taludes en suelos**, el principal problema es asegurar la **estabilidad** de sus taludes que dependerá de la **propia geometría, en pendiente y altura como de las características intrínsecas del propio suelo, debido al ángulo de rozamiento y su cohesión**. Respecto de los modelos de deslizamiento, las causas que los producen son muy diversas, si bien en el **modelo general de rotura se pueden distinguir 4 casos fundamentalmente: Círculo superficial de pie, Círculo profundo, Círculo profundo de pie y Círculo condicionado**.

Por su parte los **taludes en roca**, tanto naturales como excavados están sujetos de forma permanente a procesos de inestabilidad provocado por agentes erosivos, siendo la tipología habitual de zonas de desmontes. Se identifican 3 mecanismos de rotura principales: rotura plana, en cuña o por vuelco. Y para abordar el estudio de estabilidad se tienen los **índices RMR de Bieniawsky y SMR de Romana**, para definir la calidad de la roca y los taludes existentes. En ambos casos, los materiales se clasifican en función de sus características en cinco niveles (del I, con valor del índice entre 100 y 81, al V, con índice entre 20 y 0), de mayor a menor estabilidad, en cada caso.

Por último, los valores más habituales de la **inclinación de los taludes en obras** de carreteras dependen por supuesto del tipo de terreno

- **En terrenos no rocosos**, el talud máximo generalmente viene determinado por el ángulo de rozamiento interno del suelo. Son habituales en obras de carreteras taludes de 1:1 para suelos granulares, 3:2 para los intermedios y 2:1 o incluso más para suelos arcillosos, limosos o con características especiales.
- **En terrenos rocosos**, el talud máximo está muy condicionado por las fracturas y los planos de discontinuidad. Suelen emplearse taludes desde 1:4 hasta 1:10. No obstante, es recomendable proteger el talud para evitar desprendimientos.

## 6. PROTECCION DE LA INFRAESTRUCTURA FRENTE A LA CAIDA DE MATERIALES.

En la publicación del Ministerio de Fomento (actualmente MITMA) sobre la **Protección contra desprendimientos de rocas** se recogen los distintos tipos de actuaciones para garantizar las condiciones de seguridad:

- ✓ **Reubicación de la vía**, que en la mayoría de los casos no es factible debido a los costes elevados que lleva asociada
- ✓ **Estabilización de los taludes** mediante elementos que no permitan el movimiento de las rocas
- ✓ **Protección contra la caída de rocas**, cuyo objetivo fundamental es interceptar o atenuar la velocidad de caída de las rocas ladera abajo
- ✓ Por último, una **combinación de varios tipos de actuación**

Entre los **métodos de contención** de taludes, se pueden encontrar las **voladuras de contorno** para reducir la presencia de roca suelta colgada y minimizar los sistemas de Sujeción y bermas; la **limpieza y saneo** detectando fragmentos de roca o bloques inestables y provocando su caída, la colocación de **elementos de drenaje**, **modificar la pendiente del talud** o de especial interés los **Métodos de Revestimiento de la Superficie**.

El revestimiento podrá llevarse a cabo mediante la vegetación que disminuye el contenido de agua del terreno y da consistencia con sus raíces, en caso de usar mallas y redes metálicas estas podrán ser de tipología de Triple torsión, mallas colgadas que encaucen el movimiento de rocas en su caída hasta el pie de talud, Mallas adosadas pegadas a la superficie para evitar que los fragmentos de roca se muevan, o el empleo de anclajes y mortero y hormigón proyectado.

Además, habrá que contemplar la posibilidad de emplear **estructuras de contención y sostenimiento como muros de hormigón, escollera, o muros de tierra armada**.

Asimismo, en combinación con los anteriores se tendrán las **cunetas junto al pie de talud**, constituyendo un método muy sencillo y efectivo para recolectar las rocas que caen evitando que lleguen a la plataforma de la vía, así como las **pantallas o barreras de protección** para interceptar las rocas o fragmentos que puedan caer, situadas en la coronación del talud, o en el borde de la vía a proteger, y los **semitúneles o falsos túneles** donde se prevean importantes avalanchas de rocas.

