

4.1. INTRODUCCIÓN	67
4.2. RELLENOS	67
4.2.1. CLASIFICACIÓN	67
4.2.2. TRATAMIENTOS DE CONSOLIDACIÓN	69
4.3. EXPLANADAS	72
4.3.1. DEFINICIÓN	72
4.3.2. MATERIALES	72
4.3.3. TÉCNICAS DE MEJORA O ESTABILIZACIÓN	73
4.3.4. CATEGORÍAS DE EXPLANADA	73

Se exponen los criterios fundamentales para caracterizar el cimientado de los firmes, distinguiendo la coronación, cuya superficie superior recibe el nombre de explanada y es la de apoyo del firme, el relleno y el fondo sobre el que está dicho relleno. En última instancia se establecen unas categorías de explanada como parámetro de dimensionamiento de los firmes.

4.1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales condicionantes en el comportamiento estructural de un firme es la capacidad de soporte de los materiales subyacentes. No sólo la parte superior de esos materiales tiene influencia en dicho comportamiento, sino que influyen también incluso las características de materiales que se encuentran a varios metros de profundidad. En carreteras y otras infraestructuras de transporte terrestre el firme está sobre un terraplén o pedraplén convenientemente compactados o sobre el fondo de un desmonte en suelo o en roca. Sin embargo, en obras portuarias el apoyo está en general constituido por un relleno situado total o parcialmente bajo el nivel del mar (por lo que no es posible su compactación directa con los medios mecánicos habituales), situado a su vez sobre unos fondos marinos de calidad muy variable; por supuesto, también se presentan a veces situaciones similares a las habituales en carreteras, con rellenos compactados por tongadas (terraplenes o pedraplenes), únicamente viables en cotas por encima del nivel del mar.

Análogamente a como en terraplenes o pedraplenes se distinguen el cimientado, el núcleo y la coronación, en pavimentación portuaria se distingue también entre el fondo, el relleno y la coronación. Como en carreteras, en este documento el término *explanada* se reserva a la superficie sobre la que se coloca el firme y cuando se alude a la categoría de la explanada se está haciendo referencia a la capacidad de soporte de todo el conjunto bajo dicha superficie.

Los fondos que están bajo los rellenos portuarios son en general los materiales existentes, no siendo posible en la mayor parte de los casos su sustitución aun tratándose de fangos de escasa capacidad de soporte. En cuanto a los rellenos, se utilizan los materiales disponibles más próximos, lejos de las exigencias habituales en carreteras y ferrocarriles, pudiendo tratarse por tanto incluso de materiales procedentes del dragado; a este hecho se une la práctica imposibilidad de compactación, siendo aún hoy en día las técnicas de consolidación menos habituales de lo que sería conveniente. Finalmente, la coronación es a menudo inexistente, aunque en este documento se propugna la utilización de materiales de una cierta calidad, en espesor suficiente y debidamente compactados, como algo ineludible para tener un soporte aceptable del firme.

4.2. RELLENOS

En este apartado se recoge en relación a los rellenos portuarios la información mínima necesaria para el proyecto de los firmes. Para una mayor información sobre las prescripciones para el proyecto y construcción de los propios rellenos debe recurrirse a las *Recomendaciones geotécnicas para obras marítimas* (ROM 0.5) incluidas también en el programa ROM.

4.2.1. CLASIFICACIÓN

Los rellenos se pueden clasificar en dos grandes grupos: hidráulicos y de vertido directo (tabla 4.1).

4.2.1.1. RELLENOS HIDRÁULICOS

Son los rellenos conseguidos mediante un proceso de sedimentación de partículas sólidas contenidas en un efluente que procede de un dragado. Dicho efluente se caracteriza principalmente por su caudal y por el contenido de sólidos en suspensión.

TABLA 4.1. CLASIFICACIÓN DE LOS RELLENOS PORTUARIOS	
TIPOS DE RELLENOS	CLASIFICACIÓN
HIDRÁULICOS	Contenido de finos menor del 10 %
	Contenido de finos entre el 10 y el 35 %
	Contenido de finos mayor del 35 %
DE VERTIDO DIRECTO	Con materiales terrestres Rellenos granulares Rellenos cohesivos Pedraplenes limpios Pedraplenes sucios
	Antrópicos y no convencionales

En líneas generales, la ejecución consiste en verter una corriente de agua con sólidos en suspensión en un recinto cerrado y relativamente estanco. El agua se hace salir por un vertedero dispuesto en uno de los extremos del recinto, de manera que, estando los puntos de vertido y de desagüe separados lo más posible, en su recorrido se vayan sedimentando los sólidos que forman el relleno y los materiales finos se concentren junto al punto de desagüe para luego extraerlos (siempre que no existan restricciones, por ejemplo ambientales, al respecto).

