

Resultados de la encuesta sobre diseño y ejecución de terraplenes

POR EL COMITÉ DE GEOTECNIA VIAL DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

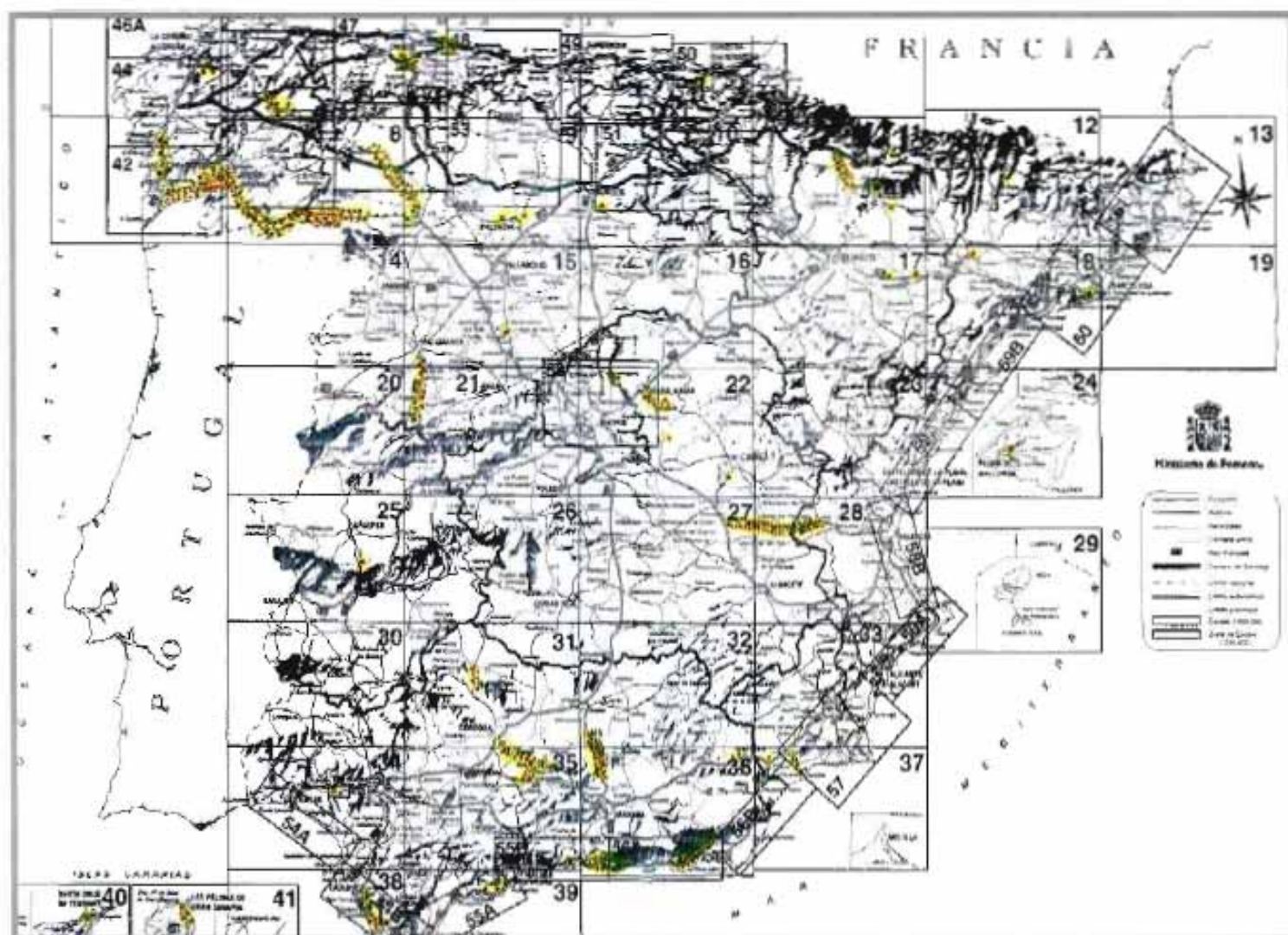


Figura 1. Situación aproximada de los rellenos estudiados. Se muestran con una banda negra los tramos estudiados.

1. Introducción

Con el objetivo de disponer de información sobre las prácticas habituales de diseño y ejecución de rellenos de altura superior a 10 m, el Comité de Geotecnia Vial de la A.T.C. ha realizado una encuesta entre los organismos, sociedades y profesionales cu-

ya actividad está vinculada con aquéllos.

Los trabajos de la encuesta han sido realizados por los miembros del Comité de Geotecnia Vial: Don Carlos Oteo Mazo, Don Juan Enrique Dapena y Don José Manuel Martínez.

Para la realización de la encuesta se diseñó una ficha en la que se recogió, para cada relleno estudiado, un conjunto

de datos que permite delinir sus características más representativas (localización, geometría, tipo de material, datos de construcción, control).

En total, las contestaciones a la encuesta han sido 323, de las cuales 229 corresponden a tramos de autovía o de autopista, 92 a carreteras de dos carriles y 2 al AVE Madrid-Barcelona. Las 323 fichas están repartidas en 40 vías diferen-

tes (carreteras y ferrocarril), afectando a 35 provincias.

Se agradece al Laboratorio de Geotecnia del CEDEX la colaboración prestada para la elaboración de este trabajo, en especial a D. Javier González-Gallego por su labor en el proceso de datos y análisis de resultados.

2. Método de trabajo

Para el estudio de las fichas, y con el objeto de simplificar su estudio, se ha elaborado una ficha-resumen, extrayendo los datos que se han considerado más representativos, fundamentalmente los datos básicos correspondientes a la situación del relleno, los materiales empleados para su construcción, características constructivas, el tipo de control y ensayos y una valoración de su comportamiento.

