

Principales innovaciones en el PG-3 sobre geotecnia vial y drenaje



POR JESÚS SANTAMARÍA ARIAS -
ICCP DEL ESTADO, JEFE DEL
SERVICIO DE GEOTECNIA, Y
ALVARO PARRILLA ALCAIDE,
ICCP DEL ESTADO, SERVICIO
DE GEOTECNIA, DIRECCIÓN
GENERAL DE CARRETERAS DEL
MINISTERIO DE FOMENTO

1. Introducción

El "Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes", aprobado por Orden Ministerial de 6 de febrero de 1976, más conocido como PG-3/75, constituye el marco general para la realización de las obras de carreteras del Estado, siendo sus prescripciones de aplicación en tanto en cuanto no sean explícitamente modificadas por el Pliego de prescripciones técnicas particulares (PPTP) del

Proyecto y quedando incorporados a éste y al contrato de obras por una simple referencia a aquél.

La importancia de este Pliego radica no sólo en su preceptiva aplicación a las obras de carreteras del Estado, sino en que, por extensión, es generalmente adoptado como norma de referencia en otras obras de la Administración Central distintas de las de carreteras, así como por otras Administraciones españolas y extranjeras; de hecho se ha usado con relativa frecuencia para obras fuera de España, en lugares como Andorra o Iberoamérica.

El tiempo transcurrido desde su aprobación, los indudables avances técnicos habidos durante él y las nuevas exigencias de las obras han hecho que frecuentemente los distin-

tos artículos del PG-3/75 hayan sido modificados para su aplicación en el PPTP. Por ello hace unos años se decidió estudiar todo este material y reordenarlo para alumbrar un nuevo PG-3.

Con la aprobación, el pasado 17 de febrero, de la Orden Circular 326/00, vigente desde el 1 de marzo de 2000, se da por cumplido dicho propósito en materia de geotecnia vial y drenaje.

En este artículo se presentan las principales innovaciones que la O.C. 326/00 introduce: para ello, en primer lugar, se da una breve descripción de la estructura del PG-3/75, resaltando las partes con contenido geotécnico; y posteriormente se hace un somero análisis de los aspectos que se estima que tienen una mayor trascendencia.

2. Estructura del PG-3 en materia de geotecnia vial y drenaje

El PG-3 se estructura en las ocho partes que se indican a continuación:

Parte 1: Introducción y generalidades.

Parte 2: Materiales básicos.

Parte 3: Explanaciones.

Parte 4: Drenaje.

Parte 5: Firmes.

Parte 6: Puentes y otras estructuras.

Parte 7: Señalización, iluminación y control de tráfico.

Parte 8: Varios.

Estas "Partes" se dividen a su vez en capítulos, y éstos en artículos. Las partes que se han revisado han sido: la 3 "Explanaciones", la 4 "Drenaje", el capítulo V "Cimentaciones" y parte del IV "Obras de Fábrica" de la parte 6, así como, por la introducción de un nuevo artículo, el capítulo VI "Materiales varios" de la parte 2.

En el recuadro adjunto se detalla el índice de los artículos modificados por la O.C. 326/00.

En ese índice se han señalado en cursiva y negrilla los artículos que aparecen en la O.C. 326/00 y no existían el PG-3/75, a los cuales se agrega el cambio de nombre de los artículos 400, 401 y 420.

Los cambios en el índice guardan una relación muy estrecha con los más importantes de los acaecidos en el PG-3 en lo relativo a la geotecnia vial, y que sintéticamente afectan a los siguientes elementos:

- Nuevo tratamiento y clasificación de los rellenos y de los materiales para éstos.
- Incorporación de los geotextiles.
- Incorporación de nuevas

ARTÍCULOS MODIFICADOS POR LA O.C. 326/00

PARTE 2. MATERIALES BÁSICOS

CAPÍTULO VI. MATERIALES VARIOS.

Artículo 290.- Geotextiles.

PARTE 3. EXPLANACIONES

CAPÍTULO I. TRABAJOS PRELIMINARES.

Artículo 300.- Desbroce del terreno.

Artículo 301.- Demoliciones.

Artículo 302.- Escarificación y compactación.

Artículo 303.- Escarificación y compactación del firme existente.

Artículo 304.- Prueba con supercompactador.

CAPÍTULO II. EXCAVACIONES.

Artículo 320.- Excavación de la explanación y préstamos.

Artículo 321.- Excavación en zanjas y pozos.

Artículo 322.- Excavación especial de taludes en roca.

CAPÍTULO III. RELLENOS.

Artículo 330.- Terraplenes.

Artículo 331.- Pedraplenes.

Artículo 332.- Rellenos localizados.

Artículo 333.- Rellenos todo-uno.

CAPÍTULO IV. TERMINACIÓN.

Artículo 340.- Terminación y refino de la explanada

Artículo 341.- Refino de taludes.

PARTE 4. DRENAJE

CAPÍTULO I. CUNETAS.

Artículo 400.- Cunetas de hormigón ejecutadas en obra

Artículo 401.- Cunetas prefabricadas.

CAPÍTULO II. TUBOS, ARQUETAS Y SUMIDEROS.

Artículo 410.- Arquetas y pozos de registro.

Artículo 411.- Imbornales y sumideros.

Artículo 412.- Tubos de acero corrugado y galvanizado.

CAPÍTULO III. DRENES SUBTERRÁNEOS.

Artículo 420.- Zanjas drenantes.

Artículo 421.- Rellenos localizados de material filtrante.

Artículo 422.- Geotextiles como elemento de separación y filtro.

PARTE 6. PUENTES Y OTRAS ESTRUCTURAS

CAPÍTULO IV. OBRAS DE FÁBRICA.

Artículo 658.- Escoliera de piedras sueltas.

Artículo 659.- Fábrica de gaviones.

CAPÍTULO V. CIMENTACIONES

Artículo 670.- Cimentación por pilotes hincados a percusión.

Artículo 671.- Cimentación por pilotes de hormigón armado moldeado *in situ*.

Artículo 672.- Pantallas continuas de hormigón armado moldeadas *in situ*.

Artículo 673.- Tablestacados metálicos.

Artículo 674.- Cimentación por cajones indios de hormigón armado

Artículo 675.- Anclajes.

Artículo 676.- Inyecciones.

Artículo 677.- Jet-grouting.

técnicas de tratamiento del terreno.

Además, se ha efectuado una revisión general del texto de 1975 en la que se incluyen numerosos cambios que no pretenden reflejarse íntegramente en estas líneas.

En lo relativo a las cimentaciones y las técnicas de mejora del terreno, la incorporación de los artículos 675, Anclajes, 676, Inyecciones, y 677, *Jet-Grouting*, pretende recoger, siempre a nivel de lo esperable en un Pliego de prescripciones técnicas generales, los cuidados con los que han de realizarse estas unidades de obra dentro de lo que resulta práctica habitual.

