

Estado actual del problema de la reflexión de grietas de retracción en España

The current state of the problem in Spain of reflection cracks caused by shrinkage

BARTOLOME SANCHEZ (*)
AURELIO RUIZ (**)

RESUMEN. Se pasa revista al estado actual del problema de la reflexión de grietas de retracción en España, sobre todo en lo que respecta a las secciones construidas con base de gravacemento y con hormigón compactado. El comportamiento de ambos materiales ha sido sensiblemente diferente. Los firmes con gravacemento, de los que existen más de 2.500 km en la Red de Interés General del Estado, unos 1.000 km de ensanches de firmes antiguos y 2.500 km en autopistas, han tenido un comportamiento satisfactorio en la mayor parte de las obras construidas. Actualmente se estudian soluciones alternativas al diseño actual con un tramo experimental construido a mediados del 92 en la variante de Carabias, y compuesto por 24 secciones distintas. Por el contrario, con el hormigón compactado se han tenido fracasos espectaculares cuando se han dado conjuntamente un clima extremado (es usual en muchos lugares de la meseta hispánica gradientes térmicos diarios superiores a 30 °C) y un tráfico muy pesado. Únicamente la técnica de ejecución de juntas en el hormigón compactado con espaciadores inferiores a 6 m ha tenido éxito, aunque es pronto para sacar conclusiones, y esto a pesar de las numerosas pruebas efectuadas: geomallas, arena-betón, mezclas con ligantes modificados, membranas. Con tráfico y clima más suaves el problema es mucho menor, pero siempre la sección con este material supone un costo superior a la de la gravacemento. Finalmente en la ponencia se exponen algunos casos reales del comportamiento del hormigón compactado en carreteras españolas: Villaverde-Seseña, Valdepeñas-Almuradiel, Alcalá-Meco y Sanchidrián-San Pedro de Arroyo, obras todas ellas del período 1987-1990.

ABSTRACT. The present situation of the shrinkage reflected cracks in Spain is reviewed, specially in reference to gravelcement and roller compacted concrete pavements. Performance of these two materials has been rather different. Gravelcement has been widely used: 2,500 km of the National Network (plus 1,000 km in widening old pavements) and 2,500 km of toll expressways, and the performance has been good up until now. An experimental test on a road is being carried out these days on 24 different alternatives to the classical solution trying to reduce the thickness of the asphalt layer. While roller compacted concrete frequent failures have occurred with heavy traffic and extreme climates (is usual in the central Spain temperature daily gradients over 30 °C). The technique of joints at distances below 6 m is the only one giving good results up until now, although is soon to have definitive conclusions. All the other techniques: geogrids, sandbitumen layers, modified binders, membranes, have had bad results. With light traffic and mild climates there are less problems, although the price of this pavement is higher than the gravel cement one. In the paper some real cases are presented: Villaverde-Seseña, Valdepeñas-Almuradiel, Alcalá-Meco, Sanchidrián-San Pedro del Arroyo, all of them constructed in the period 1987-1990.

1. INTRODUCCION

El proyecto de un firme de carretera es una labor compleja que requiere tener en cuenta consideraciones de tipo técnico y económico.

En esencia se trata de considerar todas las posibles soluciones estructuralmente suficientes, eliminar a continuación todas aquellas que no son posibles por razones de tipo

1. INTRODUCTION

Road pavement construction is a complex task in which technical and financial considerations need to be taken into account.

The basic procedure consists

of examining the different structurally adequate solutions, eliminating those which are not feasible on the grounds of local considerations, availability of materials or climate, etc. and, if

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT).

(**) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX (MOPT).

local: disponibilidad de materiales, clima, etc.; y si todavía queda más de una solución, escoger la más económica.

Esta labor se simplifica con la existencia de una norma para el proyecto de firmes, que suele contener un catálogo de secciones en el que para cada categoría de tráfico y explanada se dispone de seis y ocho soluciones distintas entre las que se puede escoger.