Los rellenos hidráulicos son los que posiblemente presentan más a menudo la mejor relación calidad/precio. Como ocurre con todos los rellenos portuarios, sus excesivos asentamientos y sus deficiencias de capacidad de soporte son más debidas a los fondos (cuando están formados por fangos en espesores importantes) que inherentes al propio relleno.

Según el contenido de finos (materiales de tamaño inferior a 80µm), determinado sobre el conjunto del material en su punto de destino, los rellenos hidráulicos se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Contenido de finos inferior al 10 %: Dan buenos rellenos si se mantiene la superficie con pocas irregularidades para evitar acumulaciones de limos y arcillas.
- Contenido de finos entre el 10 % y el 35 %: Rellenos muy compresibles, pero cuya consolidación se puede acelerar intercalando capas de arena.
- Contenido de finos superior al 35 %: Rellenos blandos y muy compresibles, de difícil y lenta consolidación.

4.2.1.2. RELLENOS DE VERTIDO DIRECTO

Esta denominación alude a la forma de ejecutar el relleno. El vertido se realiza mediante gánguiles o desde tierra. Un caso particular lo constituyen los rellenos realizados mediante vertido por fondo mediante gánguiles de charnela; con estos sistemas, en los que el relleno puede llegar a tener un contenido de finos muy importante, no se alcanza la cota de coronación, pero sí se puede llegar a 3 o 4 m por debajo de la pleamar.

Según los materiales empleados se pueden distinguir los siguientes tipos:

- Rellenos con materiales terrestres: Dentro de este tipo se incluyen productos obtenidos de préstamos terrestres como la excavación de desmontes, obras subterráneas o cimentaciones; así como de obras de dragados y de la explotación de canteras u otros yacimientos. Cabe establecer la siguiente clasificación:

- Rellenos granulares: Realizados con gravas o arenas, o una mezcla de ambas, extraídas de préstamos terrestres y con contenido de finos no superior al 35%.
 - Rellenos cohesivos: Los rellenos cohesivos en sentido estricto (arcillas, limos arcillosos) nunca son deseables, pero en ocasiones puede resultar inevitable recurrir a ellos por imposibilidad de contar con otros materiales. Sin embargo, aquí se hace sobre todo referencia a materiales de plasticidad limitada, como los que se emplean en los núcleos de los terraplenes de carreteras.
 - Pedraplenes limpios o escolleras de granulometría abierta: Realizados con materiales rocosos con escaso contenido en finos. No son usuales para rellenos, pero sí en diques, banquetas de cimentación de muelles de gravedad y en cierres de diverso tipo, por lo que pueden constituir parte de un relleno.
 - Pedraplenes sucios o escolleras de granulometría cerrada: Realizados con materiales rocosos de calidad y alto contenido de finos (por ejemplo, el material sin clasificar denominado *todo uno* de cantera) o con materiales rocosos de baja calidad que no serían aceptables para escolleras exteriores. Son de uso frecuente en los rellenos del trasdós de muelles de cajones o de pilotes. Se protegen o no con capas de filtro dependiendo de su calidad.
- Rellenos antrópicos y no convencionales. Los rellenos antrópicos son los realizados con productos de desecho: escombros y residuos sólidos urbanos fundamentalmente. Su gran heterogeneidad los hace en principio muy poco aconsejables, pero constituyen una opción no desdeñable cuando no existe la opción de conseguir con un coste razonable otros materiales de relleno. Sin embargo, se deben proscribir en cualquier caso las basuras con desechos orgánicos.