No ocurre lo mismo con los artículos relativos a los rellenos, que representan cambios muy importantes respecto del contenido del PG-3/75, ni con los relativos a geotextiles que vienen a poner un cierto orden en el uso de unos materiales, cada vez más utilizados en obras de carreteras; pero cuya aplicación viene siendo bastante irregular, cuando no descontrolada.

A continuación, se procede a describir con mayor detalle las principales novedades relativas a rellenos, geotextiles, cimentaciones y técnicas de mejora del terreno.

3. Rellenos

La tendencia actual a utilizar prácticamente la totalidad de los materiales naturales que se puedan encontrar a lo largo de la traza de la obra, e incluso el aprovechamiento de materiales artificiales que antes eran directamente desechados, tales como los estériles de minería, ha de conjugarse con la determinación de la factibilidad real de su uso, las funciones que pueden desempeñar, el lugar donde deben ubicarse, etc., de

Se introduce el concepto de "relleno todo-uno" en el PG-3, cuyo material utilizado tiene unas condiciones intermedias entre las necesarias para ser considerado material para pedraplén y material para terraplén

forma que los peores materiales han de usarse en las zonas menos comprometidas de la obra y con mayores cuidados y garantías en su utilización.

Por todo lo anterior, las variaciones que integra la O.C. 326/00 con respecto al PG-3/75 en materia de rellenos no se limitan a aprobar la utilización de nuevos materiales, sino también a indicar cómo utilizarlos; asimismo, se introducen una serie de modificaciones en otros ámbitos.

En consecuencia, las principales variaciones en materia de rellenos pueden esquematizarse en los siguientes puntos:

zarse en los siguientes puntos:

- Se incorporan nuevos tipos de relleno.
- Se modifica la división por zonas de los diferentes tipos de relleno.
- Se incorporan nuevos tipos de materiales.
- Se abordan con mayor detalle las condiciones de puesta en obra y la ejecución de los trabajos.
- Se modifican los sistemas de control de calidad.
- Se da un tratamiento distinto a los rellenos localizados.

3.1. Nuevos tipos de relleno

En el PG-3/75 se establecían, además de los rellenos localizados, tan sólo dos tipos de relleno, los terraplenes y los pedraplenes. La práctica indicó pronto que con mucha frecuencia se efectuaban otros con unos materiales de granulometrías intermedias entre las de estos dos últimos, que se denominaron "rellenos todo-uno" y para los que se fue creando una técnica de puesta en obra rellejada en los PPTP, pero de la que carecía el PG-3/75.

Para poner orden en este terreno, mediante la O.C. 326/00 se introduce el con-



Las explanaciones han sido uno de los "partes" que se han reusado.

cepto de "relleno todo-uno" en el PG-3, de forma que el material utilizado es el que tiene unas condiciones intermedias entre las necesarias para ser considerado material para pedraplén (artículo 331) y material para terraplén (artículo 330). Es decir, los que cumplen las condiciones siguientes:

- Materiales cuyo contenido en finos (material que pasa por el tamiz 0,080 UNE) es inferior al treinta y cinco por ciento (35%) y cuyo contenido de partículas que pasen por el tamiz 20 UNE es inferior al setenta por ciento (70%) y superior al treinta por ciento (30%).
- Materiales cuyo contenido en peso de partículas que pasan por el tamiz 20 UNE es inferior al treinta por ciento (30%), pero tienen un contenido en finos (material que pasa por el tamiz 0,080 UNE) superior al diez por ciento (10%).
- Además, también se consideran materiales para rellenos todo-uno los que cumplen las condiciones de pedraplén, pero en los que el tamaño máximo es inferior a cien milímetros (100 mm).

Las condiciones granulométricas anteriores corresponden al material compactado y los porcentajes se refieren al peso total de la muestra.

Los materiales para rellenos todo-uno que cumplan las condiciones granulométricas anteriores, pero que tengan un tamaño máximo superior a trescientos milímetros (300 mm), requieren un estudio especial para su utilización.

Se han redefinido, aunque sólo con ligeras variaciones, las granulometrías correspondientes a los otros rellenos (terraplenes y pedraplenes), al objeto de evitar solapes entre los diferentes tipos de relleno.

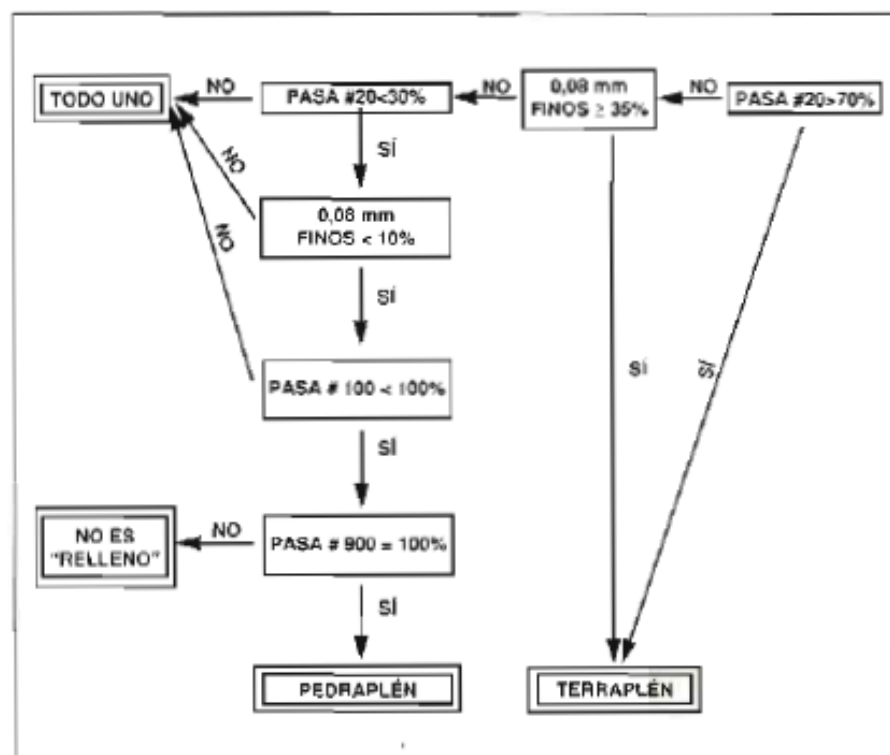


Figura 1. Esquema de clasificación de materiales para su uso en rellenos

De esta forma la clasificación de los materiales para su uso en terraplenes, pedraplenes o rellenos todo-uno atendiendo a su granulometría, resulta completa y queda como se indica en la figura 1.

El tratamiento que se hace de los rellenos tipo todo-uno es intermedio entre el que se concede a los terraplenes y el que se da a los pedraplenes, si bien en general es más parecido a estos últimos. Los husos granulométricos típicos de pedraplenes, terraplenes y rellenos todo-uno se recogen en la figura 2.