## 7. TECNICAS DE MEJORA DEL TERRENO.

Los casos más frecuentes de la necesidad de aplicar las técnicas de mejora del terreno, son los asociados a la construcción de **rellenos sobre suelos blandos**. Identificada la necesidad de tratar el terreno, debe elegirse el procedimiento más adecuado de entre los existentes, considerando para ello, el **tipo de problema a resolver, el tipo de terreno y los condicionantes de la obra**. Entre las técnicas más frecuentemente empleadas se tiene:

- ✚ **Precargas**, ya que la primera vez que un suelo blando es sometido a cargas importantes experimenta deformaciones mucho mayores que cuando se carga posteriormente, tras haber sido precargado hasta que la compresión efectiva sea la adecuada y posteriormente descargado.
- ✚ **Mechas drenantes** que consisten en drenes prefabricados que se hincan en el terreno al tresbolillo, atravesando el terreno blando a consolidar y permiten recoger y conducir el agua del terreno sin prácticamente pérdida de carga hacia el exterior
- ✚ **Vibración profunda** para aumentar la compactación del terreno mediante la introducción de elementos vibrantes profundos, técnica conocida como vibroflotación, si bien en caso de que el contenido de finos del terreno sea  $> 15\%$  se puede crear un hueco que debe rellenarse con un material adecuado mejorando así un más la calidad del terreno, técnica conocida como vibrosustitución.
- ✚ **Inyecciones**, que consisten en introducir a presión en el terreno productos, generalmente lechadas de cemento, para así lograr un mejor comportamiento del terreno. En este grupo de soluciones destacan las inyecciones de alta presión o Jet Grouting, técnica que plantea la inyección desde el punto más profundo, ascendiendo paulatinamente, con velocidad controlada y con 1, 2 o 3 inyectores (JET I, JET II y JET III)

Por último, cabría al menos citar otra serie de métodos empleados comúnmente, como son la **Compactación dinámica, columnas de grava o los tratamientos térmicos de secado de suelos y congelación del terreno**.

## 8. CIMENTACIONES DE ESTRUCTURAS: TIPOLOGÍAS Y MÉTODOS CONSTRUCTIVOS.

Según la **Guía de Cimentaciones en Obras de Carreteras del Ministerio de Fomento (actualmente MITMA)**, se define una cimentación como la parte de una estructura cuya misión fundamental es la de transmitir al terreno su peso propio y las cargas soportadas por la misma. Dichas cimentaciones podrán ser superficiales, o profundas, en función de la identificación y caracterización geológica y geotécnica de los materiales en las áreas directamente afectadas.



En relación a las **cimentaciones superficiales**, en lo referente a su tipología, se puede distinguir atendiendo a la disposición en planta respecto de los elementos estructurales que les transmiten las cargas, entre zapatas aisladas, combinadas y corridas o por losas mediante la unión de zapatas corridas. El **procedimiento de comprobación y cálculo propuesto** en la Guía se basa en el método de los estados límite, tanto últimos como de servicio.

En segundo término, estarán las **cimentaciones profundas**, empleándose en caso de estructuras donde se exige la trasmisión de grandes cargas concentradas al terreno, o donde la presencia de grandes espesores de suelos blandos en superficie, así como la posibilidad de la existencia de socavaciones en cauces fluviales o zonas costeras, desaconsejan la utilización de las cimentaciones superficiales.

Por su **tipología** tenemos los pilotes aislados, o elementos de gran capacidad portante que prolongan la estructura de la pila de apoyo dentro del terreno hasta la profundidad requerida, o Grupos de pilotes, que suelen ser la solución más habitual enlazando la cabeza de estos mediante un encepado, permitiendo eliminar la excentricidad de la carga, y Zonas pilotadas, para reducir asentamientos del terreno o mejorar la seguridad a deslizamiento o hundimiento.

Respecto por su forma de trabajo, podrán clasificarse en:

- **Pilotes por fuste**, en terrenos donde la capacidad portante crece de forma paulatina con la profundidad sin existir un nivel claramente más resistente, transmitiendo la **carga al terreno a través del fuste, son los conocidos como pilotes flotantes**.
- **Pilotes por punta** en terrenos donde aparezca a cierta profundidad un estrato claramente más resistente, donde las cargas por pilotaje se transmitirán fundamentalmente por punta, conocidos como pilotes columna.

En cuanto al **método constructivo**, tenemos pilotes prefabricados hincados o pilotes perforados o excavados de hormigón in situ (ya sea con o sin entubación previa). El material empleado podrá ser hormigón in situ, que son los más frecuentemente utilizados en nuestro país, hormigón prefabricado -tanto de hormigón armado como pretensado-, acero o incluso madera (EUCALIPTO).

Para la comprobación de una cimentación profunda, al igual que en el caso de las superficiales, se deben considerar los distintos estados límite, últimos y de servicio. En relación a los ELU, habrá que comprobar la estabilidad global y los modos de fallo específicos, a Hundimiento, Arranque, Rotura del terreno por empuje horizontal y Esfuerzos excesivos en los pilotes, así como los ELS correspondientes.

Por último, además de la Guía mencionada inicialmente, cabría mencionar también **las Guías que el MITMA está desarrollando para impulsar la utilización del Eurocódigo 7, como por ejemplo las relativas en particular al Proyecto Geotécnico o a las Cimentaciones Superficiales**, que buscan facilitar la aplicación de mismo a estos aspectos del proyecto y que es de aplicación a las obras de carreteras según lo dispuesto en la **Orden Circular 1/2019**.