Bajo el epígrafe de rellenos no convencionales destacan los formados con subproductos o residuos industriales, principalmente escorias y cenizas volantes. Las escorias más habituales son las siderúrgicas, procedentes tanto de horno alto (escorias cristalizadas, pues las granuladas se suelen destinar a otros usos) como de acería. Por su parte, las cenizas volantes proceden de las centrales térmicas de carbón. Con ambos tipos de materiales se pueden conseguir rellenos de una calidad excelente, la cual mejora con el tiempo debido a la presencia de compuestos puzolánicos. En el caso de las escorias, se puede incluso prescindir de la capa de coronación, siempre que esté controlado el contenido de cal libre de los materiales que se encuentren por encima del nivel del mar.

Sobre todo en los rellenos antrópicos, pero también en algunos rellenos no convencionales, pueden aparecer problemas tales como:

- contaminación física, química y/o biológica del medio marino y su entorno por fuga de elementos no controlados y su acumulación en zonas no deseadas. Aunque en estos casos deberán considerarse soluciones que eviten la contaminación del medio físico;
- importantes cambios de volumen por fenómenos de expansividad de determinados subproductos (por ejemplo, algunas escorias de acería);
- deformabilidad excesiva, ya que generalmente el vertido se realiza sin control de la compactación, salvo en la zona por encima del nivel del mar; este problema, común a cualquier relleno marino, se acentúa con estos materiales o residuos, pues su deformabilidad suele ser mayor que la de otros materiales convencionales de análoga granulometría;
- heterogeneidad de su comportamiento y por tanto de las soluciones aplicables.

4.2.2. TRATAMIENTOS DE CONSOLIDACIÓN

En la mayoría de los casos, la calidad de los rellenos recién construidos no es la adecuada para su utilización como cimiento de un firme definitivo. Los rellenos portuarios, por su naturaleza variada, su baja capacidad de soporte en general y su extensión en áreas relativamente grandes requieren la aplicación de técnicas de mejora del terreno si se quiere construir un firme definitivo sin gran demora de tiempo. Sin embargo, hay que destacar que los asientos esperables se deben tanto a la naturaleza de los fondos como a la del propio relleno. En cualquier caso, estos asientos no sólo provocan, cuando se producen de manera no uniforme, deformaciones inaceptables en los firmes, sino que originan escalonamientos en las juntas en los muelles, los cuales a su vez son causa de problemas en los rellenos.

Las técnicas más adecuadas en cada caso van a depender del tipo y características del relleno. Hay que conocer por tanto la naturaleza del relleno y estimar el estado de compacidad o consistencia en que se va a encontrar tras su ejecución, de manera que se pueda determinar si realmente se necesita o no y en qué medida mejorar sus características. Uno de los datos más importantes es la profundidad del relleno, que condicionará la eficacia del método a utilizar.

Cuando se trata de rellenos granulares, lo que importa es la densidad relativa, de la que dependen casi exclusivamente su resistencia, su deformabilidad o compresibilidad, y la susceptibilidad a la licuefacción. Lo que se pretende en estos casos es por tanto aumentar la densidad relativa en la medida en que sea necesario.

Si se trata de rellenos cohesivos, habrá que determinar su plasticidad y sus condiciones de estado (densidad seca y humedad natural). También interesa conocer su resistencia al corte sin drenaje, su módulo edométrico y su coeficiente de consolidación.

Es muy importante considerar la influencia del tratamiento de consolidación del relleno en la consolidación de los fondos sobre los que se apoya. Así mismo hay que valorar comparativamente los costes económicos de los distintos tratamientos y en definitiva su relación coste/eficacia. Estos análisis son los que realmente deben servir para tomar la decisión sobre el tratamiento a llevar a cabo en cada caso.

4.2.2.1. TIPOS DE TRATAMIENTO

Una primera posibilidad puede ser la de esperar sin hacer nada ni utilizar el relleno hasta que se produzcan los asientos esperados, lo que puede ser un proceso muy largo.

Una segunda opción es utilizar un firme provisional y realizar las operaciones portuarias para las que esté previsto, lo que mejorará el relleno produciendo los asientos esperados debido a las acciones derivadas de esas operaciones.

En tercer lugar, puede recurrirse a técnicas que sin ser propiamente de consolidación sirven para homogeneizar las características del relleno, lo que conduce a que los asientos se produzcan de manera más uniforme; es el caso de la técnica de hinca de pilotes pasivos, tradicionalmente de madera.

En cambio, cuando se decida actuar directamente sobre el relleno acelerando su consolidación las opciones son las que sucintamente se comentan a continuación y que son tratadas con mayor amplitud en ROM 0.5.