3.2. Zonificación de los rellenos

En el PG-3/75 se contemplaban tres zonas en los rellenos, que de abajo a arriba se denominan cimiento, núcleo y coronación (en los pedraplenes esta última se denominaba transición); en los pedraplenes se contemplaba, asimismo, la posible existencia de unas zo-

nas denominadas especiales que, en caso de existir, deberían quedar explícitamente reflejadas en el Proyecto, debiendo fijarse sus características y dimensiones en él.

La O.C. 326/00 contempla para los tres tipos de rellenos (terraplenes, pedraplenes y rellenos todo-uno) la definición de una zona adicional, el "espaldón", que se define como la parte exterior del relleno 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, tales como plantaciones, encachados, protecciones contra la erosión, etc.

No se indica explícitamente el espesor de la zona del espaldón, que deberá venir recogido en el Proyecto; pero, por el tipo de control que se debe realizar, se apunta hacia un espesor mínimo de 2 m.

Entre las razones que han llevado a la inclusión de esta

nueva zona en los rellenos se cuentan fundamentalmente las siguientes:

- La acción mucho más acusada, de los agentes atmosféricos y medio-ambientales, sobre la parte exterior del relleno, en comparación con la interior, lo que hace que las exigencias en las zonas denominadas núcleo y espaldón resulten claramente distintas.
- El deseo de poder utilizar, como se analizará posteriormente, distintos tipos de materiales, antes no aceptados y que en general resultan susceptibles a la acción del agua y de los agentes atmosféricos, lo que obliga a restringir su empleo a la zona interior de los rellenos, que coincide con el concepto de núcleo de la O.C. 326/00.
- La propia dificultad de aproximación de la maquinaria pesada al paramento exterior de los rellenos (espaldones) puede requerir el uso de sobreanchos o bien de tipos de materiales, de maquinaria o de técnicas de puesta en obra, extensión o compactación, distintos de los utilizados en la zona del interior de los rellenos (núcleo).

Con relativa frecuencia se han venido usando rellenos con espaldones antes de que este concepto fuera recogido en el PG-3. Buena prueba de ello, aunque no dentro de las obras de carreteras, son las presas de materiales sueltos con espaldones; e incluso, den-

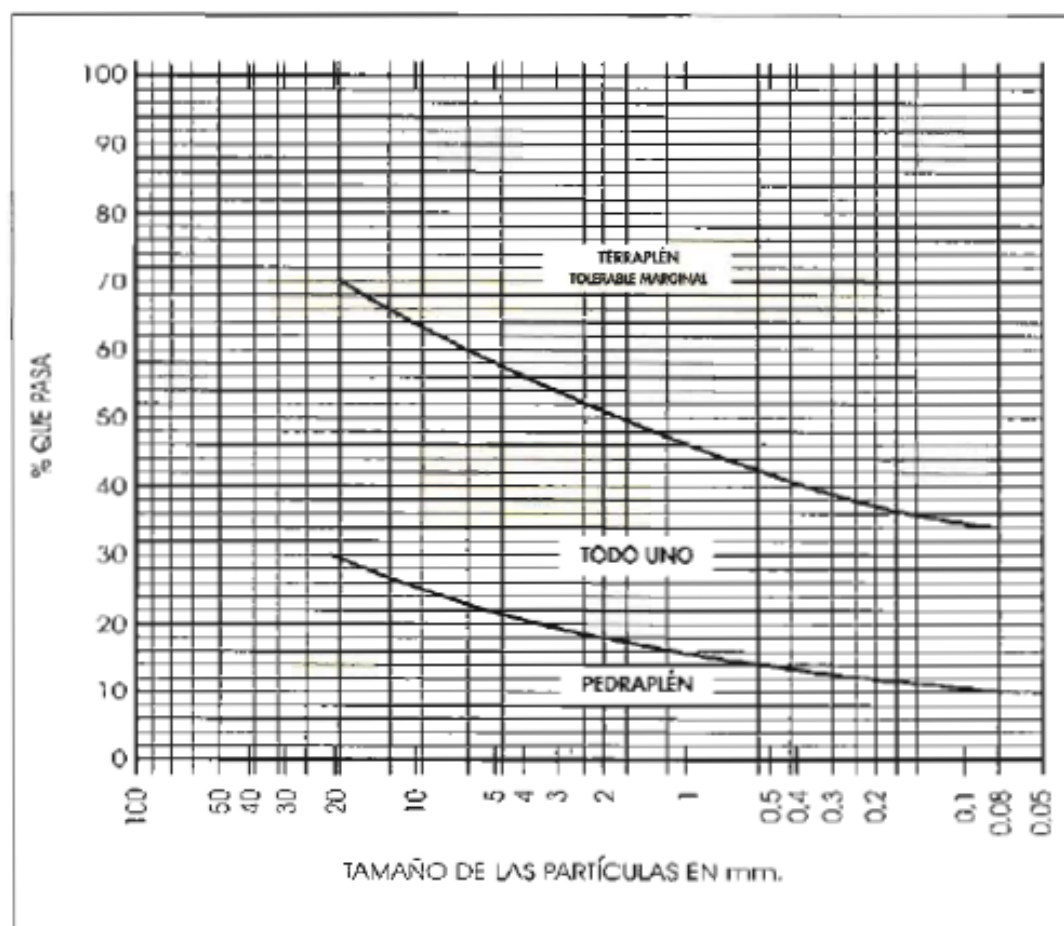


Figura 2 Husos granulométricos típicos para los distintos tipos de relleno.

tro de la propia técnica vial, se han utilizado rellenos con escollera colocada en el espaldón, y escollera vertida o incluso relleno todo-uno en el interior.

Como muestra del papel que se reserva a los espaldones, se indica que se utilizarán materiales que satisfagan las condiciones que define el Proyecto en cuanto a impermeabilidad, resistencia, peso estabilizador y protección frente a la erosión.

No se usarán en esta zona suelos expansivos ni colapsables; y, cuando en el núcleo se usen suelos expansivos colapsables o solubles, los espaldones evitarán la entrada de agua, bien mediante el tipo de material que los constituye, bien mediante la adopción de unas medidas complementarias.

3.3. Utilización de nuevos materiales

En las figuras 3 y 4 se presentan los criterios de clasificación de materiales para terraplenes correspondientes al PG-3/75 y a la nueva redacción del PG-3, según la O.C. 326/00.