En España se dispone de la Instrucción 6.1 y 2 I.C., cuyo catálogo de secciones aparece en la Fig. 1 para las categorías superiores de tráfico.

En él puede verse que existen secciones construidas con bases de gravacemento y hormigón compactado. Ambos tipos tienen un problema común, que es la fisuración.

Cuando aparecen las fisuras hay que sellarlas y esto supone:

- Mayor costo de la conservación habitual.
- Molestias adicionales para el tráfico.
- Aspecto ruinoso del firme.

Si se demoran los fondos para el sellado de las fisuras, el agua penetra por las mismas y afecta a las capas inferiores, con el acortamiento de la vida del firme.

La Dirección General de Carreteras no es partidaria de prescindir de las capas estabilizadas con cemento porque, junto al inconveniente de la fisuración, tienen evidentes ventajas, entre las cuales pueden enumerarse:

- Una gran capacidad estructural.
- Compiten en costo con las bituminosas.
- Constituyen una alternativa a utilizar si los asfaltos suben de precio. Como se sabe el mercado del petróleo está sujeto a variaciones imprevisibles.
- En España, además el cemento es un producto de fa-

bricación nacional, lo que no ocurre con el petróleo.

2. LA GRAVA CEMENTO

Las bases de gravacemento tienen una larga tradición en España y la que podemos considerar como primera experiencia en nuestro país, la autopista Las Rozas-Villalba, construida en el año 67, constituyó un indudable éxito.

Actualmente existen en la Red de Interés General del Estado más de 2.500 km de calzadas de gravacemento. A éstos hay que sumar unos 1.000 km de calzadas de firmes antiguos ensanchados con este material.

En cuanto a las concesionarias de autopistas la longitud de calzada en gravacemento construida se aproxima a los 2.500 km.

Con la gravacemento la reflexión de grietas ha sido muy lenta. En la zona central del país, con temperaturas extremas y gradientes térmicos elevados, la velocidad de avance ha sido del orden de 1 cm/año, con espesores de aglomerado del orden de 15 cm. En las zonas costeras incluso con 12 cm de aglomerado no se han presentado problemas de reflexión de fisuras.

Cuando se dan problemas de fisuración aparecen asociados a gravacemento con áridos silíceos, puestas en obra en verano con altas temperaturas, situadas en zonas con inviernos fríos y circuladas por tráfico muy pesado. En los casos en que se producen agrietamientos con un tratamiento de sellado adecuado no se dan deterioros importantes.

Los problemas asociados a la gravacemento están, pues, delimitados en su origen y controlados, habiéndose producido un comportamiento satisfactorio en la mayor parte de las obras construidas.

more than one remains, selecting the most economical.

The task is simplified by the presence of a set of pavement standards which normally contain a list of some six or eight different solutions available for each category of traffic and subgrade.

In Spain, Code 6.1 and 2-IC is available and Table 1 lists the section types possible for the highest traffic densities.

It will be noted that it includes sections based on gravel cement and roller-compacted concrete. Both these types have a common problem: cracking.

When cracks appear, they have to be sealed and this involves:

- Higher than normal maintenance costs.
- Additional inconvenience to traffic.
- Pavements acquiring a dilapidated appearance.

If there is delay in providing funds to seal the cracks, water will penetrate through them and affect the lower layers and shorten the life of the pavement.

The Directorate General for Roads does not wish to dispense with using cement stabilized layers because although they have the drawback of cracking, they also have clear advantages which include:

- A considerable structural capacity.
- Cost competitiveness compared with bituminous types.
- They form an alternative in the event of asphalt rising in price. As is well known, the oil market is prone to unexpected price fluctuations.
- Spain, furthermore, produces cement but not oil.

2. CEMENT BOUND GRANULAR MATERIAL

Gravel cement road bases have a long tradition in Spain and their first major utilization, on the Las Rozas to Villalba motorway in Madrid built in

1967, was an undeniable success.

There are currently more than 2,500 km of gravel cement pavements throughout the Spanish General Road Network to which should be added a further 1,000 km of older carriageways which have been widened using this material.

