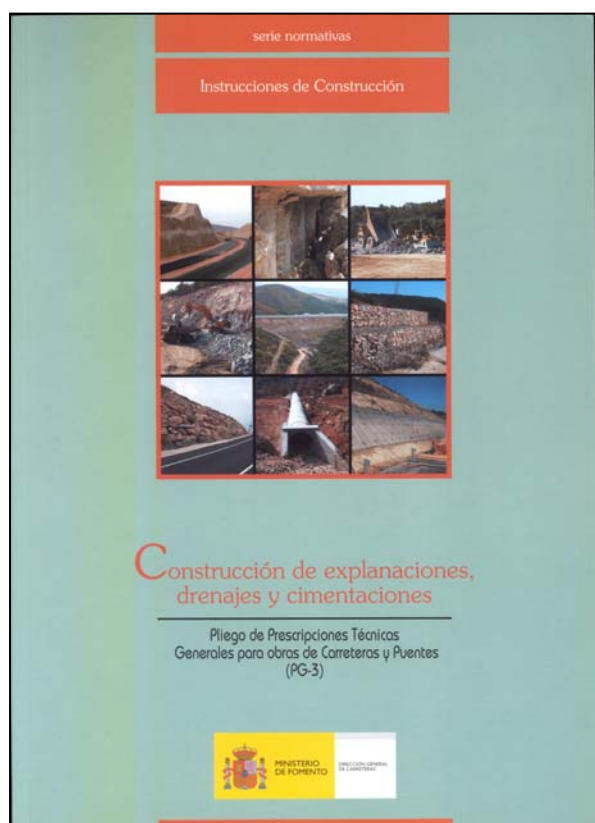


MATERIALES MARGINALES EN EL PG-3

Álvaro Parrilla Alcaide
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos del Estado
Jefe del Servicio de Geotecnia-Dirección Técnica
Dirección General de Carreteras-Ministerio de Fomento

RESUMEN

*La Orden FOM/1382/2002 introduce por vez primera en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) los denominados genéricamente **materiales marginales**, con el propósito fundamental de obtener un mejor aprovechamiento de los recursos naturales existentes en las obras y sus inmediaciones. El posible empleo de estos suelos y rocas, directamente desechados por el PG-3/75, debe justificarse mediante un estudio especial, específico para cada caso concreto. En este texto se resumen las principales prescripciones recogidas en dicho Pliego (año 2002) para estos materiales, así como la normativa elaborada con posterioridad por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, donde se hayan tenido en cuenta sus especiales y dispares características*



1.- INTRODUCCIÓN

La experiencia acumulada en la construcción de rellenos desde la anterior versión del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes PG-3, aprobada por Orden Ministerial de 6 de febrero de 1976 (PG-3/75), así como las crecientes exigencias medioambientales y de aprovechamiento de los recursos naturales, entre otros aspectos, motivaron que desde finales de la década de los 80 y principios de la de los 90, comenzara a pensarse seriamente en la posibilidad de introducir un

nuevo tipo de materiales en el PG-3, a los efectos de su posible utilización en la formación de rellenos: los denominados genéricamente **materiales marginales**.

Se trataba de analizar qué aspectos de los suelos y rocas motivaban que no se consideraran aptos para su empleo directo en la formación de rellenos, intentando ver en qué casos y con qué tipo de medidas, podrían ser susceptibles de aprovechamiento materiales hasta entonces desechados.

Con ello se inició una andadura que llevaría al año 2000, con la publicación de la Orden Circular 326/00. Dicha orden, tras someterse a la oportuna tramitación en los ámbitos nacional y de la Unión Europea, e introducidos los cambios derivados de la misma, se publicó en el Boletín Oficial del Estado¹ con el rango de Orden Ministerial, como Orden FOM/1382/2002.

En los artículos 330, 331 y 333, referidos respectivamente a **terraplenes**, **pedraplenes** y **rellenos todo-uno**, se definen por vez primera, de manera concreta, los **materiales marginales** en España.

El Pliego no se limita a permitir, sin más, el empleo de tales materiales, con lo que ello podría suponer en cuanto a una eventual merma de calidad de determinadas obras, sino que efectúa un tratamiento del tema en el que se plantea la necesidad de efectuar un *estudio especial* que justifique la posibilidad de utilizarlos y las condiciones de empleo, en cada caso concreto.

¹ Orden FOM/1382/2002 de 16 de mayo, por la que se actualizan determinados artículos del pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes, relativos a la construcción de explanaciones, drenajes y cimentaciones (BOE del 11 de junio de 2002 y corrección de erratas en BOE del 26 de noviembre de 2002).

En el momento de redacción de este documento los textos referidos pueden obtenerse, además de en las correspondientes publicaciones del Ministerio de Fomento, en las siguientes direcciones internet:

<http://www.boe.es/boe/dias/2002-06-11/pdfs/A20938-20991.pdf>

<http://www.boe.es/boe/dias/2002-11-26/pdfs/A41607-41607.pdf>

El camino abierto desde la publicación de las órdenes ya referidas, comienza a mostrar sus frutos y se presenta lleno de posibilidades que apuntan hacia un prometedor futuro en lo referente a la factibilidad de emplear en las obras, de modo controlado, unos materiales otrora desechados.

Cada vez es mayor la experiencia acumulada en la realización de este tipo de obras; hoy a la par que se avanza en el proyecto de nuevas secciones, comienza a acumularse un bagaje de conocimientos derivados del comportamiento real de estas obras de tierra.

2.- PROCEDIMIENTO GENERAL DE ACTUACIÓN. CRITERIOS DE MARGINALIDAD EN EL PG-3

Como ya se ha comentado, el hecho de que aparezca una nueva clasificación de materiales en la que se incluyen las categorías de suelos y rocas marginales, no implica que éstos últimos puedan utilizarse directamente y en cualquier zona de los rellenos, sino que su empleo, al que podrán imponerse limitaciones, deberá venir precedido de un *estudio especial* justificativo, específico y relativo a cada caso concreto, que avale y defina su posible empleo.

El modo general de proceder expresado en los artículos 330, 331 y 333 del PG-3, ante un material marginal responde al esquema general siguiente:

- Realización de los correspondientes **ensayos de laboratorio** para la identificación del posible carácter marginal del material
- En caso de que así resulte, **realización de un estudio especial**, específico para cada situación concreta, sobre la factibilidad de empleo del mismo



- **Utilización** del material en su caso, a partir de las **conclusiones** del correspondiente ***estudio especial***

Así pues, el Pliego recoge una metodología de actuación común para suelos y rocas, independiente de la causa concreta de marginalidad que en cada circunstancia resulte de aplicación, y de que en un mismo material se presenten una o más de dichas causas.