Las principales diferencias radican en lo siguiente:

- No se consideran parámetros de clasificación intrínseca de un suelo ni el C.B.R. ni la densidad Proctor. Estos parámetros se usarán como exigencias de la puesta en obra según la zona del terraplén.
- Se añaden los criterios de sales solubles, asiento en colapso y expansión, como un criterio más de selección de los materiales.
- Se añade un grupo más, el de los materiales margina-

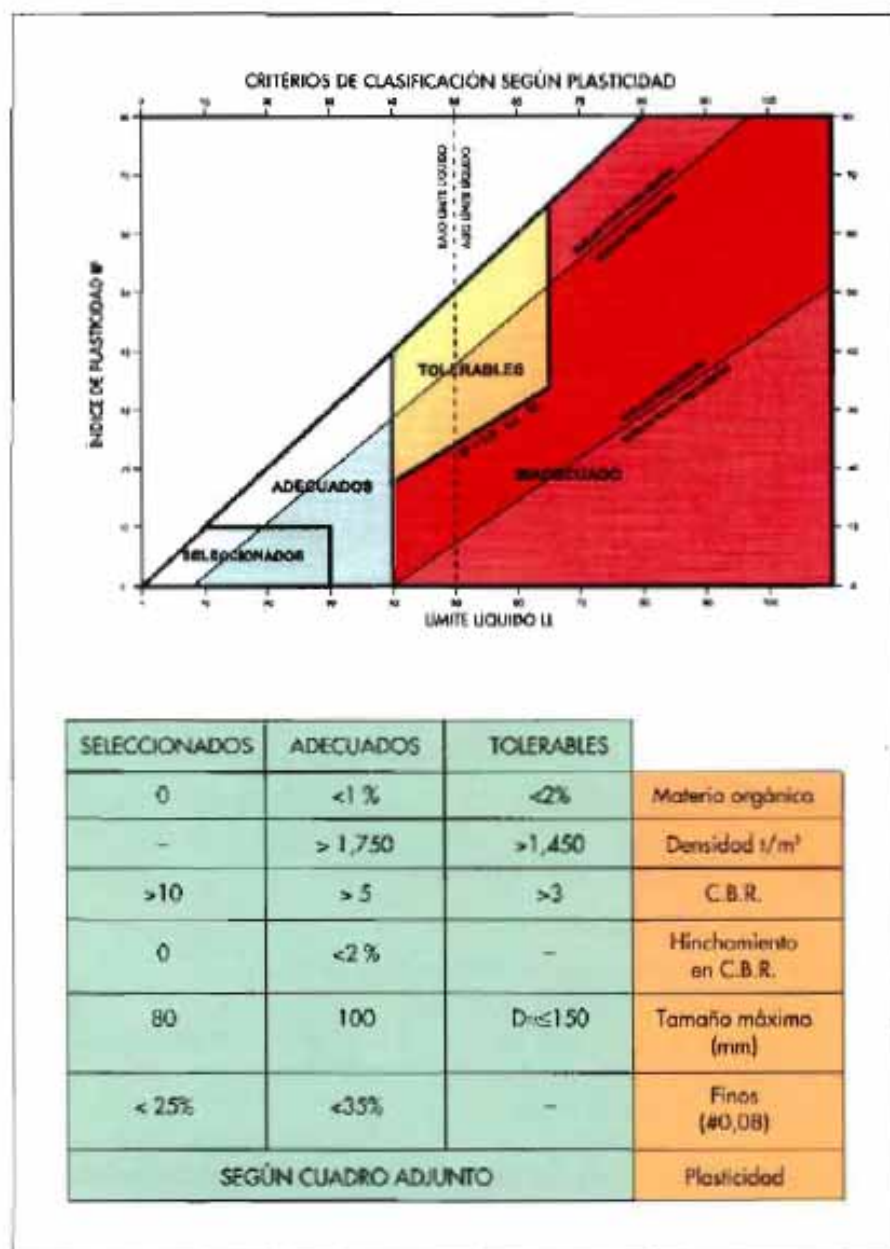


Figura 3. Clasificación de los suelos para terraplenes según el PG-3/75.

les, que se podrán usar tan sólo en ciertas circunstancias y zonas, siempre previo un "Estudio especial" del problema. Este estudio deberá cumplir una serie de condiciones que se detallan en el apartado 330.4.4 del nuevo PG-3.

- Se modifica ligeramente el resto de las condiciones de clasificación que establecía el PG-3/75.

Incidentalmente conviene resaltar aquí que, al igual que el apartado 330.4.4 establece la obligatoriedad y contenido del "Estudio especial de uso de materiales marginales", el apartado 322.2.1, para el caso de excavación por voladuras, establece la obligatoriedad y contenido del "Plan de excavación por voladuras".

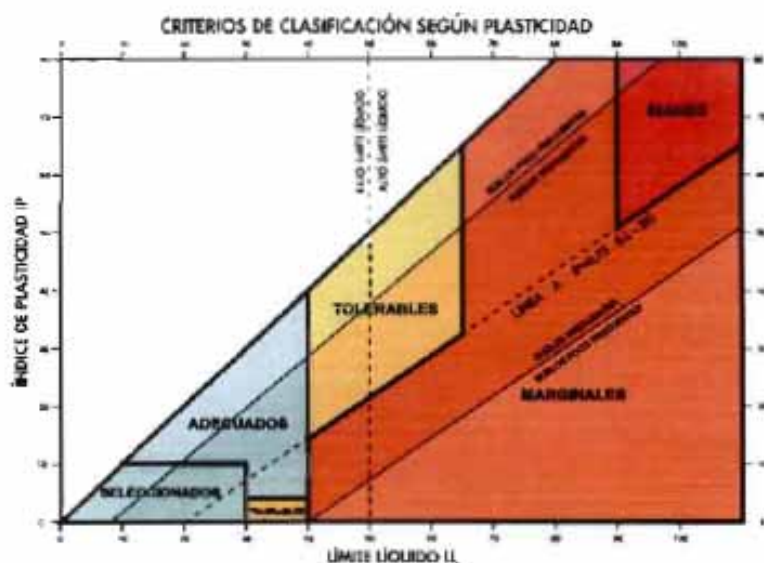
Además de lo indicado en los puntos anteriores y reflejado en las figuras 3 y 4, en la O.C. 326/00 se admiten materiales procedentes de procesos industriales, siempre que cumplan las especificaciones del artículo y sean estables física y químicamente.

En definitiva, y con los cuidados requeridos en cada caso, se aceptan aquellos materiales que con los que se pueda conseguir:

- Una puesta en obra en unas condiciones aceptables.
- Una estabilidad satisfactoria de la obra.