Con los datos seleccionados se ha realizado un estudio mediante una hoja electrónica de cálculo, en la que se han recogido, en diferentes tablas, los datos de todos los rellenos estudiados. A partir de estas hojas electrónicas se ha realizado un estudio pormenorizado, en el que se han contemplado diferentes valores estadísticos de los parámetros considerados, así como los correlaciones entre ellos.

Complementariamente al estudio estadístico de los datos, se ha realizado un mapa (figura 1) en el que se ha recogido gráficamente la distribución geográfica de los 323 rellenos analizados.

3. Análisis e interpretación de los resultados de la encuesta

3.1. Rellenos en general

Para realizar una valoración objetiva de los resultados es

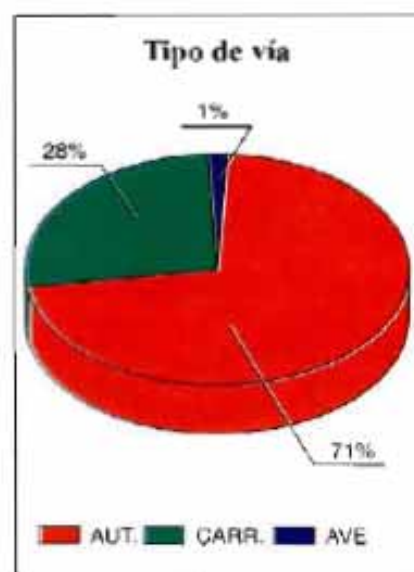


Figura 2.



Figura 3.

necesario destacar que, de las 323 fichas contestadas, hay 85 en las cuales no se ha respondido a todos los apartados de la encuesta.

Asimismo, la distribución geográfica de las respuestas, que puede apreciarse en la figura 1, muestra que las contestaciones no están repartidas homogéneamente en el territorio nacional, como tampoco están distribuidas por toda la longitud de la traza de la carretera.

Se debe señalar que en las carreteras N-III, A-52, A-6 y

N-340 se aglutina el 59% de las contestaciones (192 fichas), estando, además, sus respuestas concentradas en unos tramos muy concretos de estas vías.

De las 323 fichas, el 71% (229) corresponden a tramos de autovía o autopista, el 28% (92) a carreteras de calzada única y un 1% (2) a obras del AVE. Esta distribución se muestra en la figura 2.

Por regiones puede apreciarse que en las zonas del noroeste español (Galicia, León y Zamora) y Andalucía se encuentran las mayores densidades de encuestas contestadas.

En la figura 3 se muestra cómo el tipo de relleno más habitual ha sido el "todo uno", con un 38%. A continuación, el más empleado ha sido el terraplén, con un 30%, siendo los menos empleados el pedraplén, con un 15%, y el tipo mixto (17%). Estos últimos, suelen ser, en general, una combinación de pedraplén en la parte de abajo y terraplén en la de arriba. Es necesario señalar que, dentro del tipo de pedraplén, se han incluido dos fichas de escollera que, por sí solas, no tienen un valor representativo en términos estadísticos.

La figura 4 representa los valores medios de las alturas máximas, tanto del conjunto de los rellenos (media total 23 m) como las referidas a cada una de los cuatro tipos diferenciados.

En cuanto a la inclinación de los taludes del relleno, destaca de forma predominante el talud 3H/2V. En la figura 5 se muestra la distribución estadística de las inclinaciones utilizadas en los taludes de los rellenos.

En lo que respecta al tipo de maquinaria empleado, la mayoría de las encuestas si responden aunque de forma muy diferente. En unas ocasiones se menciona el modelo de la

máquina (ej. Lebrero 3/18), en otras el tipo (ej. rodillo vibratorio, 18 t), o incluso se contesta simplemente, maquinaria pesada, maquinaria convencional, etc. En ningún caso se ha hecho referencia al número de pasadas que se han dado.

No obstante, se ha podido correlacionar, de forma aceptable, el espesor de la tongada con el tipo de maquinaria (figura 6), pudiendo apreciarse cómo los rodillos vibratorios de 18 y 20 t se utilizan para espesores de tongada comprendidos entre 90 y 120 cm; los rodillos de 12 a 16 t para espesores que van de 40 a 90 cm; y el rodillo de pata de cabra se utiliza en tongadas con un espesor que varía entre 20 y 50 cm.

También se ha relacionado en la figura 7 el tipo de máquina con la proporción de los finos y el tamaño máximo de material. Sólo hay 19 encuestas en las que se haya contestado a estos tres apartados. En cualquier caso, se observa cómo para proporciones elevadas de finos y pequeño tamaño máximo, el rodillo utilizado es el de pata de cabra. Si el contenido en finos varía entre el 5 y 20%, el abanico de utilización de los rodillos vibratorios es amplio, no habiéndose podido considerar el número de pasadas al no recogerse este dato en las encuestas.

En la figura 8 puede observarse cómo hay una relación directamente proporcional entre el espesor de tongada y el tamaño máximo de material. En general, el tamaño máximo suele estar comprendido entre 1/2 a 3/4 del espesor de tongada.