En lo que sigue se resumirán, de manera independiente, los **criterios de marginalidad** contenidos en el PG-3 en cada uno de sus artículos relativos a terraplenes, pedraplenes y rellenos todo-uno, que se adelantan, a modo de sumario, en la tabla siguiente:

Artículo	Apartado	Criterio de marginalidad
330 Terraplenes	330.3.3.4	Plasticidad
330 Terraplenes	330.3.3.4/4.4.5	Contenido de materia orgánica
330 Terraplenes	330.3.3.3/4.4.1	Colapsabilidad
330 Terraplenes	330.3.3.4/4.4.2	Expansividad
330 Terraplenes	330.3.3.3/4.4.4	Contenido de sales solubles
330 Terraplenes	330.4.4.3	Contenido de yeso
331 Pedraplenes	331.4.4	Inadecuación de forma
333 Rellenos todo-uno	333.4.3	Calidad del material: - Rocas evolutivas - Rocas con sulfuros oxidables - Rocas con minerales solubles - Rocas con minerales combustibles
330 Terraplenes(*)	330.4.1.3	Índice CBR

(*) No constituye un criterio de marginalidad en sentido estricto por no ser una propiedad intrínseca del material, si bien la no obtención de un valor mínimo supone la necesidad de efectuar un *estudio especial* al respecto

3.- EL ESTUDIO ESPECIAL SOBRE EL POSIBLE EMPLEO DE LOS MATERIALES MARGINALES

Como se ha puesto de manifiesto anteriormente, el posible uso de los materiales marginales debe venir avalado, en cada caso concreto, por un *estudio especial* elaborado al respecto que debe ser aprobado por el Director de las Obras.

El PG-3 define el contenido esencial de dicho estudio que, puede aplicarse con carácter general a los efectuados sobre materiales de tipo suelo o roca y que deberá contemplar explícitamente y para cada caso concreto, con el suficiente detalle, al menos los siguientes aspectos:

- Determinación y valoración de las propiedades que confieren al material su carácter de marginal.
- Influencia de dichas características en los diferentes usos del material dentro de la obra.
- Posible influencia en el comportamiento o evolución de otras zonas u elementos de la obra.
- Estudio pormenorizado, en el que se indiquen las características resistentes del material y los asientos totales y diferenciales esperados, así como la evolución futura de estas características.
- Conclusión justificada de los posibles usos del material en estudio.
- Cuidados, disposiciones constructivas y prescripciones técnicas a adoptar para los diferentes usos del suelo dentro de la obra.

Fundamentalmente en los artículos 330 y 333 del PG-3, se incluyen cuestiones básicas relacionadas con los diferentes criterios de marginalidad que pueden aplicarse en la formulación de dicho estudio, si bien un análisis detallado del mismo escapa del cometido de un Pliego General de estas características.

En los apartados 4 a 6 de este texto, se procederá al análisis de los contenidos del PG-3 en relación con los criterios de marginalidad empleados en los artículos sobre rellenos.

4.- MATERIALES MARGINALES EN EL ARTÍCULO 330: **TERRAPLENES**

Como planteamientos básicos presentes en el artículo 330 de la Orden FOM/1382/2002, se indica sobre los materiales para la formación de terraplenes en 330.3.1 *Principios generales*, que:

*“Los materiales a emplear en rellenos tipo terraplén serán, **con carácter general, suelos o materiales locales** que se obtendrán de las excavaciones realizadas en obra, de los préstamos que se definan en el Proyecto o que se autoricen por el Director de las Obras.*

...

*En todo caso, se utilizarán materiales que permitan **cumplir las condiciones básicas** siguientes:*

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

...”

para continuar en 330.3.2 *Características de los materiales*, refiriendo que:

“...

*Además de los **suelos naturales**, se podrán utilizar en terraplenes los productos **procedentes de procesos industriales** o de **manipulación humana**, siempre que cumplan las especificaciones de este artículo y que sus características físico-químicas garanticen la estabilidad presente y futura del conjunto.*

...”

Estos planteamientos fijan el marco de actuación, en relación con el empleo de materiales en la formación de terraplenes del artículo 330 del PG-3, a partir del cuál se clasifica a los

suelos en cinco grupos (seleccionados, adecuados, tolerables, marginales e inadecuados), en función de las siguientes características intrínsecas de los mismos:

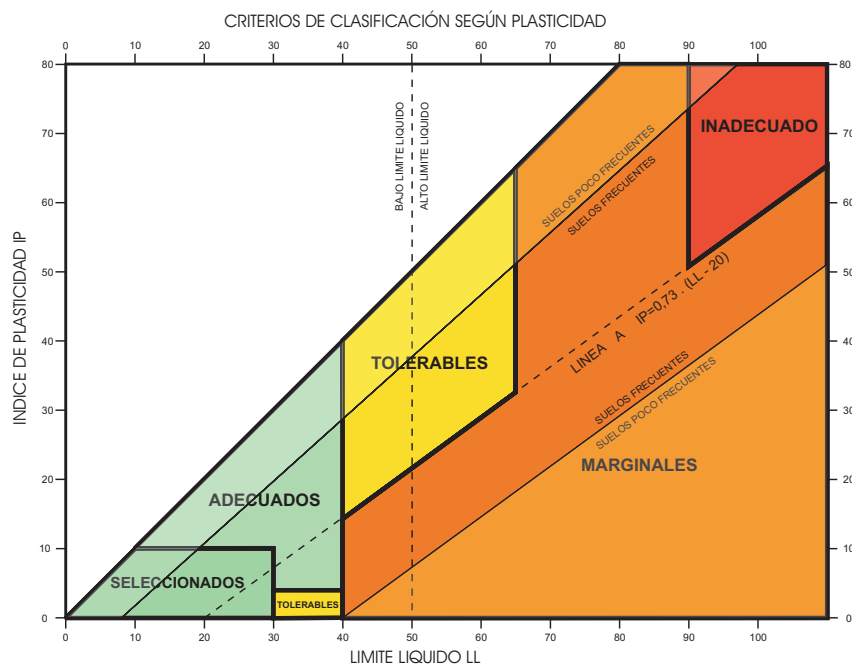
- Plasticidad
- Contenido de materia orgánica
- Colapsabilidad
- Expansividad
- Contenido de sales solubles
- Contenido de yeso
- Granulometría

Se encuentran fuera de la clasificación otros parámetros de la versión de 1975, como el índice CBR o el hinchamiento en dicho ensayo. No obstante lo anterior, el vigente Pliego exige un valor mínimo del referido índice, ligado a las condiciones de compactación de puesta en obra de cada una de las zonas que constituyen el terraplén que, en el caso del núcleo -donde se fija el valor más bajo- es de tres ($CBR_{núcleo} \geq 3$), por debajo del cuál y al igual que sucede con los materiales marginales propiamente dichos, se requiere la realización de un *estudio especial* al respecto, aprobado por el Director de las Obras.

A continuación se pasa revista, de forma resumida, a lo especificado en el artículo 330 del PG-3 sobre cada uno de los criterios de marginalidad.

Además se presentan las figuras 1 y 2 que incluyen, en forma de tablas y gráficos, las principales diferencias en lo que a clasificación de suelos se refiere, entre las versiones PG-3/75 y FOM/1382/2002.