Tabla 1. Clasificación de materiales para pedraplenes según el PG 3/75

Adecuadas	Inadecuadas	Estudio Especial
- Granitos, granodioritas y sienitas - Aplitas, pórfidos y porfiritas - Gabros - Diabasas, olitas y lamprófilos - Riolitas y dacitas - Andesitas, basaltos y limburgitas - Cuarcitas y mármoles - Calizas y dolomías - Areniscas, conglomerados y brechas	- Serpentina - Tobas volcánicas y rocas volcánicas piroclásticas - Micacitas y filitas - Anhidrita, yeso y rocas solubles - Tobas calcáreas y caliches - Arcosas y limolitas - Las rocas que se desintegran espontáneamente al estar expuestas a la intemperie o que, al ser compactadas, sufran una trituration importante o adquieran una consistencia terrosa.	- Peridotitas, traquitas y fonolitas - Aglomerados y conglomerados volcánicos - Gneis, esquistos y pizarras - Migmatitas, corneanas, anfibolitas y grauwacas - Corniolas, margocalizas y margas - Argilitas - Maciños, molosas, samitas y rodones



Todos los suelos para terraplenes deben cumplir #20 > 70 mm o #0.08 > 35% en % en peso que pase por tamiz n. UNE

SELECCIONADOS	ADECUADOS	TOLERABLES	MARGINALES	
< 0,2	< 1 %	< 2 %	> 2 %	Materia orgánica
< 0,2	> 0,2 %	YESO < 5 % OTROS < 1 %	> 20 %	Salas solubles
-	-	< 3 %	> 3 %	Exposición
-	-	< 1 %	-	Asiento en colapso
< 100	< 100	-	-	Tamaño máximo (mm)
(*) #0.4-1.5%	#2 < 80 % #0.4 < 75 %	#2 < 80 %	-	Otras condiciones granulométricas
	< 25 %	< 35 %	-	Finos (#0.08)
SEGÚN CUADRO ADJUNTO				Plasticidad

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

Figura 4. Clasificación de los suelos para terraplenes según la O.C. 326/00 (nuevo PG-3).

- Unas deformaciones tolerables a corto y largo plazo para las condiciones de servicio que se definan en el proyecto.

En lo relativo a los pedraplenes, el PG-3/75 clasificaba los materiales en adecuados, inadecuados y de estudio especial en función de la roca de procedencia según se refleja en la tabla 1.

En la nueva redacción del

PG-3 no se hace una clasificación por el tipo de roca, sino que los materiales se consideran adecuados si no sufren fisuración o pérdida de peso superior al 2% en el ensayo de inmersión, según la norma NLT-255, considerándose inadecuados en caso contrario.

Las condiciones granulométricas exigibles a los pedraplenes han sido indicadas en el punto 3.1 de este texto.

En la nueva redacción del PG-3 no se hace una clasificación por el tipo de roca

La condición de forma de las partículas propuesta es esencialmente la misma que se incluía en el PG-3/75, y consiste en que el uso de materiales con más del 30% de partículas de forma inadecuada será objeto de un estudio especial. Se entiende por partícula de forma inadecuada aquella en que se cumple que:

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

Donde: L (longitud) = separación máxima entre dos 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 planos paralelos tangentes a la partícula.

En lo relativo a los rellenos todo-uno, aunque todas las especificaciones son nuevas, por comparación con lo antedicho se indicará que la roca será considerada marginal cuando se cumpla alguna de las condiciones siguientes:

- Cuando, siendo la roca evolutiva (la pérdida de peso en ensayo NLT-255 resulta superior al 2%), la fracción que pasa por el tamiz 20 UNE se clasifica como marginal, según los conceptos expuestos para los terraplenes.
- Cuando las rocas contengan pirritas u otros sulfuros oxidables.
- Cuando tenga un contenido de yeso superior al 20%, o un contenido de sales solubles distintas del yeso superior al 1%.

- Cuando tenga un contenido en materia orgánica superior al 2%.

Para el uso de rocas marginales será necesaria la realización de un estudio especial, cuyo contenido mínimo se indica en el apartado 333.4.4.

3.4. Condiciones de puesta en obra

Los apartados de empleo y condiciones de puesta en obra se hacen mucho más extensos en la nueva redacción del PG-3, esencialmente por la inclusión de temas tales como: las precauciones con los distintos tipos de materiales (especialmente con los marginales); los espesores de tongadas; los sobreanchos; los cuidados en las transiciones desmonte/terraplén, etc.

Sin embargo, el cambio más importante y que aquí se desea resaltar, es el relativo a la humedad de puesta en obra del material en los terraplenes.

En el PG-3/75 tan sólo se indica que el contenido óptimo de humedad se obtendrá a la vista de los ensayos que se realicen en obra con la maquinaria disponible. Como resultado de lo anterior, habida cuenta de que en España son muy frecuentes los suelos con muy poca humedad, se ha utilizado fundamentalmente la compactación del lado seco, consiguiéndose altas densidades de puesta en obra a base de una maquinaria muy potente.

El resultado de este tipo de actuación es que, cuando se ha utilizado con materiales sensibles a las variaciones de humedad y el terraplén ha sufrido posteriormente aumentos importantes de la misma, se han observado fisuraciones o asentamientos diferenciales muy superiores a los previstos y, con mucha frecuencia, inaceptables.

Para evitar lo anterior, en el nuevo artículo 330 "Terraplenes", además de que las densi-

dades obtenidas sean superiores a las indicadas en el PPTP y nunca inferiores al 100% del Proctor de referencia en coronación (Proctor modificado salvo indicación expresa en contra), y al 95% del mismo en el resto de las zonas del relleno, el punto representativo del suelo en el diagrama humedad-densidad seca ha de encontrarse dentro de la zona de validez que se define como la comprendida entre la densidad seca referida y las líneas de iso-saturación correspondientes a los puntos de la curva de referencia relativos a las humedades límites, normalmente de menos dos por ciento (-2%) y más uno por ciento (+1%) de la óptima del Proctor de referencia (figura 5).

Las líneas de igual saturación vienen definidas por la expresión:

$$p_d = \frac{S \cdot G}{S + G_w} p_w$$

donde:

S = grado de saturación.

w = humedad del suelo.

p_d = densidad seca.

G = peso específico de las partículas (UNE 103 302).

p_w = densidad del agua (puede tomarse igual a 1 000 kg/m³).

En el caso de suelos expansivos o colapsables, previo el estudio específico apropiado, el tramo de la curva Proctor de referencia escogido para determinar la zona de validez será el comprendido entre las humedades correspondientes al menos uno por ciento (-1 %) y más tres por ciento (+3%) de la óptima de referencia. En el caso de suelos expansivos se escogerá normalmente el Proctor normal como Proctor de referencia.

3.5. Sistemas de control de calidad

La aceptación de materiales con características intrínsecas cada vez peores sólo se puede conjugar con unas mayores exigencias de calidad en la construcción y del control.