4.2.2.1.1. PRECARGA

Si se considera que las deformaciones del relleno al ser solicitado por las cargas de servicio van a ser excesivas, cabe producirlas previamente con elementos que no sean dañados por dichas deformaciones, normalmente con tierras, planchas de acero, etc. Así, la deformabilidad del relleno para el régimen futuro de cargas quedará muy disminuida. El tiempo de sobrecarga se puede acortar con la utilización de drenes verticales.

La precarga es con mucho el tratamiento de consolidación más habitual, debido a su baja relación coste/eficacia y a su influencia en la consolidación de los fondos sobre los que se apoya el relleno.

4.2.2.1.2. COMPACTACIÓN Y SUSTITUCIÓN DINÁMICAS

Los sistemas dinámicos se basan en los efectos que sobre la rigidez y la resistencia del relleno producen su sometimiento a un elevado número de ciclos de tensión-cortante o su densificación por introducción en su seno de ciertos volúmenes de materia de aportación. La compactación dinámica consiste en dejar caer una maza desde una determinada altura: cada impacto produce una onda de compresión que se transmite en el relleno a la velocidad del sonido generando compresiones y tracciones; en los procesos de sustitución, hay además una retirada de material y su sustitución en determinados puntos por otro de superior calidad.

4.2.2.1.3. VIBROFLOTACIÓN

Consiste en hacer descender en la masa del relleno un vibrador cilíndrico que genera vibraciones horizontales. La penetración se ayuda por inyección de agua y aire. Alcanzada la pro-

fundidad deseada, se realiza la vibroflotación propiamente dicha en tramos sucesivos de abajo arriba y se amontona un material de aportación alrededor de la boca de la perforación de modo que pueda absorberlo sin limitaciones. Dicho material penetra libremente por el espacio anular que se forma entre la tubería y las paredes de la perforación. Se suele trabajar en mallas de un punto cada 4 a 12 m² y las variables a considerar son la velocidad de descenso y el tiempo y la frecuencia de vibración. Las ventajas fundamentales de este método son:

- Es viable en la práctica habitual hasta aproximadamente 15 m. de profundidad.
- Realiza una compactación uniforme en profundidad.
- Además de la compactación por vibración se mejora el relleno por la aportación de un material de mejor calidad.

Se pueden distinguir los siguientes tipos de vibroflotación:

- Vibrocompactación: Es recomendable en el caso de rellenos granulares limpios y sueltos. Suele admitirse que el máximo contenido de finos compatible con el proceso es el 18 %. Para contenidos superiores es preciso añadir relleno de piedra con tamaño uniforme de algunos centímetros. El espaciamiento entre puntos de vibrocompactación suele variar entre 1,8 y 3 m, alcanzándose densidades relativas del orden del 70-80 %.
- Vibrosustitución: Se utiliza para formar columnas de piedra en rellenos cohesivos blandos que son removidos por un chorro de agua y sustituidos por el material de aportación.
- Vibrodesplazamiento: Se utiliza para formar columnas de piedra en rellenos cohesivos menos blandos en los que el vibrador penetra y forma un agujero estable. En general se precisa una cohesión mínima de 20 kN/m² para asegurar la estabilidad de las paredes de la columnas de piedra en la parte superior.
- Compactación dinámica con pilotes de balasto: Este sistema tiene la doble función de comprimir el relleno y permitir el drenaje del agua existente dentro de él.
- Penetración vibratoria: Este método consiste en hincar en el relleno un perfil metálico (asociación de perfiles de tablestacas) suspendido de un vibrador. El perfil se hace descender vibrando hasta la profundidad deseada, donde se deja vibrando cierto tiempo y luego se extrae vibrando también.

4.2.2.1.4. CONSOLIDACIÓN CON EXPLOSIVOS

Se realiza haciendo explotar cargas dentro de los rellenos de manera que las ondas producidas actúen sobre su estructura o sobre la superficie aumentando la compacidad. Se aplica a rellenos de arenas finas limosas cohesivas.

La ejecución se realiza principalmente de tres formas diferentes:

- Fondeando las cargas (cuando el relleno está bajo el agua).
- Con perforaciones hechas en el relleno.
- Colocando las cargas a una cierta profundidad bajo la superficie del relleno.