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS PARA TERRAPLENES, SEGÚN ARTÍCULO 330



Todos los suelos para terraplén deben cumplir $\#20 > 70\%$ ó $\#0,08 \geq 35\%$

SELECCIONADOS	ADECUADOS	TOLERABLES	MARGINALES	
$<0,2\%$	$<1\%$	$<2\%$	apdo 330.4.4.5	Materia orgánica
$<0,2\%$	$<0,2\%$	YESO $<5\%$ OTRAS $<1\%$	apdo 330.4.4.3 apdo 330.4.4.4	Sales solubles
—	—	$<3\%$	$<5\%$ apdo 330.4.4.2	Hinchamiento libre
—	—	$<1\%$	apdo 330.4.4.1	Asiento en ensayo de colapso
≤ 100	≤ 100	—	—	Tamaño máximo (mm)
$\#0,4 \leq 15\%$ (*)	$\#2 < 80\%$ $\#0,4 < 75\%$	$\#2 < 80\%$	—	Otras condiciones granulométricas
	$<25\%$	$<35\%$	—	Finos ($\#0,08$)
	SEGÚN GRÁFICO ADJUNTO		—	Plasticidad

(*) en caso de cumplir la condición indicada, se está exento del resto de las comprobaciones de granulometría y plasticidad

$\#n$ = A% porcentaje en peso que pase por tamiz n UNE

($\#n$ = N° de tamiz de la serie UNE)

Figura 1.- Resumen de los criterios de clasificación de los suelos en el vigente PG-3 (Orden FOM/1382/2002)

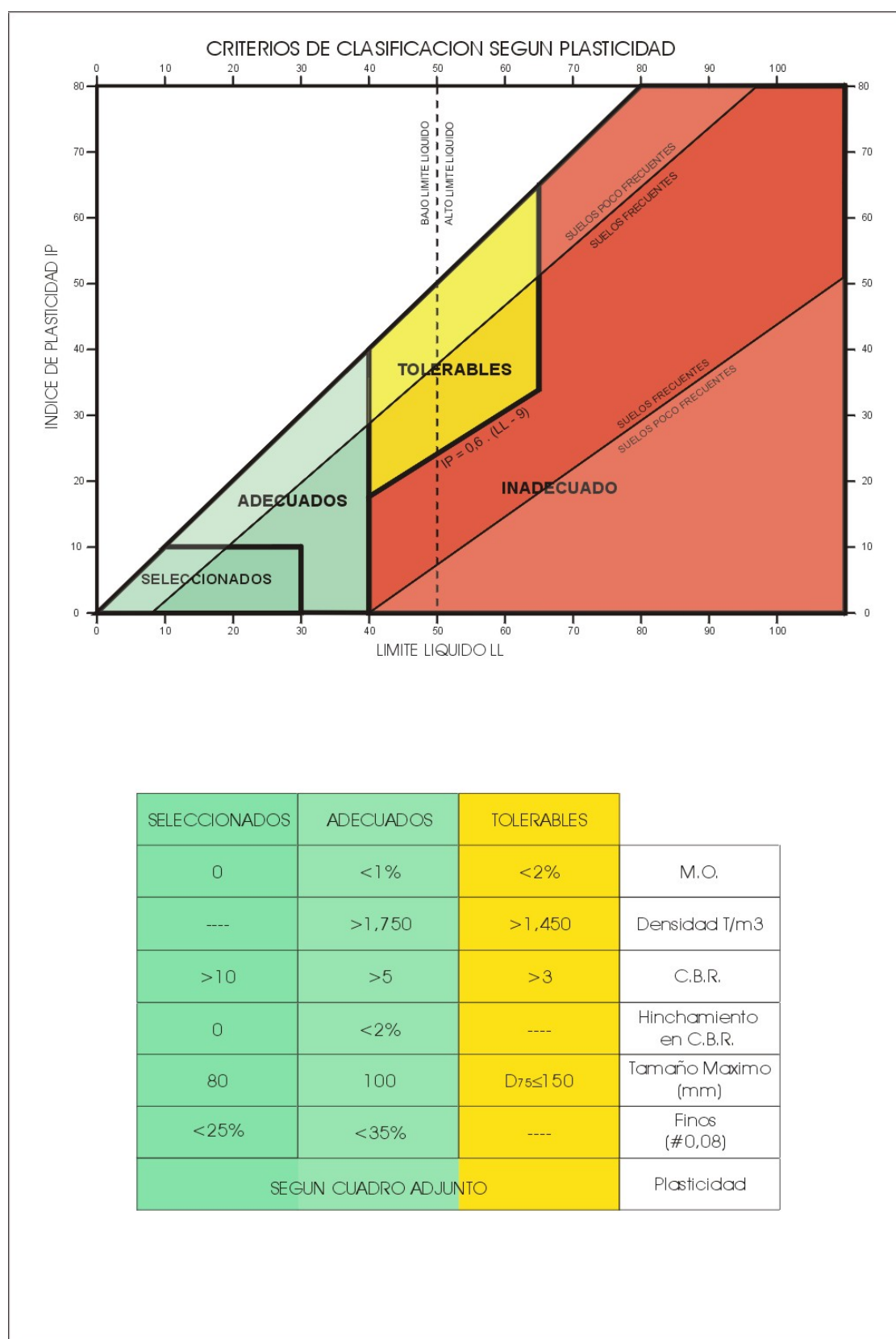


Figura 2.- Resumen de los criterios de clasificación de los suelos en el PG-3/75 (OM 6 de febrero de 1976)

4.1.- Plasticidad

Como resumen de los criterios de validez de los suelos para la formación de terraplenes en el PG-3, en función de los límites de Atterberg, se incluyen en las figuras 1 y 2 sobre la denominada carta de Casagrande, los criterios reflejados tanto en la versión vigente, como en la de 1975.

La diferencia fundamental entre ambas, estriba en que buena parte de la zona considerada como *inadecuada* en 1975, hoy figura como *marginal*, particularmente en la región ocupada por arcillas y limos de alta plasticidad (CH, MH), si bien en las primeras se mantiene su inadecuación para las de límite líquido superior a noventa ($LL > 90$).

4.2.- Contenido de materia orgánica

Con carácter general, el contenido máximo de materia orgánica permitido para cada uno de los tipos de suelo que se indican en el PG-3, es el siguiente:

Tipo de suelo	Contenido máximo de materia orgánica (%)
Seleccionado	0,2 %
Adecuado	1 %
Tolerable	2 %
Marginal	Según apartado 330.4.4.5, pero siempre $< 5\%$

El valor máximo de este parámetro para los suelos marginales se establece en el cinco por ciento (5 %) con carácter general, si bien se introducen una serie de observaciones, que hacen que dicho valor no pueda considerarse como una referencia absoluta:

- En primer lugar, la altura del relleno es un factor limitante, por cuanto que se establecen diferentes contenidos máximos de materia orgánica, según que el relleno tenga más o menos de cinco metros de altura, de tal modo que, por debajo de dicha magnitud pueden admitirse contenidos de hasta el cinco por ciento, siempre que las deformaciones previsibles se hayan tenido en cuenta en el proyecto. Para alturas superiores a los cinco metros, contenidos por encima del dos por ciento requieren ya de la realización de un *estudio especial*. Es decir:

Contenido de materia orgánica	Altura del relleno	Prescripciones (apdo 330.4.4.5)
2 % < MO < 5 %	H ≤ 5 m	Empleo en núcleo, previo estudio de deformaciones en el proyecto
2 % < MO < 5 %	H > 5 m	Estudio especial

- Además se establece una limitación adicional para la coronación, en la que el contenido de materia orgánica no puede alcanzar el uno por ciento, condición a la que también se llega, al prescribirse en 330.4.1.1 el empleo de suelos seleccionados o adecuados en dicha zona.