Por ello, mientras en el PG-3/75 el control se limitaba a la comprobación de que la

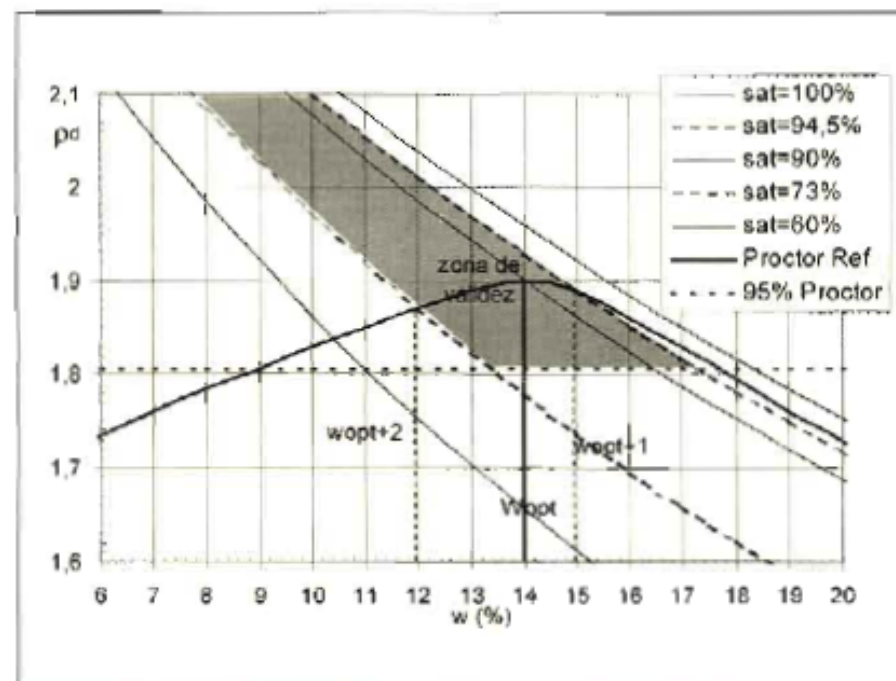


Figura 5. Zona de validez dada por la humedad y la densidad seca, en un caso práctico, para un núcleo de terraplén.

densidad alcanzada no era inferior a un determinado porcentaje de la densidad máxima del Proctor normal, en la nueva redacción del PG-3 se propone, para los terraplenes, el control no sólo de la densidad alcanzada y de la humedad de puesta en obra, según lo indicado en el punto anterior, sino también de la deformabilidad de las capas construidas, de forma que se pueda asegurar un comportamiento aceptable del relleno, tanto a corto como a medio y largo plazo.

En circunstancias especiales, el Proyecto o el Director de las obras podrán prescribir, además, la realización de ensayos complementarios para caracterizar las propiedades geotécnicas del relleno que se precisen.

De esta forma, en el caso de los terraplenes se considerará que la compactación de una tongada es aceptable, siempre que se cumplan las dos condiciones siguientes:

- La densidad seca "in situ" es superior al valor mínimo establecido en el Pliego, en el Proyecto o por el Director de obra, y se cumple la condición de humedad-densidad especificada en el apartado anterior.
- El módulo de deformación vertical en el segundo ciclo de carga del ensayo de carga con placa (E_{v2}) es como mínimo, según el tipo de material y en función de la zona de obra en que se ejecute, el siguiente:
 - En cimiento, núcleo y espaldones, cincuenta megapascals ($E_{v2} \geq 50$ MPa) para los suelos seleccionados, y treinta megapascals ($E_{v2} \geq 30$ MPa) para el resto.
 - En coronación, cien megapascals ($E_{v2} \geq 100$ MPa) para los suelos seleccionados, y sesenta

megapascals ($E_{v2} \geq 60$ MPa) para el resto.

En este ensayo de carga sobre placa, la relación, K , entre el módulo de deformación obtenido en el segundo ciclo de carga, E_{v2} , y el módulo de deformación obtenido en el primer ciclo de carga, E_{v1} , no será superior a dos con dos ($K \leq 2.2$).

Conviene resaltar además, que en 1998 se procedió a la revisión de la norma de ensayo con placa, NLT 357, que presenta importantes novedades respecto a la anteriormente en vigor.

Como innovaciones adicionales en este terreno, y sin extenderse en ellas, conviene mencionar que en la nueva redacción del PG-3:

- Se introduce adicionalmente el ensayo de la huella como alternativo a alguno de los ensayos necesarios de placa de carga, y como comprobación en el caso de rellenos todo-uno, para lo cual ha sido necesaria la creación de la nueva norma NLT-256.
- Se incluye toda una sistemática de división de la obra por zonas, de definición de lotes de muestras y de realización de ensayos y aceptación o rechazo para los diferentes lotes.

El esquema general de control de calidad de los rellenos

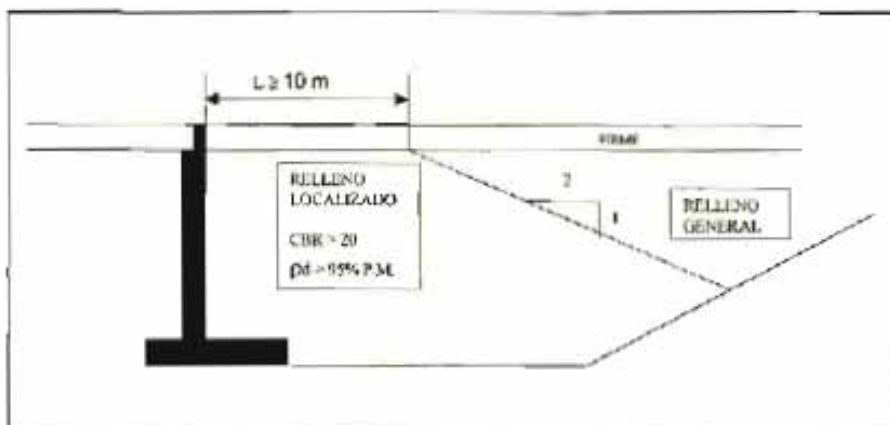


Figura 6. Relleno localizado en el trasdós de una estructura.

establecido por la nueva redacción del PG-3 según la O.C. 326/00 es el siguiente:

- **Terraplenes:** Control de producto terminado mediante controles de humedad - densidad y controles de deformabilidad con placa de carga u otro medio alternativo.
- **Rellenos todo uno:** Control de procedimiento con tramo experimental, control de densidad y comprobación de huella.
- **Pedraplén:** Control de procedimiento con pedraplén experimental.

3.6. Rellenos localizados

Las principales innovaciones en este apartado, según se reflejan en el artículo 332, radican en:

- Se excluyen del mismo los rellenos localizados de material drenante, que pasan a tratarse dentro de la Parte 4ª "Drenaje" del PG-3, quedando este artículo reservado a zonas con misión estructural.
- Se contemplan aquí las zonas del trasdós de las obras de paso, que se extienden en coronación al menos hasta las siguientes distancias:
 - Obras sin losa de transición: diez metros (10 m).
 - Obras con losa de transición: el mayor valor en-

tre diez metros (10 m) o el doble de la dimensión de la losa en el sentido longitudinal de la carretera.

La superficie de separación entre el relleno localizado y el relleno normal tendrá en el sentido longitudinal de la carretera una pendiente máxima de 1/2 (ver figura 6).

- Se emplearán siempre suelos adecuados o seleccionados tales que su CBR, en las condiciones de compactación exigidas (normalmente el 95% o 100% del Proctor modificado), sea superior a diez (10) y, en el caso de trasdós de una obra de paso, superior a veinte (20).

Además de los cambios indicados, que como puede verse hacen bastante más exigentes las calidades impuestas a los rellenos localizados y sobre todo obligan a un cuidado especial en la zona del trasdós de las obras de paso, se dictan normas bastante detalladas, para el nivel requerido en un pliego general, sobre cómo ha de cuidarse la ejecución de estos rellenos; y se distingue claramente entre lo relativo a rellenos en el trasdós de obras de paso y en relleno de zanjas para instalación de tuberías.