In the case of toll motorways, the total length of gravel cement pavements constructed comes to almost 2,500 km.

The reflection of cracks has been a very slow process in the case of gravel cement. In the central region of the country, with its extremes of temperature and high thermal gradients, the rate of advance has been about one cm/year when asphalt with a thickness of around 15 cm is used. In the coastal regions no reflection crack problems have been encountered, even with asphalt thicknesses of 12 cm.

When problems of cracking occur, they are associated with gravel cement containing silicious aggregate, laid in summer at high temperatures in areas which experience cold winters and very heavy traffic. When cracks appear, they do not seriously deteriorate after an appropriate sealing treatment.

The problems associated with gravel cement are therefore limited in origin and controllable and the majority of roads constructed using it have behaved satisfactorily.

Alternatives to the present designs are currently being studied in an attempt to reduce the thickness of the asphalt laid on these road sections. An experimental stretch was constructed for this purpose during the summer of 1992 along the Carabias by-pass in Segovia.

A total of 24 different sections were constructed, each approximately 300 m long, which included three traditionally constructed sections for the purposes of comparison.

A sectional representation of

MADRID

CALZADA IZQUIERDA
LEFT PAVEMENT

0 + 100	0 + 400	0 + 700	1 + 000	1 + 300	1 + 600	1 + 900
S20 16 cm M. B. CONVENCIONAL 15 cm CONVENCIONAL ASPHALT	S20 12 cm M. B. CONVENCIONAL 12 cm CONVENCIONAL ASPHALT	S12 16 cm M. B. CONVENCIONAL 5 cm CONVENCIONAL ASPHALT	S12 16 cm M. B. CONVENCIONAL 5 cm CONVENCIONAL ASPHALT	S12 16 cm M. B. CONVENCIONAL 5 cm CONVENCIONAL ASPHALT	S12 16 cm M. B. CONVENCIONAL 5 cm CONVENCIONAL ASPHALT	S12 16 cm M. B. CONVENCIONAL 5 cm CONVENCIONAL ASPHALT
G20	G20	7 cm M. B. DISCONTINUA 7 cm DISCONTINUOUS GRADING ASPHALT	7 cm M. B. ABIERTA 7 cm OPEN MIX	7 cm M. B. RICA 7 cm RICH ASPHALT	7 cm M. B. BETUN 80/100 7 cm 80/100 BITUMEN	S20
22 cm DE BASE CONVENCIONAL DE GRAYACIMIENTO 22 cm CONVENTIONAL GRAVEL CEMENT COURSE						
20 cm SUBBASE CONVENCIONAL DE SUELOCEMENTO 20 cm CONVENTIONAL CEMENT STABILIZED SOIL						

1 + 900	2 + 200	2 + 500	2 + 800	3 + 100	3 + 400	3 + 700
S20 12 cm M. B. CONVENCIONAL 12 cm CONVENCIONAL ASPHALT	S20 12 cm M. B. ELAST. TIPO I 12 cm ASPHALT + TYPE I ELASTOMER	S20 8 cm M. B. ELAST. TIPO I 8 cm ASPHALT + TYPE I ELASTOMER	S20 12 cm M. B. CONVENCIONAL 5 cm CONVENCIONAL ASPHALT	S20 12 cm M. B. ELAST. TIPO II 12 cm ASPHALT + TYPE II ELASTOMER	S20 8 cm M. B. ELAST. TIPO II 8 cm ASPHALT + TYPE II ELASTOMER	S20 8 cm M. B. ELAST. TIPO II 8 cm ASPHALT + TYPE II ELASTOMER
G20	G20	G20	G20	G20	G20	G20
ARENA-BETUN ELAST. TIPO I SAND ASPHALT + TYPE I ELASTOMER	ARENA-BETUN ELAST. TIPO I SAND ASPHALT + TYPE I ELASTOMER	ARENA-BETUN ELAST. TIPO I SAND ASPHALT + TYPE I ELASTOMER	ARENA-BETUN TIPO II SAND ASPHALT + TYPE II ELASTOMER	ARENA-BETUN TIPO II SAND ASPHALT + TYPE II ELASTOMER	ARENA-BETUN TIPO II SAND ASPHALT + TYPE II ELASTOMER	ARENA-BETUN TIPO II SAND ASPHALT + TYPE II ELASTOMER
22 cm DE BASE CONVENCIONAL DE GRAYACIMIENTO 22 cm CONVENTIONAL GRAVEL CEMENT COURSE						
20 cm SUBBASE CONVENCIONAL DE SUELOCEMENTO 20 cm CONVENTIONAL CEMENT STABILIZED SOIL						