Además de lo anterior, el Pliego llama la atención sobre el hecho de que la operatoria de ensayo vigente, la norma *UNE 103204 Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico* podría, en algún caso, tener influencia sobre el resultado, cuando existieran materias oxidables no orgánicas.

4.3.- Colapsabilidad

Con carácter general, el criterio reflejado en el PG-3 en relación con la colapsabilidad es el siguiente:

Tipo de suelo	Asiento en el ensayo de colapso (%)
Seleccionado	-
Adecuado	-
Tolerable	< 1 %
Marginal	> 1 %

Este criterio, que no se recogía en la versión de 1975, establece un límite para considerar como **suelos colapsables** aquellos en los que una muestra remoldeada, compactada con la densidad y humedad del ensayo Próctor normal, sufra un asiento superior al uno por ciento (1 %) de la altura inicial de la muestra, cuando se ensaye según la norma NLT 254, con una presión de ensayo de dos décimas de megapascal (0,2 MPa).

Dado que el resultado del ensayo de laboratorio propiamente dicho, depende de las condiciones de humedad y densidad, así como de la presión vertical a la que se someta a la

probeta de suelo, el Pliego ha fijado las condiciones tipo recién mencionadas, que permiten la valoración y comparación de los diferentes suelos disponibles, independientemente de sus condiciones de puesta en obra.

La norma *NLT 254 Ensayo de colapso en suelos* (que se encuentra actualmente en fase de revisión por parte del *Comité 103 Geotecnia* de AENOR, a través del *subcomité 1: Ensayos de laboratorio*) define el **colapso** como la disminución de altura que experimenta una probeta de suelo, inicialmente en estado de semisaturación, en unas determinadas condiciones de densidad y humedad, confinada lateralmente y sometida a una presión vertical constante, al ser inundada.

Un suelo colapsable puede experimentar deformaciones verticales relativamente pequeñas bajo el efecto de presiones verticales importantes, mientras su contenido de humedad sea bajo y, por otra parte, puede sufrir asientos importantes al ser inundado, manteniéndose constante la presión vertical.

A la vista del comportamiento enunciado, el PG-3 establece que en general, estos suelos deberán compactarse del lado húmedo con relación a la humedad óptima del ensayo Próctor de referencia. Asimismo y a falta de otro criterio mas específico sobre cada caso concreto, los límites de saturación a que hace referencia el apartado 330.4.3 *Humedad de puesta en obra* para suelos colapsables deben ser los correspondientes a humedades del menos uno (-1 %) y más tres por ciento (3 %) de la óptima del ensayo Próctor de referencia -téngase en cuenta que los establecidos con carácter general para el resto de suelos, se sitúan respectivamente en el menos dos (-2 %) y más uno por ciento (1 %)-.

Respecto a su posible empleo, se indica que los suelos colapsables no se usarán en coronación ni espaldones y que su uso en núcleo y cimiento estará sujeto a un *estudio especial* que, teniendo en cuenta la funcionalidad del terraplén, el grado de colapsabilidad del suelo, las condiciones climáticas y de niveles freáticos, defina las disposiciones a adoptar.

4.4.- Expansividad

Con carácter general, el criterio reflejado en el PG-3 en relación con la expansividad es el siguiente:

Tipo de suelo	Hinchamiento libre (HL %)
Seleccionado	-
Adecuado	-
Tolerable	HL < 3 %
Marginal	3 % < HL < 5 %

La expansividad de los suelos en la versión del Pliego de 1975, se determinaba a través del hinchamiento en el ensayo CBR; en la Orden FOM/1382/2002 se ha optado por la consideración de dicha propiedad a partir de la norma *UNE 103601 Ensayo del hinchamiento libre de un suelo en edómetro*, siendo sus condiciones de ensayo, en lo referente a humedad y densidad, independientes de las de puesta en obra de los suelos.

El Pliego considera **suelos expansivos** aquellos en los que en una muestra remoldeada y compactada con la densidad y humedad óptimas del ensayo Próctor normal, se supere un hinchamiento libre del tres por ciento (3%). Por otra parte indica que no podrán usarse aquellos suelos cuyo hinchamiento libre sea superior al cinco por ciento (5%).

Se denomina **hinchamiento libre** al incremento de altura que experimenta una probeta de suelo -expresado como porcentaje respecto del valor inicial- cuando se encuentra confinada lateralmente, sometida a una presión vertical de diez kilopascales (10 kPa) y se procede a su inundación. El ensayo se efectúa con el equipo edométrico y rara vez se prolonga por encima de las setenta y dos horas (72 h).

A la vista del comportamiento enunciado, el Pliego establece que, en general, estos suelos deberán compactarse del lado húmedo, con relación a la humedad óptima del ensayo Próctor de referencia, que en este caso será preferiblemente el normal. Asimismo y a falta de otro criterio mas específico sobre cada caso concreto, los límites de saturación a que hace referencia el apartado 330.4.3 *Humedad de puesta en obra* para suelos expansivos deben ser los correspondientes a humedades del menos uno (-1 %) y más tres por ciento (3 %) de la óptima del ensayo Próctor de referencia -téngase en cuenta que los establecidos

con carácter general para el resto de suelos se sitúan respectivamente en el menos dos (-2 %) y más uno por ciento (1 %)-.

Respecto a su posible empleo se indica que los suelos expansivos no se utilizarán en coronación ni espaldones. Si resultara inevitable su empleo en el núcleo se debe realizar un *estudio especial*, que teniendo en cuenta la funcionalidad del terraplén, las características de permeabilidad de la coronación y espaldones, el hinchamiento libre y las condiciones climáticas, defina las disposiciones a adoptar para posible su uso.

Al margen de lo estrictamente establecido en el Pliego, a la hora de evaluar el comportamiento concreto de cada uno de los suelos susceptibles de utilización, resultan de gran utilidad los dos procedimientos de ensayo que se indican a continuación:

- *UNE 103601 Ensayo del hinchamiento libre de un suelo en edómetro*, aplicado a unas condiciones de humedad, densidad y presión vertical, análogas a las que vaya a encontrarse finalmente en la obra
- *UNE 103602 Ensayo para calcular la presión de hinchamiento de un suelo en edómetro*, realizado con el mismo material de laboratorio y en cierto modo complementario del anterior, ya que permite determinar la presión vertical necesaria para mantener sin cambio de volumen una probeta confinada lateralmente, cuando se inunda de agua.

El procedimiento de ensayo consiste, a grandes rasgos, en inundar la probeta e ir colocando la carga necesaria para que el medidor de deformaciones se mantenga a cero en todo momento, hasta que la deformación se estabilice, momento en el cuál se considera que se ha alcanzado la presión de hinchamiento. Finalmente se descarga por escalones hasta llegar a los diez kilopascales (10 kPa), presión de referencia en el ensayo de hinchamiento libre.