La relación entre el contenido de finos y el espesor de la tongada se muestra en la figura 9, donde puede apreciarse cómo con una elevada proporción de finos los espesores de la tongada suelen ser pequeños (20 a 50 cm), y para conteni-

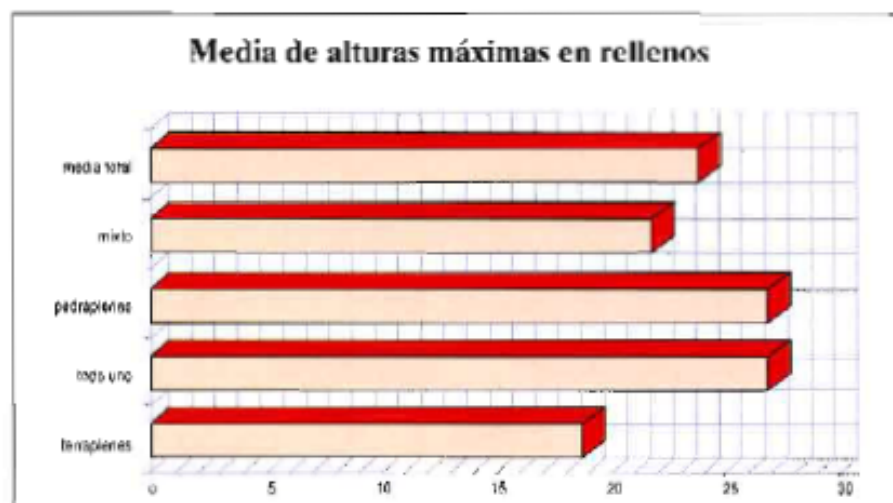


Figura 4.

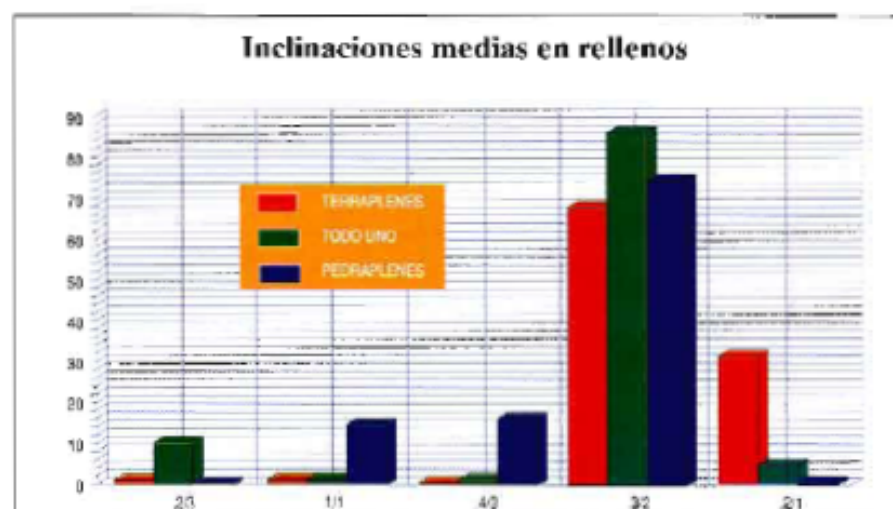


Figura 5.

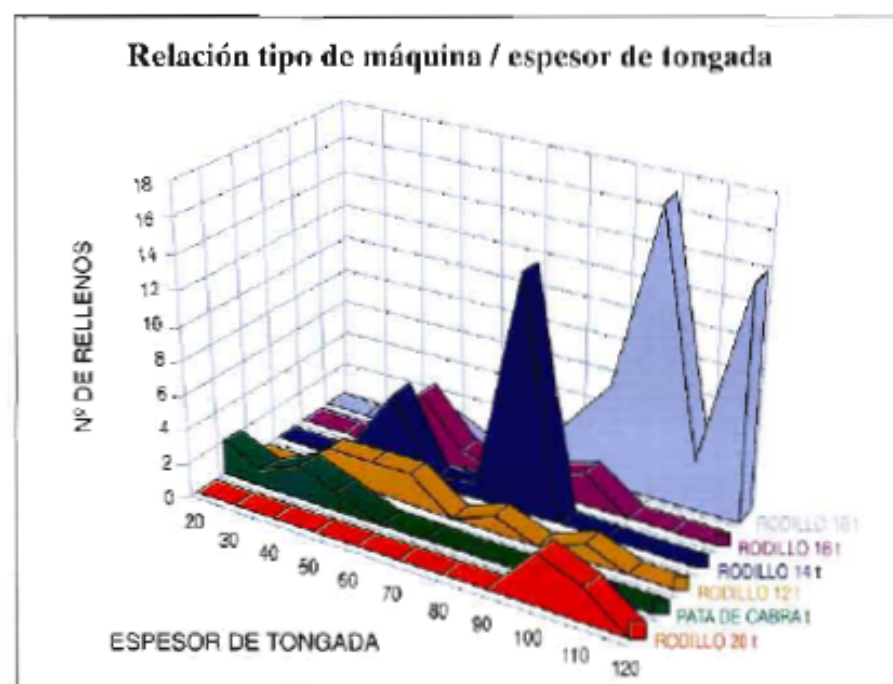


Figura 6.

se repite con cierta frecuencia (10%) es la erosión de las paredes de los taludes, siendo los casos de fisuras, erosión y estabilidad muy ocasionales (1-2%). Es significativo, como se muestra en la figura 14, que, en el caso de los terraplenes, es donde más problemas se han observado.

3.2. Estudio particularizado

3.2.1. Terraplenes

De los 323 casos estudiados, 89 responden a terraplén. La altura máxima media es de 18 m, con una inclinación de los taludes en la que predomina, claramente, la 3H/2V, que se utiliza en un 67% de los casos, mientras que el talud 2H/1V se utiliza en un 30%.

En cuanto a los espesores de tongada utilizados en la construcción de los terraplenes, como se refleja en la figura 15, (en la que se muestra la distribución de espesores de tongada en relación con el número de terraplenes que han empleado dicho espesor), los valores suelen estar comprendidos entre 30 y 50 cm, siendo el valor más usual el de 40 cm, utilizado en 32 de los 90 casos de terraplenes estudiados. El PG3 recomienda un espesor máximo de 30 cm.