4.2.2.1.5. JET-GROUTING

Es una técnica de inyección destinada al tratamiento de los materiales de relleno en profundidad para formar columnas de material mejorado o para realizar una sustitución por otros productos. Dicho tratamiento se realiza de abajo a arriba, inyectándose lechada de cemento. El procedimiento es rápido y versátil, estando especialmente indicado en el caso de materiales granulares.

4.2.2.2. FILTROS Y CAPAS ANTICONTAMINANTES

Los filtros se utilizan para evitar la remoción de finos que causa el agua al circular a través del relleno: los gradientes debidos a la carrera de marea, a oleaje, o a las corrientes pueden ser elevados y producir un arrastre de finos con debilitamiento de la estructura y aparición de socavones en la superficie.

Rara vez los rellenos cumplen las condiciones de autofiltro que aseguren su estabilidad, ya que generalmente faltan los tamaños intermedios que son precisamente los que aseguran dicha condición de autofiltro. Esto puede comprobarse dividiendo arbitrariamente la granu-

lometría del relleno en dos partes: superior e inferior a un tamaño dado (que puede ser 1 mm). Los gruesos deberían ser capaces de filtrar a los finos. Si el material no cumple estas condiciones habrá de ser protegido con capas de filtro o al menos de transición, tal como es habitual en la protección de los núcleos de los diques.

La colocación de filtros en el interior de los rellenos resulta difícil y existen a menudo pocas garantías de su eficacia. Para rellenos finos estas capas pueden ser sustituidas con ventaja por geotextiles que cumplen bien las funciones de filtro, aunque su colocación a veces también puede resultar difícil; en cualquier caso, los geotextiles no deben ser empleados cuando existan piedras con tamaños superiores a los 20 cm, salvo que tengan un alma de geomalla para proteger frente al punzonamiento.

Por otro lado, entre el relleno y la coronación conviene disponer de capas anticontaminantes, a fin de que la ascensión de finos procedentes de aquél no acaben con la desaparición de la coronación.

4.3. EXPLANADAS

4.3.1. DEFINICIÓN

La ejecución de rellenos con materiales procedentes de dragado produce, especialmente en la fase de consolidación, una acumulación de finos en superficie que resulta muy difícil de eliminar, impidiendo prácticamente el desplazamiento de la maquinaria. La coronación con materiales de calidad que van siendo progresivamente empujados sobre esa superficie constituye ante todo una plataforma de trabajo adecuada. Parte de los materiales de la coronación penetran en el relleno, lo que facilita la transmisión de cargas. Por otra parte, a menudo sólo la coronación permanece constantemente por encima del nivel del mar.

La explanada se define como la superficie de la coronación del relleno sobre la que se apoya directamente el firme. El espesor de esta coronación ha de ser como mínimo de 1 m (diferencia entre la cota de explanada y la del relleno antes de empezar la extensión de la coronación), debiendo extenderse en tongadas no superiores a los 40 cm; en cualquier caso, el espesor de dichas tongadas debe ser tanto menor cuanto peor sea la calidad del material utilizado.

La calidad de la explanada, en cuanto a su capacidad de soporte, depende en gran medida de los materiales empleados en la capa de coronación y del grado de compactación obtenido en su puesta en obra, aunque también, como se ha indicado de las características del relleno, principalmente del grado de consolidación conseguido en el mismo y de su homogeneidad.

4.3.2. MATERIALES

Los materiales que se deben utilizar para coronaciones han de ser suelos de una cierta calidad (como en los rellenos compactados que se emplean por ejemplo en carreteras) o bien un *todo uno* procedente de frente de cantera. Se pueden emplear también materiales de peor calidad, pero sometidos a procesos de estabilización o mejora.

A continuación se describen someramente los materiales utilizados en las coronaciones de los rellenos.

4.3.2.1. SUELOS ADECUADOS

Carecen de elementos de tamaño superior a diez centímetros (10 cm) y su cernido por el tamiz 0,080 UNE es inferior al treinta y cinco por ciento (35 %) en peso. Su límite líquido es inferior a cuarenta ($LL < 40$). La densidad máxima correspondiente al ensayo Proctor normal no ha de ser inferior a una tonelada y setecientos cincuenta kilogramos por metro cúbico ($1,750 \text{ t/m}^3$). El índice CBR debe ser superior a cinco (5) y el hinchamiento, medido en dicho ensayo, debe ser inferior al dos por ciento (2 %). El contenido de materia orgánica es inferior al uno por ciento (1 %).