4.5.- Contenido de sales solubles

Con carácter general, el contenido máximo de sales solubles en agua, permitido para cada uno de los tipos de suelo que se indican en el PG-3 es el siguiente:

Tipo de suelo	Contenido máximo de sales solubles (%)
Seleccionado	0,2 % incluido yeso
Adecuado	0,2 % incluido yeso
Tolerable	1 % excepto yeso + 5 % de yeso
Marginal	Según apartados 330.4.4.3 y 4

El artículo 330 del Pliego otorga un claro protagonismo a una de las sales solubles de mayor presencia en España, el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), para el que se efectúa un estudio en mayor detalle en otro apartado del mismo. Tanto es así, que en los criterios de clasificación de suelos, establece un primer nivel en el que el contenido de sales solubles puede incluir al yeso (para los suelos de los tipos *seleccionado* y *adecuado*) y un segundo en que esta sal se valora aparte.

La determinación del contenido de sales solubles se efectúa de acuerdo con la norma *NLT 114 Determinación del contenido de sales solubles de los suelos* (que se encuentra actualmente en fase de revisión por parte del *Comité 103 Geotecnia* de AENOR, a través del *subcomité 1: Ensayos de laboratorio*) en la que se obtiene el contenido total de sales solubles en agua, por lo que en caso de que se desee conocer dicho total sin incluir el yeso, habría de obtenerse independientemente el contenido de yeso, y restarse del valor obtenido en la norma.

En determinadas ocasiones resulta recomendable recurrir a técnicas de análisis más complejas, como la difracción por rayos X, que permite el reconocimiento individualizado de las especies minerales presentes en la muestra.

La posible utilización de materiales con sales solubles en agua, distintas del yeso, será la siguiente:

- Menor del cero coma dos por ciento ($\text{SS} < 0,2 \%$): Utilización en cualquier zona del terraplén.
- Entre el cero coma dos y el uno por ciento ($0,2 \% < \text{SS} < 1 \%$): Utilización en el núcleo del terraplén, sin necesidad de tomar precauciones especiales en coronación y espaldones.

- Mayor del uno por ciento (1%): Se requiere un *estudio especial*, aprobado expresamente por el Director de las Obras.

Así pues, el Pliego establece un límite para el contenido de las sales solubles diferentes del yeso que para éste, por cuánto que la solubilidad de dichas sales podría resultar muy superior a la del yeso. Un ejemplo claro sería la halita o sal común (NaCl) que a la temperatura de veinte grados centígrados (20° C) es aproximadamente ciento cincuenta (150) veces más soluble que el yeso.

En general, y a igualdad de temperatura, las sales más solubles en agua son los cloruros, seguidas de los nitratos, después bicarbonatos y sulfatos, y por último y normalmente como sales menos solubles, se encuentran los carbonatos. Debe tenerse en cuenta además que, en general, la solubilidad de las sales aumenta conforme lo hace la temperatura del agua. A continuación se indican las solubilidades de algunas sales en agua, a la temperatura de 20° C:

Fórmula química	Solubilidad en agua T = 20°C (g _{soluto} /l _{disolución})
CaCO ₃	0,01
MgCO ₃	0,10
CaSO ₄ ·2H ₂ O	2,40 (2,57 a 50 °C)
Na ₂ CO ₃	71,00
KNO ₃	150,00
Na ₂ SO ₄ ·7H ₂ O	195,00
MgSO ₄	262,00
Ca(HCO ₃) ₂	262,00
NaCl	360,00
MgSO ₄ ·7H ₂ O	710,00
NaNO ₃	921,00
MgCl ₂ ·6H ₂ O	1.670,00
CaCl ₂ ·6H ₂ O	2.790,00

4.6.- Contenido de yeso

Con carácter general, el contenido máximo de yeso permitido para cada uno de los tipos de suelo que se indican en el PG-3 es el siguiente:

Tipo de suelo	Contenido máximo de yeso (%)
Seleccionado	0,2 % incluidas el resto de las sales solubles
Adecuado	0,2 % incluidas el resto de las sales solubles
Tolerable	5 % de yeso + 1 % resto de las sales solubles
Marginal	Según apartado 330.4.4.3

El hecho de que se trate de una sal bastante abundante en España, con presencia muy significativa en diversos puntos de nuestra geografía (según datos del IGME referidos al año 2000, nuestro país es el segundo productor mundial de yeso con fines industriales, por detrás de Estados Unidos), ha motivado que en el Pliego se le considere de manera independiente del resto de sales solubles.

Desde el punto de vista estrictamente **mineralógico** el yeso es sulfato cálcico dihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) que cristaliza en el sistema monoclinico. Se presenta en cristales a veces grandes, maclados en punta de flecha o punta de lanza, aunque también lo hace informe como yeso fibroso, espumoso (en pequeñas escamas), granulado, cristalizado en láminas brillantes (espejuelo), impurificado por betunes (fétido), o forma eflorescencias, deposiciones terrosas o pulverulentas, etc. Puede ser transparente, translúcido u opaco y su coloración, en estos casos, puede ser blanca, grisácea, amarillenta, rojiza o incluso negra.

Entre tal variedad de aspectos, una de las características que permite su fácil identificación y diferenciación práctica de otras rocas en obra, es el hecho de que su dureza tiene valor dos (2) en la escala de Mohs, por lo que puede rayarse con la uña.

La determinación del contenido de yeso se efectúa de acuerdo con la norma *NLT 115 Contenido de yeso en suelos* (que se encuentra actualmente en fase de revisión por parte del *Comité 103 Geotecnia* de AENOR, a través del *subcomité 1: Ensayos de laboratorio*).

Respecto a la utilización en obra de los yesos, el Pliego indica que su posible empleo será función del contenido de dicha sustancia, de acuerdo con los siguientes criterios:

- Menor del cero coma dos por ciento (0,2%): Utilización en cualquier zona del terraplén.
- Entre el cero coma dos y el dos por ciento (0,2 y 2%): Utilización en el núcleo del terraplén. No se necesitará tomar ninguna precaución especial en la ejecución de la coronación y los espaldones.
- Entre el dos y el cinco por ciento (2 y 5%): Utilización en el núcleo del terraplén con adopción de cuidados y materiales de características especiales en coronación y en los espaldones.
- Entre el cinco y el veinte por ciento (5 y 20%): Utilización limitada al núcleo del terraplén y siempre que se tomen, entre otras, las siguientes medidas para evitar la disolución, con posible producción de asientos o pérdida de resistencia:
 - o El núcleo deberá constituir una masa compacta e impermeable.
 - o Disponer medidas de drenaje e impermeabilizaciones para impedir el acceso al relleno de las aguas, tanto superficiales como profundas.
- Mayor del veinte por ciento (20%): Este tipo de suelos no debe utilizarse en ninguna zona del relleno. Su uso se limitará a aquellos casos en que no existan otros suelos disponibles y siempre que el mismo venga contemplado y convenientemente justificado en el proyecto.

Con frecuencia la presencia de yesos suele dar lugar a problemas de **marginalidad por más de una de las causas enunciadas**. Así, resulta relativamente habitual que los yesos aparezcan en obra junto con suelos inadecuados o marginales, muchas veces arcillas plásticas o limos colapsables. Por ello para porcentajes de yeso superiores al dos por ciento (2%), el artículo 330 prescribe que se debe determinar el posible carácter expansivo o colapsable del suelo, actuando conforme a los criterios especificados en el Pliego para los mismos.