En la figura 16, se ha diferenciado el espesor de tongada según el tipo de material empleado (suelo arcilloso y suelo arenoso). La figura muestra cómo para los suelos de carácter arcilloso, el espesor de la tongada varía entre 20 y 50 cm, siendo los valores más usuales 30, 35 y 40 cm. En el caso de los suelos de tipo arenoso, el espesor de la tongada varía entre 30 y 50 cm, siendo 40 y 50 cm los espesores más utilizados.

El ensayo más empleado en el control de los terraplenes ha sido el de la densidad (por el método nuclear), que se ha utilizado en la práctica totalidad

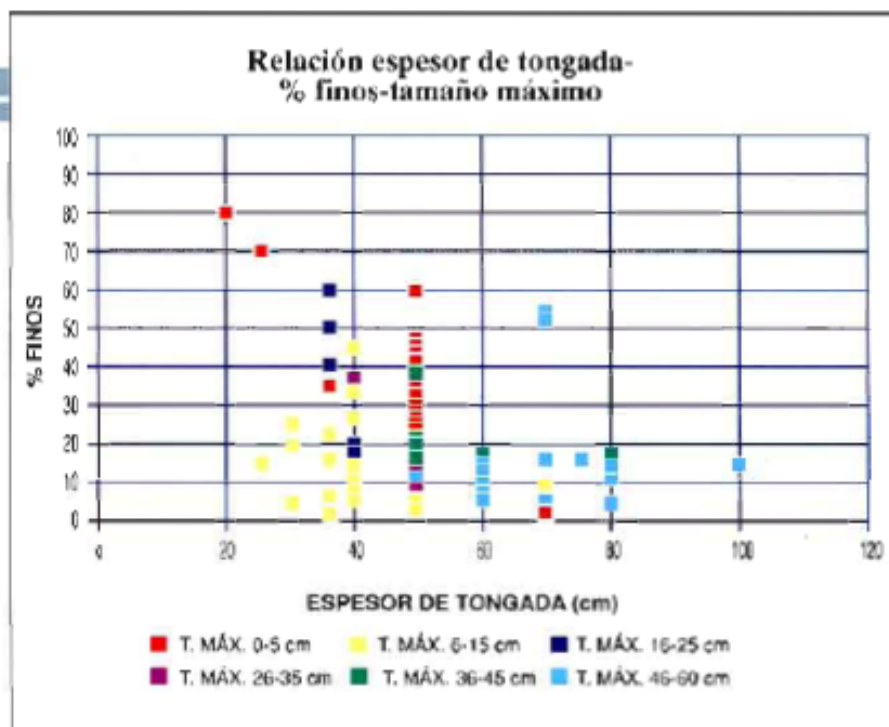


Figura 10

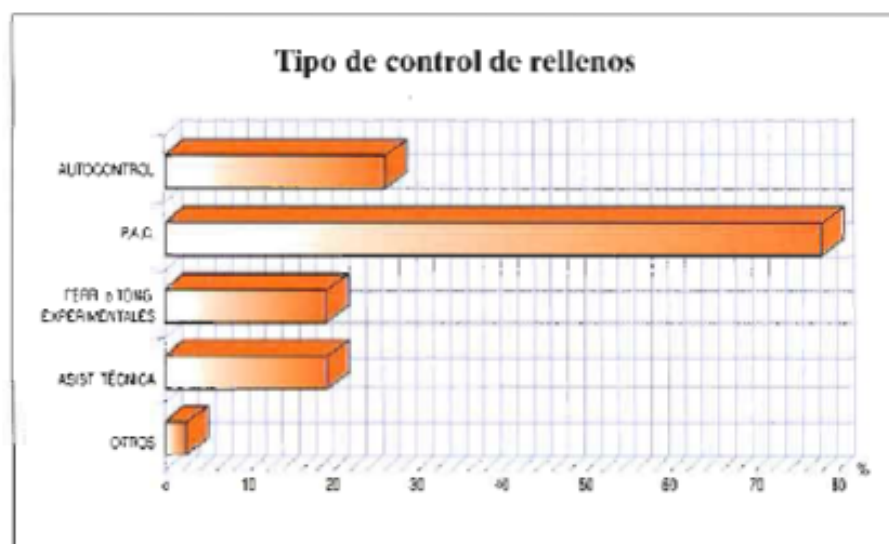


Figura 11.

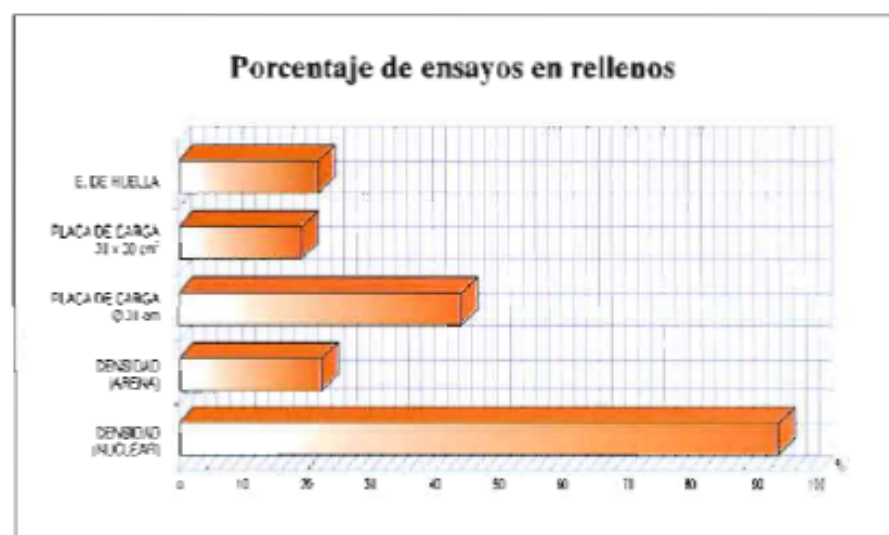


Figura 12.