4. Geotextiles

La inclusión de los artículos relativos a los geotextiles en el PG-3 se ha hecho necesaria, tanto por su cada vez mayor uso en obras de carretera, como por la persistencia de un relativo desconocimiento de las reglas para su adecuado uso, lo que ha llevado en demasiadas ocasiones a que la única especificación aportada en algunas realizaciones fuese la de su peso por unidad de superficie y el único control, en el caso de realizarse, fuese la comprobación de dicha característica.

Ello, ha llevado en múltiples ocasiones a la elección sistemática del geotextil más barato por unidad de peso, aunque fuese de dudosa procedencia; y el resto de sus propiedades, sin duda más necesarias para la obra que su gramaje, no se conocieran suficientemente.

La discusión sobre los aspectos por normalizar en el uso de los geotextiles, especialmente la mantenida en el seno del Comité Español de Geotextiles de la AIPCR, ha resultado larga y tensa, sin duda, en gran medida por la existencia de importantes intereses económicos. Ello, unido a las propias limitaciones del contenido del PG-3, que no hay que olvidar que es un pliego de tipo general que ha de centrarse en lo relativo a los materiales y a las condiciones de su empleo, sin entrar en aspectos de diseño, que corresponden al proyecto y a la Instrucción de Carreteras, ni en detalles específicos que corresponden al Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares de cada obra, ha dado lugar a la elaboración de un pliego de mínimos, tanto desde el punto de vista de los aspectos abordados como desde el de los requisitos exigidos dentro de los artículos que se presentan.

De esta forma, dentro del mundo de los denominados geosintéticos, sólo se han abordado los geotextiles y no las geomallas, ni las geomembranas ni los geocompuestos; y tan sólo se han tratado las condiciones de uso general de los geotextiles (art. 290) y su uso como elemento de filtro o separación (art. 422), sin entrar en las especificaciones relativas a la función de drenaje a lo largo del propio geotextil, relativamente poco frecuente, ni en las de refuerzo que dependen en gran medida de cada caso particular y de los criterios de diseño empleados.

No obstante las limitaciones anteriores, se espera que estos nuevos artículos contribuyan a racionalizar el uso que, de estos materiales, se realiza en nuestras obras.

Es propósito de la Dirección General de Carreteras la elaboración de uno o varios manuales sobre geotextiles, geomembranas, geomallas y geocompuestos; así como la elaboración de una normativa adicional al respecto, bien en forma de nuevos capítulos de la Instrucción de Carreteras, bien de nuevos artículos del PG-3, o como normas de recepción o ensayo etc.

4.1. Aspectos generales

En el artículo 290 del PG-3, según la redacción dada por la O.C. 326/00, se indican en primer lugar las definiciones más usuales y necesarias para un adecuado entendimiento entre los profesionales que usan estos productos, así como las normas que serán de aplicación en su empleo, entre las que destacan las relativas a:

- Definiciones (UNE 40523).
- Aspectos generales, como el etiquetado (UNE EN ISO 10320), la masa por unidad de superficie (UNE EN 965), el espesor (UNE EN 964) y la durabilidad (UNE ENV 12226).
- Propiedades mecánicas, tales como las resistencias a la tracción (UNE EN ISO 10319), al punzonamiento (UNE EN ISO 12236) y a la perforación dinámica (UNE EN 918), o el ensayo de fluencia (EN ISO 13431).
- Propiedades hidráulicas, tales como la permeabilidad normal al plano (EN ISO 11058), la permeabilidad en el plano del geotextil (EN ISO 12958) y el diámetro eficaz de los poros (EN ISO 12956).

En el mismo artículo se es-

establece la obligatoriedad del etiquetado de todos los rollos de geotextil, según UNE EN ISO 10320, y su estampado a intervalos máximos de 5 m, de forma que no se use ningún trozo de geotextil sin identificar; y se establece que los geotextiles deberán venir empaquetados en un embalaje opaco, para evitar su deterioro por la luz solar; deberán almacenarse adecuadamente; no podrán quedar expuestos más de 4 meses antes de ser cubiertos; y no podrán instalarse geotextiles que hayan sido fabricados más de 6 meses antes de ser instalados.

Se indica, asimismo, que cada partida se dividirá en lotes de, a lo sumo, 30 rollos o 10 000 m² de material, en los que se comprobarán, según procedimiento que se detalla en dicho artículo, al menos la masa por unidad de superficie, la resistencia a tracción y su alargamiento, y la perforación dinámica. Es de destacar que, si se aporta una acreditación de sello o distintivo de calidad, el Director de las obras podrá eximir de la realización de tales ensayos.

Se establece también un procedimiento para poder rastrear el uso de cada partida, así como los requisitos adicionales a cada una de ellas en función del ambiente al que estará sometido el geotextil y del tiempo de exposición a la intemperie, según la tabla 2.

Si la resistencia a largo plazo del geotextil no es importante para la aplicación concreta de que se trate, el Director de las obras podrá aceptar una reducción del 20% en estos valores.

4.2. Los geotextiles como elemento de separación y filtro

En este apartado, entre otros aspectos, se establecen los parámetros resistentes mí-

Tabla 2	
% Remanente de resistencia a tracción (UNE EN ENV 12224)	Tiempo de exposición (t)
>60%	t < 15 días
>80%	15 días < t < 4 meses

Tabla 3				
Grupo	e(kN/m) (valor mínimo)	R _t (kN/m) (valor mínimo)	R _p (mm) (valor máximo)	Función del geotextil
0	6,4	16	20	SEPARACIÓN
1	4,8	12	25	
2	3,2	8	30	
3	2,4	6	35	
0	2,7	9	30	FILTRO
1	2,1	7	35	
2	1,5	5	40	
3	1,2	4	45	

Tabla 4			
Grupo	Tráfico de la vía	Inclinación de la superficie de apoyo	E _v (NLT 357) (MPa)
3	T ≤ T3	i < 5 % i > 85° (°)	E _v > 50
2	T ≤ T2	i < 10 % i > 75° (°)	E _v > 30
1	T ≤ T1	-	E _v > 15
0	(Resto)		

(*) Geotextil como elemento de filtro en zanjas.

nimos para los geotextiles usados en las funciones de separación y filtro, según se refleja en la tabla 3.

donde:

R_t = Resistencia a tracción (kN/m) (UNE EN ISO 10319).

e = Deformación unitaria en rotura (tanto por uno) (UNE EN ISO 10319).

R_p = Resistencia a perforación dinámica (mm) (UNE EN 918).

e = R_t · e (kN/m)

y los grupos de requisitos resistentes mínimos que se de-

ben exigir quedan definidos, de menor a mayor exigencia (ver tabla 4).