El hecho de que se trate de un sulfato, motiva además que deba considerarse su posible agresividad al cemento. Por otra parte, el PG-3 indica que debe tenerse en cuenta la contaminación que puedan originar los yesos en los terrenos colindantes.

4.7.- Índice CBR

En la Orden FOM/1382/2002 no se ha considerado el índice CBR como un parámetro de clasificación intrínseca de un suelo, por cuanto que su valor exacto depende de la densidad y humedad de la muestra, a determinar de acuerdo con las condiciones de puesta en obra. No obstante lo anterior, la no consecución de determinados valores mínimos impide que los suelos se puedan utilizar en ciertas zonas de las obras. En concreto, los requerimientos de CBR mínimo, por zonas, son los que se refieren a continuación:

Zona del relleno	Índice CBR
Coronación	$\text{CBR} \geq 5$
Espaldones	-
Cimiento	$\text{CBR} \geq 3$
Núcleo	$\text{CBR} \geq 3$

No obstante lo anterior, el PG-3 establece la posibilidad de **utilización en núcleo**, de suelos marginales o con índice CBR menor de tres (**$\text{CBR} < 3$**), si bien matiza que puede venir condicionada por problemas de resistencia, deformabilidad y puesta en obra, por lo que desaconseja su empleo que, en todo caso, habría de justificarse mediante un *estudio especial*, aprobado por el Director de las Obras, motivo por el cual, se ha procedido a la inclusión de este epígrafe.

En determinadas circunstancias, cuando no se alcance el valor de tres, pero el índice obtenido se encuentre ligeramente por debajo del mismo, se pueden reevaluar las condiciones de compactación de puesta en obra, efectuando un análisis de sensibilidad considerando para ello el Próctor de referencia utilizado, el valor mínimo de la densidad requerida en el núcleo, o la humedad, si bien en general, el problema analizado resulta difícilmente subsanable por esta vía.

Más habitual resulta la estabilización de los suelos, fundamentalmente con cal, lo que suele acarrear una disminución de los límites de Atterberg y un aumento del índice CBR. El

estudio de esta solución debe abordarse con sujeción a lo especificado en el artículo² 512 *Suelos estabilizados in situ* del PG-3.

5.- MATERIALES MARGINALES EN EL ARTÍCULO 331: **PEDRAPLENES**

Dos son los criterios sobre los que quiere incidirse, por un lado la calidad de la roca y por el otro la inadecuación de forma.

5.1 Calidad de la roca

El PG-3 en su apartado 331.4.2 *Calidad de la roca* establece que, en general, serán **rocas adecuadas** para pedraplenes, las ígneas, sedimentarias y metamórficas resistentes, sin alteración apreciable, compactas y estables frente a la acción de los agentes externos y, en particular, frente al agua.

Se consideran rocas estables frente al agua aquellas que, según la norma *NLT 255 Estabilidad de los áridos y fragmentos de roca frente a la acción de desmoronamiento en agua*, sumergidas en agua durante veinticuatro horas (24 h), con tamaños representativos de los de puesta en obra, no manifiestan fisuración alguna, y la pérdida de peso que sufren es igual o inferior al dos por ciento (2%). También pueden utilizarse ensayos de ciclos de humedad-sequedad, según la norma *NLT 260 Estabilidad de los áridos y fragmentos de roca frente a la acción de los ciclos de humedad-sequedad*, para calificar la estabilidad de estas rocas, si así lo autoriza el Director de las Obras.

Tal y como se desarrolla en adelante, el artículo 333 abunda con mayor profusión en el tema de las **rocas marginales**.

² ORDEN FOM/891/2004, de 1 de marzo, por la que se actualizan determinados artículos del pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes, relativos a firmes y pavimentos (BOE del 6 de abril de 2004).

En el momento de redacción de este documento el texto referido puede obtenerse, además de en las correspondientes publicaciones de la DGC, en la siguiente dirección internet:

<http://www.boe.es/boe/dias/2004-04-06/pdfs/A14446-14509.pdf>

5.2 Inadecuación de forma

El apartado 331.4.4. *Forma de las partículas*, las considera con forma inadecuada cuando se verifique que:

$$\frac{L + G}{2} \geq 3E$$

L (longitud) = Separación máxima entre dos (2) planos paralelos tangentes a la partícula.

G (grosor) = Diámetro del agujero circular mínimo por el que puede atravesar la partícula.

E (espesor) = Separación mínima entre dos (2) planos paralelos tangentes a la partícula.

Los valores de L, G, y E, no deben ser necesariamente medidos en tres direcciones perpendiculares entre sí.

Cuando el contenido en peso de **partículas de forma inadecuada** sea igual o superior al **treinta por ciento** (30%) sólo se podrá utilizar este material cuando se realice un *estudio especial*, aprobado por el Director de las Obras, que garantice un comportamiento aceptable.

6.- MATERIALES MARGINALES EN EL ARTÍCULO 333: RELLENOS TODO-UNO

El artículo 333 del PG-3 clasifica a los materiales para la formación de rellenos todo-uno, en función del tipo de roca de la que proceden, en cinco grupos, que se relacionan a continuación. Los cuatro últimos pueden incluir **rocas marginales**:

- Rocas estables
- Rocas evolutivas
- Rocas con sulfuros oxidables
- Rocas con minerales solubles
- Rocas con minerales combustibles

Acto seguido se indica brevemente lo que refiere el PG-3 sobre cada una de estas categorías.

6.1.- Rocas estables

Se emplea un criterio similar al enunciado en el artículo 331, considerando **rocas estables** aquellas que teniendo una composición mineralógica estable químicamente, también lo son frente a la acción del **agua**.

Se consideran rocas estables frente al agua las que sometidas a un ensayo de desmoronamiento, según NLT 255, no manifiestan fisuración y la pérdida de peso que experimentan resulta inferior al dos por ciento (2%).

6.2.- Rocas evolutivas

Por contraposición a las estables frente al agua, el Pliego define las **rocas evolutivas** como aquellas que sometidas a un ensayo de desmoronamiento según NLT 255, manifiesten fisuración o desintegración, o la pérdida de peso que sufran sea superior al dos por ciento (2%).

En este caso, si la fracción que pasa por el tamiz 20 UNE tuviera las características de suelo marginal o inadecuado según el artículo 330 del PG-3, se clasificarían como **rocas marginales** y, para su utilización sería necesario un *estudio especial* aprobado por el Director de las Obras, que teniendo en cuenta el porcentaje de finos, los agentes externos y la zona de empleo dentro del relleno, permitiera definir la forma de puesta en obra.

6.3.- Rocas con sulfuros oxidables

El PG-3 define así a aquellas rocas que al ensayarse según *UNE EN 1744-1 Ensayo para determinar las propiedades químicas de los áridos. Parte 1: Análisis químico*, se determine que contienen piritas (SFe) u otros sulfuros oxidables (galena SPb, blenda SZn, cinabrio SHg, calcopirita CuFeS₂, etc., que en general son poco frecuentes).

Este tipo de rocas se consideran **marginales** y para su uso se precisa un *estudio especial*, aprobado por el Director de las Obras, sobre su degradación y el posible ataque a las obras de fábrica de las aguas con ácido sulfúrico, generado en su caso, al oxidarse algunos de estos sulfuros.