Figura 13.

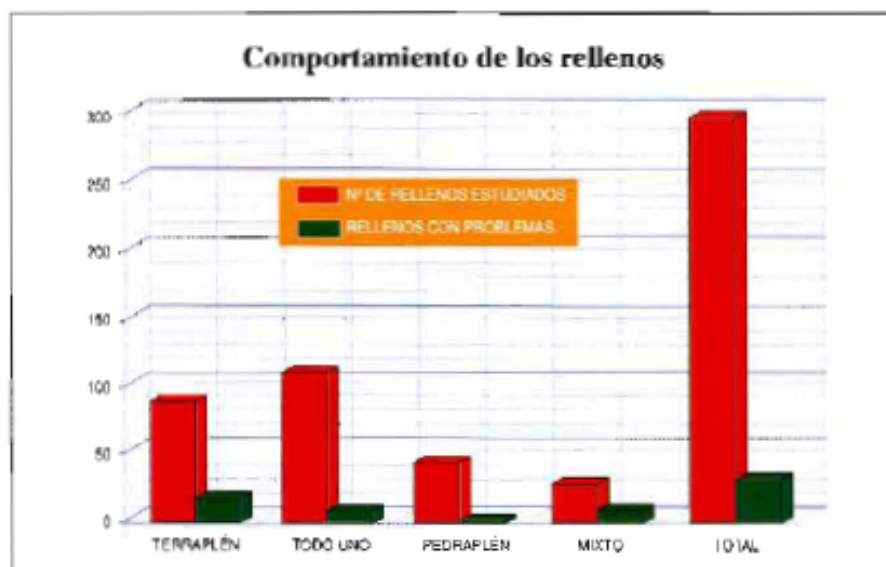


Figura 14.

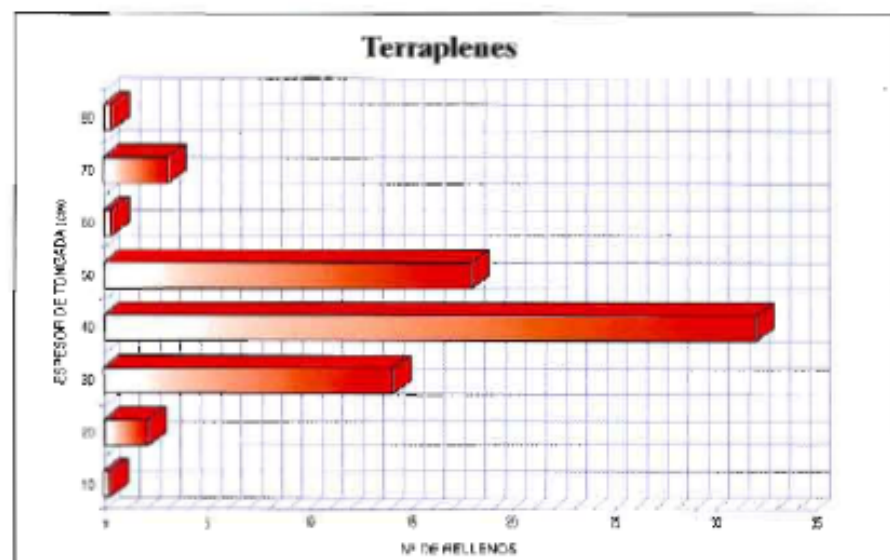


Figura 15.

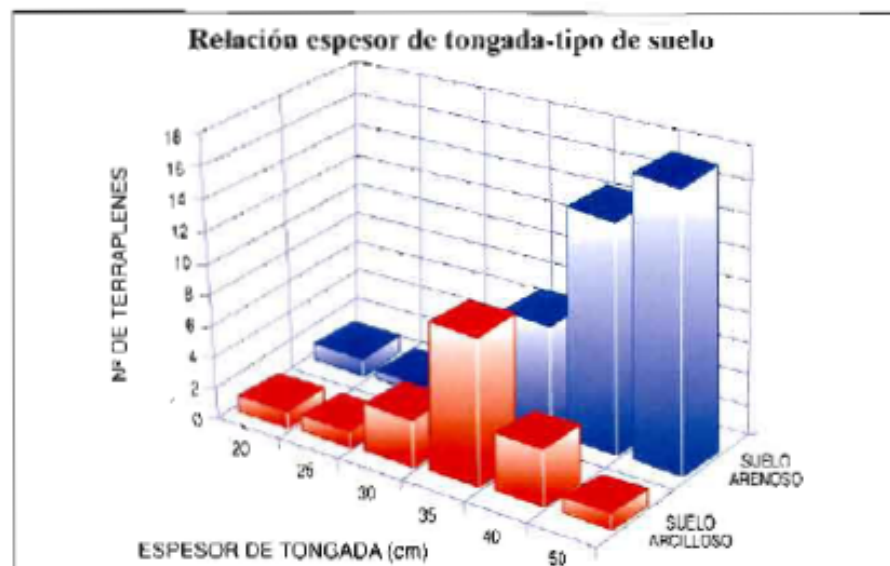


Figura 16.

de los casos, coexistiendo además en muchas ocasiones con la utilización de la placa de carga, ya sea circular de $\phi = 30$ cm (46% de los casos) o cuadrada de 30×30 cm² (24%). Tanto el método de la arena, para conocer la densidad, como el ensayo de la huella, son poco utilizados en terraplenes: 13 y 6%, respectivamente (figura 17).