Se establecen, además, los siguientes criterios de retención:

0,05 mm < O_{90,w} < 0,20 mm

O_{90,w} < d₉₀

si d₉₀ < 0,06 mm;

O_{90,w} < 10 d₅₀

Si d₉₀ ≥ 0,06 mm;

O_{90,w} < 5 · √d₁₀ · d₅₀

donde:

O_{90,w} = apertura eficaz de poros (EN ISO 12956).

d_x = apertura de tamiz por el que pasa el x% en peso del suelo que se va a proteger.

En lo relativo a la permeabilidad del geotextil en la perpendicular a su plano (permeabilidad, según UNE EN ISO 11 058), será al menos 10 veces superior a la del material menos permeable que separa si el flujo puede considerarse laminar y unidireccional, mientras que en caso contrario deberá ser al menos 100 veces superior a la de dicho material.

5. Cimentaciones y técnicas de mejora del terreno

En cuanto a los artículos del Capítulo V de la Parte 6 "Cimentaciones", el método seguido para la revisión de esta parte del texto ha sido tomar como referencia las normas europeas sobre ejecución de trabajos geotécnicos. Estas normas han sido elaboradas por el Comité Técnico TC-288 del Comité Europeo de Normalización (CEN), con el objetivo de unificar los procesos de ejecución de las diferentes obras geotécnicas en el ámbito europeo.

Cada técnica en concreto ha sido desarrollada por un grupo de expertos de los diferentes países de la Unión Europea, dentro del citado comité TC 288, utilizando como textos de partida las diferentes normas (BSI, DIN, AFNOR, SIA, NTE, PG-3, etc.) que, con relación a cada uno de los temas desarrollados, se consideraron de interés en cada caso.

Además, se debe indicar que, dado el ámbito de aplicación del PG-3, en el que los artículos no tienen la concepción de un manual de ejecución, sino de Pliego de Prescripciones Técnicas, en su redacción tan sólo se han in-



La inclusión de los artículos relativos a los geotextiles en el PG-3 se ha hecho necesaria tanto por su cada vez mayor uso en obras de carretera, como por la persistencia de un relativo desconocimiento de las reglas para su adecuado uso.

corporado los aspectos de las normas europeas que se han considerado más relevantes para la ejecución de las obras de carretera en España.

Los artículos de nueva redacción, en este capítulo V de la parte 6, "Cimentaciones", han sido el 675, Anclajes, el 676, Inyecciones, y el 677, *Jet-Grouting*.

Los artículos en los que se ha revisado el texto del antiguo PG-3 han sido el 670, Pilotes hincados a percusión, el 671, Pilotes de hormigón armado moldeados *in situ*, el 672, Pantallas continuas de hormigón armado moldeadas *in situ*, y el 673, Tablestacados metálicos.

Los textos de normas europeas utilizados en la redacción de cada uno de estos artículos han sido los siguientes:

- Pilotes hincados: prEN 12699.
- Pilotes hormigonados *in situ*: EN1536.
- Pantallas: EN 1538.
- Tablestacados metálicos: EN 12063.
- Anclajes: EN 1537.

- Inyecciones: prEN 12715.
- *Jet Grouting*: prEN 12716.

A continuación se presentan de una manera esquemática las principales innovaciones contenidas en cada uno de los artículos anteriores:

En el artículo de pilotes hincados, se prescribe una profundidad mínima de hincado de 8 veces la dimensión mínima del pilote; se establece la clasificación en pilotes de hormigón armado o pretensado (para los que se concretan los requisitos de resistencia, armadura y recubrimiento mínimos, así como sus condiciones de fabricación), pilotes de acero (para los que se indica la necesidad de un estudio de medidas de protección en el caso de que el terreno o las aguas freáticas contengan elementos agresivos para el acero) y pilotes de madera (en general, hoy ya poco utilizados y cuyas características apenas sufren cambios respecto de la versión anterior).

En el artículo de pilotes hormigonados *in situ*, se establecen unas nuevas clasificaciones de éstos, y se definen una serie

de limitaciones de uso para los de barrena continua. Se introducen nuevos criterios en lo que se refiere al contenido de cemento, resistencia característica del hormigón, y consistencia (cono de Abrams), según las condiciones de puesta en obra, armadura, etc. También se establecen las características de los lodos bentoníticos o polímeros de estabilización. Se modifican además parcialmente algunas de las condiciones de puesta en obra y tolerancia, y se añaden unos apartados nuevos en el parte de trabajo de cada pilote.

En el artículo de pantallas destacan, respecto de la versión anterior, las exigencias en relación con el armado, el contenido mínimo de cemento y la consistencia del hormigón fresco, entre otras, así como los parámetros exigidos a los fluidos de excavación y los diversos criterios de tolerancia admitidos en su ejecución.

En el artículo de tablestacas cabe destacar, como principales innovaciones, la tabla de tolerancias relativa a su posición y verticalidad, la verificación mediante prueba de hinca o experiencia previa de las estructuras sensibles existentes en los alrededores de la obra, y la necesidad de aprobación de un informe específico relativo a la impermeabilidad de las tablestacas si se plantean unos condicionantes estrictos acerca de ella.

Los anclajes aparecen por primera vez como artículo en el PG-3 mediante la O.C. 326/00. Después de la definición de sus partes, se establecen una serie de clasificaciones en función de su vida útil (permanentes, si ésta excede de 2 años, y temporal, en caso contrario) y su forma de trabajar (activos y pasivos). A continuación, se analizan los materiales y productos que pueden emplearse, los proce-

dimientos de ejecución, los sistemas de protección frente a la corrosión, y los criterios de ensayo.

También es nuevo el artículo de inyecciones, que comienza con una clasificación tanto de éstas como de los procesos de inyección. Se estudian los materiales y productos que pueden inyectarse, así como los procesos de ejecución y control de esta unidad de obra.

culos del PG-3 relativos a geotecnia vial, drenaje y cimentaciones, entre las que pueden destacarse:

- Incorporación de los geotextiles.
- Nuevo tratamiento y clasificación de los rellenos, incluyéndose como nuevo artículo el de "rellenos todo-uno"; y estableciéndose una nueva clasificación de los suelos para terraplén, dando cabida a los materiales



Los anclajes aparecen por primera vez como artículo en el PG-3 mediante la O.C. 326/00

El último de los nuevos artículos es el de *jet-grouting*, en el que se consideran los sistemas de fluido único, doble (aire o agua) y triple. Se analizan los materiales que pueden emplearse, y los procedimientos de ejecución, control y supervisión.

6. Principales conclusiones

En este texto se ha pasado revista a las principales novedades existentes en la O.C. 326/00, que actualiza los artí-

culos marginales, previo estudio especial justificativo de sus posibles usos.

- Incorporación del *jet-grouting*, los anclajes y las inyecciones.
- Revisión general de 27 artículos del texto preexistente, que, unidos a los 6 que se han incorporado por vez primera, hacen un total de 33 artículos de nueva redacción, con los que se pretende poner al día la normativa de la Dirección General de Carreteras en lo relativo a geotecnia vial y drenaje. ■