6.4.- Rocas con minerales solubles

El tratamiento que efectúa el Pliego con este tipo de rocas en el artículo 333 es muy similar al que lleva a cabo en el 330 al desarrollar el tema de los suelos con **sales solubles**. Así las rocas con minerales solubles que contempla la Orden FOM/1382/2002 son aquellas que contienen yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), cloruro sódico u halita (NaCl), sulfato magnésico (MgSO_4), etc.

Aborda el tema de las posibilidades de empleo de estas rocas en obra estableciendo dos niveles:

- Un primer nivel formado por las siguientes rocas:
 - o Las que presentan un contenido en yeso menor o igual que el cinco por ciento (5%), las cuáles se pueden utilizar sin precauciones adicionales.
 - o Las que presentan un contenido en yeso comprendido entre el cinco y el veinte por ciento (5-20%), que solamente se utilizarán en el núcleo, construyendo espaldones que impidan la circulación del agua hacia el interior.
- Un segundo nivel constituido por las **rocas marginales**, para cuyo uso se requiere un *estudio especial* aprobado por el Director de las Obras:
 - o Las que presentan un contenido de sales solubles en agua, diferentes del yeso, superior al uno por ciento (1%).
 - o Las que presentan un contenido de yeso superior al veinte por ciento (20%).

6.5.- Rocas con minerales combustibles

El Pliego se refiere esencialmente a los denominados **estériles del carbón**. Cuando el contenido en materia orgánica sea superior al dos por ciento (2%) se considerarán **rocas marginales** y, al igual que en los restantes casos, para su uso se precisa un *estudio especial* aprobado por el Director de las Obras.

7.- MATERIALES MARGINALES EN OTRAS NORMAS DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS

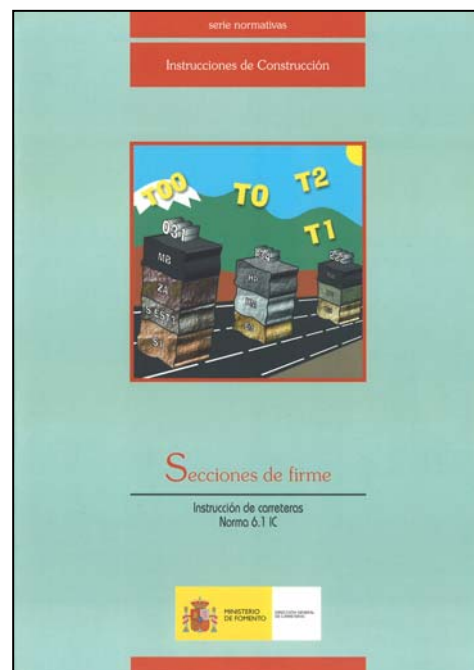
La normativa de la Dirección General de Carreteras aparecida con posterioridad a la aprobación de la Orden FOM/1382/2002 ha ido considerando los materiales marginales de diferente manera, conforme a la implicación concreta que merecieran en cada caso. A continuación se indican las cuestiones que se han entendido más relevantes en este sentido, en algunas de dichas normas.

7.1.- Materiales marginales en la norma 6.1 IC Secciones de firme

Esta norma³, aprobada por Orden FOM/3460/2003, incluye diferentes prescripciones relativas a los materiales marginales dentro del capítulo 5 *Explanada*, que se resumen brevemente a continuación:

- En el apartado 5.1 *Formación de la explanada*, se incluye un cuadro de formación de explanadas en función del tipo de material subyacente (fondo de desmonte u obra de tierra). Dentro de los tipos de material subyacente se consideran los marginales.

Asimismo será preceptivo, salvo justificación en contra, proyectar una **capa de separación** (estabilización in situ con cal en 15 cm de espesor, geotextil, membrana plástica, etc.) entre los suelos inadecuados o marginales con finos plásticos y las capas de suelo adecuado o seleccionado, para la



³ Orden FOM/3460/2003, de 28 de noviembre, por la que se aprueba la norma 6.1-IC "Secciones de firme", de la Instrucción de Carreteras (BOE del 12 de diciembre de 2003).

En el momento de redacción de este documento el texto referido puede obtenerse, además de en las correspondientes publicaciones de la DGC, en la siguiente dirección internet:

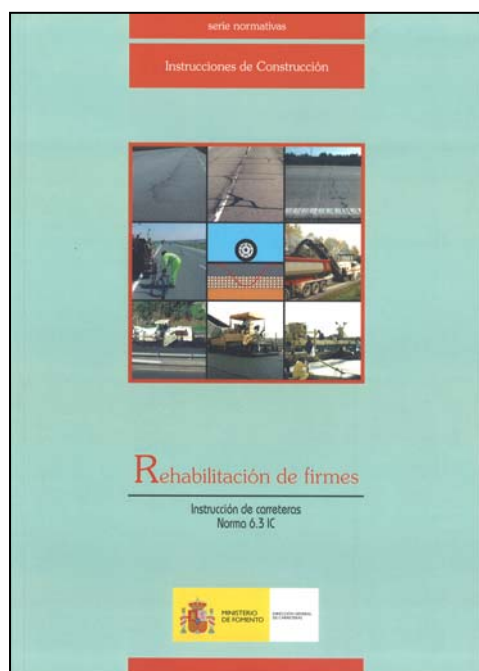
<http://www.boe.es/boe/dias/2003-12-12/pdfs/A44274-44292.pdf>

formación de las explanadas del tipo E2 y E3 en las categorías de tráfico pesado T00 a T2.

Además se añade que la cota de la explanada deberá quedar al menos a ciento veinte centímetros (120 cm) por encima del nivel más alto previsible de la **capa freática** donde el macizo de apoyo esté formado por suelos marginales

- En el apartado 5.2 *Materiales para la formación de la explanada*, se incluye la tabla 4 en la que se relacionan los **materiales utilizables para la formación de la explanada**. Al referirse a los marginales se prescribe que su empleo sólo será posible si se estabiliza con cal o con cemento para conseguir S-EST1 ó S-EST2.

7.2.- Materiales marginales en la norma 6.3 IC *Rehabilitación de firmes*



Esta norma⁴, aprobada por Orden FOM/3459/2003, incluye diferentes prescripciones relativas a los materiales marginales, que se incluyen a continuación:

- En el apartado 12.3 *Ampliación de la sección transversal*, se indica que si en la **excavación** a realizar **junto a la sección a ensanchar**, el suelo fuera marginal, se estabilizaría con cemento o cal, según el caso, para conseguir un material homogéneo y de capacidad de soporte suficiente, así como para evitar una excavación más profunda que pudiera modificar la evacuación del agua y dificultar la construcción.

⁴ Orden FOM/3459/2003, de 28 de noviembre, por la que se aprueba la norma 6.3-IC "Rehabilitación de firmes", de la Instrucción de Carreteras (BOE del 12 de diciembre de 2003).