4.3.2.2. SUELOS SELECCIONADOS

Carecen de elementos superiores a ocho centímetros (8 cm) y su cernido por el tamiz 0,080 UNE es inferior al veinticinco por ciento (25 %) en peso. Simultáneamente, su límite líquido

es menor que treinta ($LL < 30$) y su índice de plasticidad menor que diez ($IP < 10$). El índice CBR ha de ser superior a diez (10) y no deben presentar hinchamiento en dicho ensayo. Han de estar exentos de materia orgánica.

4.3.2.3. TODO UNO DE CANTERA

Consiste en una mezcla sin clasificar de materiales gruesos y finos, obtenidos de frentes de cantera y de la cual se eliminan habitualmente los materiales cuyo tamaño exceda del 50 % del espesor de la tongada (en cualquier caso los superiores a 20 cm). Presentan importantes ventajas derivadas de su esqueleto pétreo: constituyen una excelente plataforma de trabajo, transmiten bien las cargas al relleno y tienen características anticontaminantes.

4.3.2.4. SUELOS SELECCIONADOS CON CBR > 20

Se trata de suelos que cumplen las especificaciones de los suelos seleccionados y que tienen un CBR superior a veinte (20).

4.3.3. TÉCNICAS DE MEJORA O ESTABILIZACIÓN

Cuando no se disponga de materiales de una cierta calidad (suelos adecuados como mínimo), se pueden utilizar para la coronación del relleno otros de peores características, pero sometidos a procesos de mejora o estabilización, generalmente con cal y/o con cemento.

La mejora o estabilización de un suelo con cal o con cemento es la mezcla realizada in situ y convenientemente compactada del suelo, cal o cemento, agua y eventualmente adiciones, a la cual se le exigen unas determinadas condiciones de insusceptibilidad al agua, resistencia y durabilidad.

La mejora y la estabilización se diferencian únicamente por el grado de cambio logrado con respecto al material original. Normalmente, en los procesos de mejora la cantidad de conglomerante utilizada está en torno a 2-3 % sobre peso seco del suelo; en los procesos de estabilización, pueden llegar a ser necesarias proporciones muy superiores, aunque por razones económicas las más habituales están en torno al 3-5 %.

La cal es el producto más adecuado cuando el suelo tiene una elevada plasticidad y sobre todo una alta humedad natural, superior a la necesaria para la compactación, pues entre los efectos principales de la cal está el aumento de la humedad óptima de compactación. Por el contrario, con suelos de reducida plasticidad es mucho más efectiva la incorporación de cemento. En ocasiones, se utilizan ambos conglomerantes: en una primera fase se incorpora la cal, con lo que se produce una cierta reducción de la plasticidad y una granulación del suelo; transcurrido un cierto tiempo, se incorpora en una segunda fase el cemento.

4.3.4. CATEGORÍAS DE EXPLANADA

Para definir la categoría de la explanada como cimiento de un firme se deben tener en cuenta diversos aspectos: la naturaleza del relleno y su grado de consolidación, y los materiales empleados en la coronación.

Se distinguen seis categorías de rellenos:

- Rellenos malos no consolidados (MNC). Rellenos hidráulicos con alto contenido de finos (> 35 %) o rellenos antrópicos de vertido directo, no sometidos a ningún tratamiento de consolidación.
- Rellenos malos consolidados (MC). Ídem, pero sometidos a alguno de los tratamientos de consolidación.
- Rellenos regulares no consolidados (RNC). Rellenos hidráulicos con contenido de finos entre el 10 y el 35 % o rellenos no convencionales de vertido directo, no sometidos a ningún tratamiento de consolidación.
- Rellenos regulares consolidados (RC). Ídem, pero sometidos a alguno de los tratamientos de consolidación.
- Rellenos buenos no consolidados (BNC). Rellenos hidráulicos con bajo contenido de finos (< 10 %) o rellenos de vertido directo con materiales terrestres, no sometidos a ningún tratamiento de consolidación.

- Rellenos buenos consolidados (BC). ídem, pero sometidos a alguno de los tratamientos de consolidación.