El 18% de las contestaciones sobre terraplenes recibidas denuncia unos problemas (figuras 14 y 18), que se concretan en 13 casos relacionados con la erosión y en 3 casos con los asientos. La valoración de estos datos debe hacerse considerando que nueve de los terraplenes con problemas de erosión tienen, al mismo tiempo, un comportamiento satisfactorio, lo que parece indicar una importancia relativa de los problemas de erosión señalados. También es necesario señalar que, de los 90 terraplenes, sólo 66 contestan a este apartado.

3.2.2. Todo Uno

Se han estudiado 112 fichas correspondientes a la tipología de "todo uno". La altura máxima media de estos rellenos se sitúa en 26 m, con una

inclinación de taludes que, en el 85% de los casos, corresponde a la 3H/2V.

El espesor medio de la tongada para el "todo uno" está comprendido entre 50 y 60 cm, existiendo además unos 15 casos con unos espesores de 100 a 120 cm (no habituales, salvo excepciones, en rellenos de este tipo). Estos datos se recogen en la figura 19. El espesor medio de la tongada, para los rellenos "todo uno" recomendado en el nuevo PG3 es menor de 60 cm.

El ensayo más empleado para el control de estos rellenos ha sido el de densidad (por el método nuclear), que se ha utilizado en el 91% de los casos. Además, en comparación con los terraplenes, en el "todo uno" se ha empleado más la placa de carga de $\phi = 30$ cm (53%), así como la densidad por el método de la arena (35%) y el ensayo de la huella (29%).

El 7% de los rellenos "todo uno" han tenido algún tipo de problema. Cabe destacar que, de los 112 rellenos de este tipo, sólo 79 han contestado a este apartado. La patología del daño está muy repartida entre las fisuras (2,5%), los asentos (2,5%), la erosión (5,0%) y la estabilidad (3,8%).

3.2.3. Pedraplenes

Han sido 46 las fichas correspondientes a los rellenos

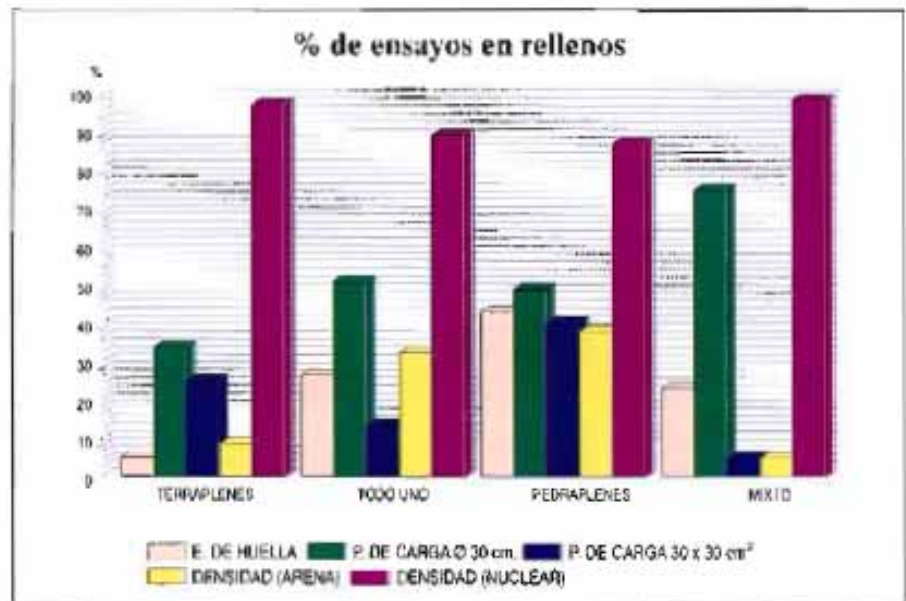


Figura 17.

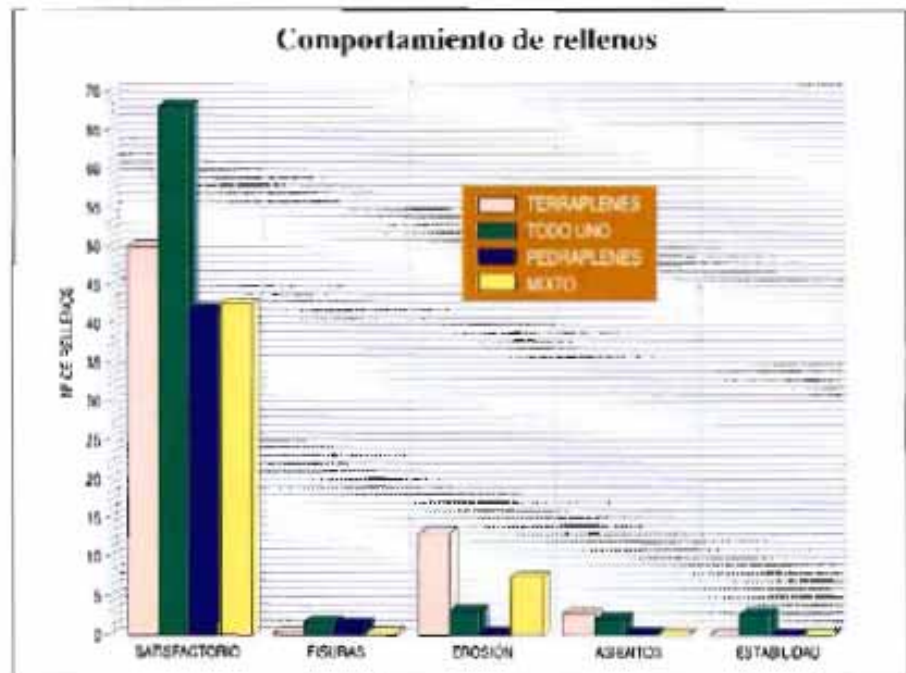


Figura 18.