En el momento de redacción de este documento el texto referido puede obtenerse, además de en las correspondientes publicaciones de la DGC, en la siguiente dirección internet:

<http://www.boe.es/boe/dias/2003-12-12/pdfs/A44244-44274.pdf>

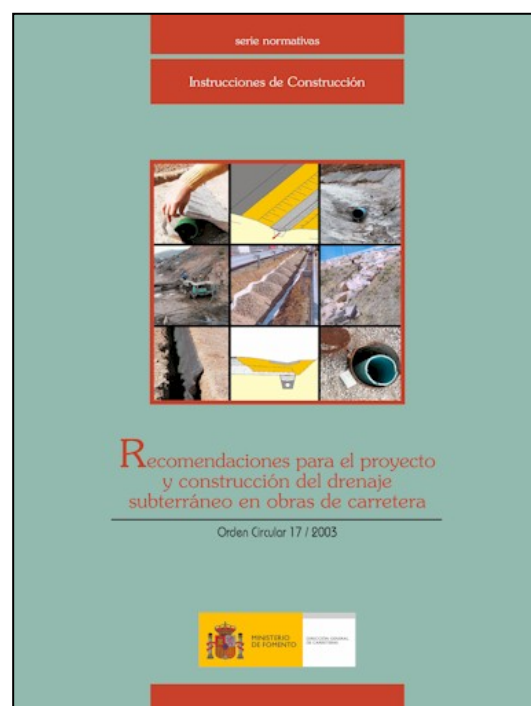
- En el anejo 3 *Guía para el estudio de las deflexiones en firmes de pavimento bituminoso*, se incluyen cuestiones relativas a materiales marginales al referirse a las correcciones por efecto de la humedad de la explanada.

7.3.- Materiales marginales en la Orden Circular 17/2003 *Recomendaciones para el proyecto y construcción del drenaje subterráneo en obras de carretera*

La Orden Circular 17/2003 *Recomendaciones para el proyecto y construcción del drenaje subterráneo en obras de carretera*, también incluye consideraciones relativas a materiales marginales. Así, en concreto, el apartado 1.2 *Principios generales del drenaje subterráneo de las carreteras* indica como punto de partida de dicha norma, que:

“El incremento de la humedad en los materiales que constituyen las capas del firme y las explanaciones de la carretera, lleva generalmente asociado una disminución de su capacidad de soporte y puede dar lugar a fenómenos físico-químicos que modifiquen su estructura y comportamiento de modo perjudicial, tales como erosión, meteorización, disolución, expansión, colapso, etc.

*Este aspecto resulta de gran importancia al ser utilizables en determinadas circunstancias los denominados **materiales marginales**, así como otros procedentes de procesos industriales o manipulación humana.*
...



Las precauciones a tener en cuenta con este tipo de materiales se van concretando a lo largo de la Orden, que contiene, de forma resumida las siguientes prescripciones:

- El apartado 2.1.1.1 *Infiltración vertical* indica, al referirse a pavimentos y arcenes, la necesidad de sellar las **juntas transversales en los pavimentos de hormigón**, en todo caso e independientemente de la zona climática en que se localicen las obras,

cuando se encuentren sobre rellenos o fondos de desmonte, constituidos por suelos tolerables con un contenido de yesos, según NLT 115, mayor del dos por ciento (2%), suelos marginales o inadecuados, o rocas que no puedan considerarse estables frente al agua, según se especifica en los artículos 330, 331 y 333 del PG-3.

- El apartado *2.1.2.1 Recorrido de las aguas infiltradas*, señala que una vez determinado el caso de aplicación (F, E ó S), deberá efectuarse el análisis del **recorrido de las aguas infiltradas**, comprobando que no se producen acumulaciones o retenciones de agua, y que se obtiene, partiendo del punto más alto de cada sección transversal, flujo vertical o lateral (hacia espaldones o drenes). En dicho recorrido las aguas no deberán discurrir por suelos tolerables con un contenido de yesos mayor del dos por ciento (2%), marginales o inadecuados, o rocas que no puedan considerarse estables frente al agua, según se especifica en los artículos 330, 331 y 333 del PG-3.

Para ello el proyecto deberá disponer medidas entre las que pueden citarse una adecuada selección y disposición de los materiales que constituyen la sección transversal, la interposición de láminas u otros productos de impermeabilización, etc.

Además se indica en la Orden, que la elección de secciones transversales tipo F ó E no implica necesariamente que la totalidad de las aguas infiltradas discurra por la capa que define cada uno de tales modelos, por lo que se deberá analizar la necesidad de adopción de medidas específicas para evitar la infiltración en los materiales sensibles al agua, aún en capas inferiores a la que determina el caso de aplicación.

- En el apartado *2.2.1 Proximidad del nivel freático* se indica la necesidad de cumplir las **distancias mínimas** a la explanada que se definen en la norma *6.1 IC Secciones de firme* siendo preferible en general, desde el punto de vista del drenaje subterráneo de las obras, la **elevación de la rasante** al rebajamiento del nivel freático. El material del relleno que se emplee en su caso para la elevación de la rasante, no deberá ser susceptible al agua (suelos tolerables con un contenido de yesos mayor del dos por ciento (2%), suelos marginales o inadecuados, o rocas

que no puedan considerarse estables frente al agua, según se especifica en los artículos 330, 331 y 333 del PG-3).

- Dentro del drenaje subterráneo de **elementos singulares**, el apartado 2.4.2 *Lechos de frenado* indica que debe estudiarse la infiltración de las aguas desde el fondo del lecho hacia los materiales subyacentes, y que cuando se trate de materiales susceptibles al agua (suelos tolerables con un contenido de yesos mayor del dos por ciento (2%), marginales o inadecuados, o rocas que no puedan considerarse estables frente al agua, según se especifica en el PG-3), las paredes y el fondo del **lecho de frenado** deberán constituir un recinto impermeable de hormigón.
- El apartado 3.5 *Colectores*, prescribe que cuando las posibles filtraciones desde los mismos pudieran afectar a materiales susceptibles al agua (suelos tolerables con un contenido de yesos mayor del dos por ciento (2%), suelos marginales o inadecuados, o rocas que no puedan considerarse estables frente al agua, según se especifica en el PG-3), el proyecto debe establecer prescripciones complementarias para garantizar la **estanqueidad de los colectores**, tales como sellado de juntas, encamisado de tubos, etc.
- El apartado 3.6 *Arquetas y pozos de registro*, refiere con carácter general que el fondo de la **arqueta o pozo de registro** debe estar constituido por una solera que garantice su impermeabilidad. Cuando las posibles filtraciones desde los mismos puedan afectar a materiales susceptibles al agua (suelos tolerables con un contenido de yesos mayor del dos por ciento (2%), marginales o inadecuados, o rocas que no pueden considerarse estables frente al agua, según se especifica en el PG-3), la condición de impermeabilidad deberá extenderse además a paredes y juntas.
- En el apartado 4.2 *Conservación*, se especifica que en el proyecto deberán indicarse los procedimientos de **limpieza de los elementos y sistemas de drenaje** que se consideren más adecuados en cada caso. En este sentido, para la limpieza de las tuberías drenantes se puede recomendar maquinaria de trabajo en seco o mediante agua a presión con útiles específicos. El empleo de agua a presión suele determinar la introducción, en mayor o menor medida, de agua en el

terreno, lo cual habrá de tenerse en cuenta para la planificación de este tipo de operaciones. En materiales sensibles al agua, entre los que se hallan los marginales, y particularmente cuando los drenes se encuentren en contacto directo con el terreno (por ejemplo los californianos sin filtro), será preferible en general efectuar la **limpieza mediante aire a presión**.