Se considera que un relleno no está consolidado cuando, construida la coronación, los asientos esperables (estimación hecha mediante alguno de los procedimientos indicados en ROM 0.5) durante los diez años siguientes alcanzan un total de 0,10 m o más. Cuando el relleno no esté consolidado sólo serán admisibles firmes provisionales. Por tanto, antes de construir un firme definitivo hay que comprobar que los asientos acumulados esperables desde el momento anterior a su construcción hasta pasados 10 años sean inferiores a los indicados 0,10 m.

Otro factor a tener en cuenta es la homogeneidad del relleno. Puede decirse que un relleno es homogéneo cuando el asiento esperable no excede de 0,05 m. en una distancia de 10 m. Sin embargo, en una primera aproximación este parámetro no se ha contemplado explícitamente en la clasificación de explanadas que se recoge en la tabla 4.2., en la cual se ha considerado con criterio conservador la situación más habitual de rellenos no homogéneos.

En cuanto a la coronación se pueden distinguir las siguientes situaciones:

- Ausencia de coronación. Situación nada recomendable (incluso inviable en la mayor parte de los casos) y que sólo podría llegar a admitirse para firmes provisionales, y en la que es conveniente recurrir en cualquier caso al empleo de capas de filtro o de geotextiles entre la explanada y la capa inferior del firme.
- Coronación con suelos adecuados (o con otros de peores características mejorados con cal o con cemento de manera que la mezcla cumpla las exigencias de los suelos adecuados).
- Coronación con suelos seleccionados (o con suelos adecuados o incluso de peores características estabilizados con cemento de manera que la mezcla cumpla las exigencias de los suelos seleccionados).
- Coronación con suelos seleccionados con CBR > 20 (o con suelos adecuados o incluso de peores características estabilizados con cemento de manera que la mezcla cumpla las exigencias de los suelos seleccionados con CBR superior a 20).
- Coronación con todo uno de cantera.

La combinación de los diferentes tipos de rellenos y las distintas situaciones de coronación permite clasificar las explanadas portuarias en cuatro categorías:

- Explanada deficiente E0
- Explanada aceptable E1
- Explanada buena E2
- Explanada muy buena E3

TABLA 4.2. CATEGORÍAS DE EXPLANADAS

CORONACIÓN	(*) MNC	(*) RNC	(*) BNC	MC	RC	BC
Suelos adecuados	E0	E0	E0	E1	E1	E1
Suelos seleccionados	E1	E1	E1	E1	E2	E2
Todo uno de cantera	E1	E1	E1	E2	E2	E3
Suelos seleccionados con CBR > 20	E1	E1	E2	E2	E3	E3

NOTA:

(*) En estos casos se construirán firmes provisionales.

La clasificación de las explanadas para el proyecto de los firmes portuarios se realiza, en principio, de acuerdo con el contenido de la tabla 4.2, cuyo carácter es únicamente orientativo. La clasificación definitiva de la explanada debe hacerse en función de los resultados de ensayos de carga con placa.

La tabla 4.3 recoge los valores mínimos exigidos del módulo de compresibilidad E_2 obtenido en el segundo ciclo de carga de dicho ensayo, así como los valores máximos de la relación E_2/E_1 siendo E_1 el módulo de compresibilidad obtenido en el primer ciclo de carga (mientras E_2 sirve para evaluar la capacidad de soporte en la profundidad afectada por el bulbo de presiones bajo la placa, la relación E_2/E_1 da una idea del grado de compactación alcanzado en la coronación).

Si no se alcanzase el módulo de compresibilidad mínimo indicado para la categoría de explanada preestablecida, se procedería a realizar las operaciones pertinentes para alcanzar ese objetivo o se asignaría como categoría de la explanada la correspondiente al módulo realmente obtenido.

Debe tenderse en cualquier caso a la consecución de la mayor categoría posible de explanada, recurriendo a la consolidación del relleno y, en su caso, a tratamientos de mejora o estabilización de la capa de coronación; todo ello es tanto más importante cuanto más lo sea la categoría del tráfico.

TABLA 4.3. CATEGORÍAS DE EXPLANADAS SEGÚN EL ENSAYO DE CARGA CON PLACA		
CATEGORÍA	E_2 MÍNIMO (MPa)	E_2/E_1 MÁXIMO
E1	25	2,0
E2	35	2,0
E3	55	2,0