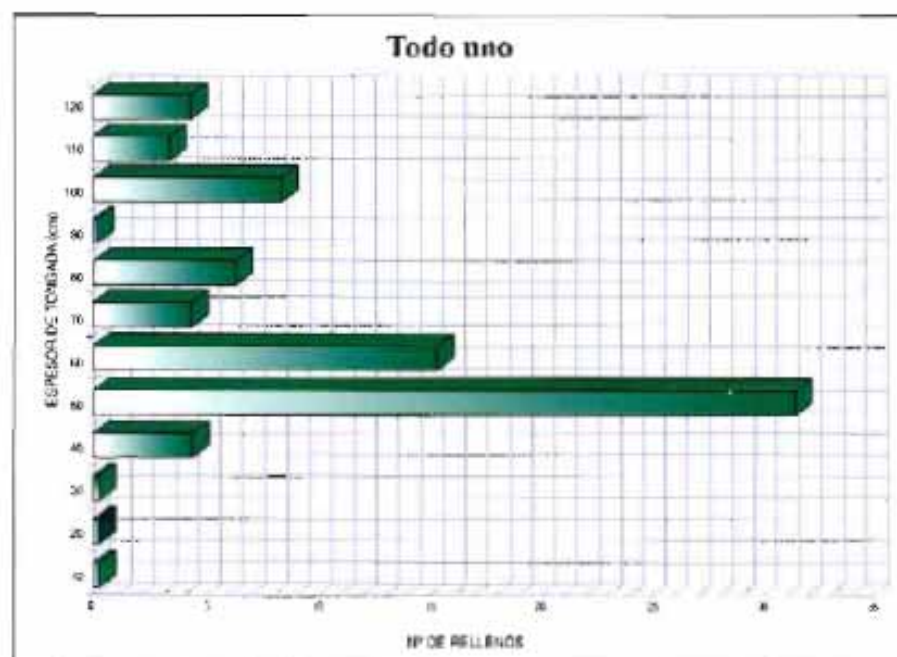


Figura 19.

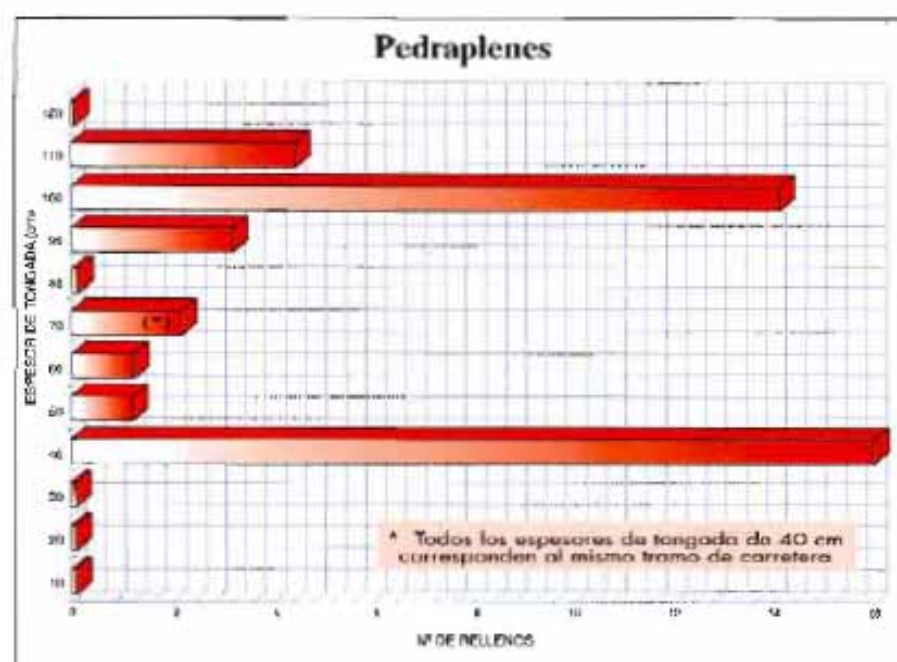


Figura 20.

del tipo pedraplén, del total de las 323 contestaciones recibidas. La altura máxima media de este tipo de relleno ha sido de 26 m, como puede apreciarse en la figura 4.

La inclinación media de los taludes en los pedraplenes ha sido, en una gran parte de los casos, la 3H/2V (73%), teniendo también una presencia importante el talud 4H/3V,

con un 15%, y el 1H/1V, con un 13%.

Respecto al espesor de la tongada (figura 20) cabe indicar que hay 16 fichas en las que, especificando que el relleno es del tipo pedraplén (ejecutado con dolomías grises), se señala un espesor de tongada de 40 cm.

En el resto de las fichas puede apreciarse que el espesor de

la tongada suele estar comprendido entre 90 y 110 cm, destacando como valor más empleado el de 100 cm (14 fichas). Este valor está en concordancia con el máximo permitido en el nuevo PG3: 135 cm.

En los pedraplenes, el método de ensayo más utilizado es el de la densidad (nuclear), que se ha empleado en un 89% de los casos. Del resto de ensayos, que se utilizan con mayor frecuencia que en otro tipo de rellenos, cabe destacar que el ensayo de la huella se ha realizado en un 46% de los casos; la densidad, por el método de la arena, en el 38%; la placa de carga de $\phi = 30$ cm en un 51%; y la de 30×30 cm², en el 43%. En el nuevo PG3 no se contempla la utilización del ensayo nuclear para la determinación de las densidades.

En cuanto al comportamiento, tan sólo en una de las 44 fichas de pedraplenes que han contestado este apartado se ha señalado la presencia de problemas, asociados con fisuras.

3.2.4. Mixto

Un total de 52 fichas de las 323 estudiadas se han considerado como rellenos de tipo mixto. Es necesario destacar que no en todas las 52 fichas se ha contestado a todos los apartados, por lo que su tratamiento estadístico, en algunos parámetros, no se ha podido realizar.

La altura media de este tipo de rellenos ha sido de 21 m (figura 4).

En cuanto a la inclinación del talud (figura 21), en los rellenos de tipo mixto encontramos, por un lado, unos rellenos cuya inclinación es igual en todo el talud; y otros en los que, para cada tipo de material, presentan una inclinación diferente (ej. abajo pedraplén con inclinación 1H/1V, y arriba "todo uno" con inclinación en el talud 2H/1V).

4. Comentarios del Comité de Geotecnia Vial a los resultados de la encuesta

A la vista de los resultados obtenidos, comparándolos con las especificaciones recogidas en el PG-3.75 y las nuevas versiones de los artículos sobre Terraplenes, Pedraplenes y Rellenos "todo uno", el Comité de Geotecnia Vial de la AIPCR cree conveniente hacer los siguientes comentarios:

1. Espesor de tongada de los terraplenes

La nueva versión del Artículo 330 dice: El espesor de la tongada "en general, y salvo especificación en contrario del Proyecto o del Director de obra, será de treinta centímetros (30 cm)".

Los espesores de tongada para la construcción de terraplenes en la encuesta, oscilaron entre 30 y 70 cm, con una moda de 40 cm, por lo que se sugiere como redacción alternativa la siguiente:

El espesor de la tongada "en general, y salvo especificación en contrario del Proyecto o del Director de obra, tendrá un máximo de treinta centímetros (30 cm). Para unos espesores mayores, se debe garantizar la densidad en la base de la tongada".

2. Ensayos de control de los rellenos

En la encuesta se manifiesta un uso generalizado y extensivo del método nuclear para el control de densidad de todo tipo de relleno. Por ello, además de señalar las limitaciones que tiene este ensayo para el control de los rellenos y "todo uno", y no ser válido en los pedraplenes, se quiere hacer hincapié en la necesidad de contrastar los resultados del método nuclear con los medidos directamente con el método de la arena u otro ensayo

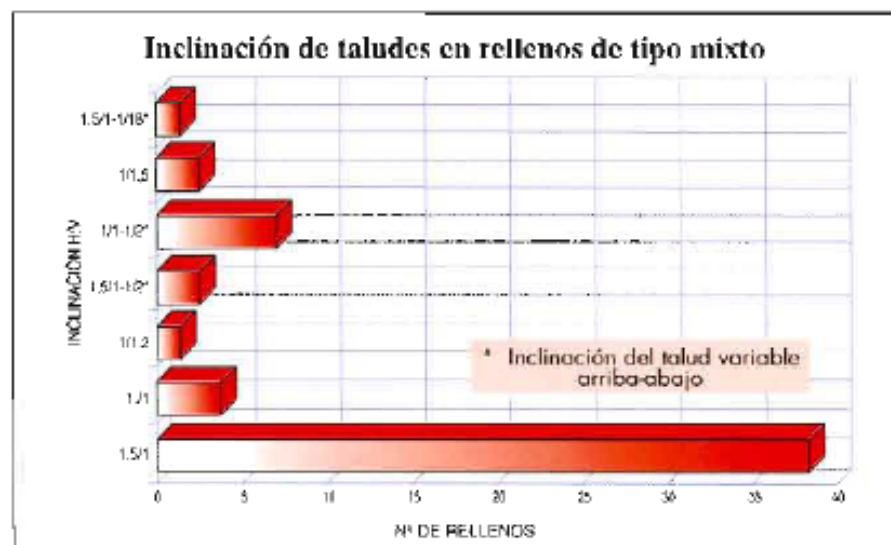


Figura 21.

de sustitución con una periodicidad determinada.

a) Terraplenes

En el nuevo artículo 330 se debe recoger de forma explícita el número de ensayos que se debe realizar para contrastar el método nuclear con la determinación de la densidad por el método de la arena u otro ensayo de sustitución.

La frecuencia de este contraste dependerá del tipo de material que se esté colocando, del volumen que se haya colocado en obra, y del tiempo que se lleve utilizando el equipo nuclear.

Con carácter general, se sugiere contrastar los resultados obtenidos con el método nuclear con el resultado de un ensayo de sustitución cada 5 lotes de los definidos en el artículo 330.

b) Pedraplenes

Se debe decir de forma explícita que el método nuclear no se puede utilizar en los pedraplenes.

c) Rellenos "todo uno"

En los rellenos "todo uno" solamente será válida la utilización del método nuclear si lo admite el Director de la obra, previos ensayos de correlación satisfactorios.

3. Ensayo de placa de carga o 30 cm

En los pedraplenes y en los rellenos "todo uno", llama la atención que se utilice de una forma generalizada de ensayo de placa de carga (con placa de ϕ 30 cm), cuando el límite inferior de los tamaños máximos en los pedraplenes es de 10 cm, y, por tanto, el diámetro de la placa debería ser mayor de 30 cm. ■

Fe de erratas.

Por causas ajenas a nuestra voluntad, en nuestro número anterior aparecía el artículo sobre la Variante de Binéfar firmado por la Redacción, cuando en realidad su autor fue D. Rafael López Guarga, Jefe del Servicio de Planeamiento, Proyectos y Obras de la Unidad de Carreteras de Huesca del Ministerio de Fomento. Por ello, le pedimos disculpas por tan inintencionado error.

Igualmente, y en el artículo sobre el tramo de autovía Venta del Olivo-Enlaca de Archena, se han advertido dos erratas: en el pie de foto de la página 74, donde dice "Vía ducto sobre la rambla del Indio" debería decir del "Judío", y en el apartado de estructuras singulares, página 77, último párrafo, donde dice "se mantuvo su grado de hiperestabilidad", debería decir de "hiperestaticidad".