TABLA 1.
TABLE 1.

BURGOS

CALZADA DERECHA
RIGHT PAVEMENT

0 + 100	0 + 300	0 + 500	0 + 700	1 + 000	1 + 300	1 + 600	1 + 900
S20 12 cm M. B. CONVENCIONAL 12 cm CONVENCIONAL ASPHALT G20	S20 12 cm M. B. CONVENCIONAL 12 cm CONVENCIONAL ASPHALT G20	S20 12 cm M. B. POLIETILENO 12 cm ASPHALT + POLIETILENE G20	S20 8 cm M. B. POLIETILENO 8 cm ASPHALT + POLIETILENE G20	S20 12 cm M. B. CONVENCIONAL ASPHALT G20	S20 12 cm M. B. POLIETILENO 12 cm ASPHALT + POLIETILENE G20	S20 8 cm M. B. POLIETILENO 8 cm ASPHALT + POLIETILENE G20	S20 12 cm M. B. POLIETILENO 12 cm ASPHALT + POLIETILENE G20
ARENA-BETUN POLIETILENO SAND ASPHALT + POLIETILENE	ARENA-BETUN POLIETILENO SAND ASPHALT + POLIETILENE	ARENA-BETUN POLIETILENO SAND ASPHALT + POLIETILENE	ARENA-BETUN POLIETILENO SAND ASPHALT + POLIETILENE	MEMBRANA POLIETILENO POLIETILENE MEMBRANE	MEMBRANA POLIETILENO POLIETILENE MEMBRANE	MEMBRANA POLIETILENO POLIETILENE MEMBRANE	MEMBRANA POLIETILENO POLIETILENE MEMBRANE
22 cm DE BASE CONVENCIONAL DE GRAYACEMIENTO 22 cm CONVENTIONAL GRAVEL CEMENT COURSE							
20 cm SUBBASE CONVENCIONAL DE SUELOCEMENTO 20 cm CONVENTIONAL CEMENT STABILIZED SOIL							

1 + 900	2 + 300	2 + 500	2 + 800	3 + 100	3 + 400	3 + 700
S12 5 cm M. B. CONVENCIONAL 5 cm CONVENCIONAL ASPHALT	S12 5 cm M. B. CONVENCIONAL 5 cm CONVENCIONAL ASPHALT	S12 5 cm M. B. CONVENCIONAL 5 cm CONVENCIONAL ASPHALT	S20 15 cm M. B. CONVENCIONAL 15 cm CONVENCIONAL ASPHALT G20	S20 12 cm M. B. CONVENCIONAL 12 cm CONVENCIONAL ASPHALT G20	S12 25 cm M. B. CONVENCIONAL 25 cm CONVENCIONAL ASPHALT G20 9 cm G20 10 cm	S12 25 cm M. B. CONVENCIONAL 25 cm CONVENCIONAL ASPHALT G20 9 cm G20 10 cm
7 cm M. B. ELAST. TIPO I 7 cm ASPHALT + TYPE I ELASTOMER	7 cm M. B. ELAST. TIPO II 7 cm SAND ASPHALT + TYPE II ELASTOMER	7 cm M. B. POLIETILENO 7 cm SAND ASPHALT + POLIETILENE	12 cm BASE GRANULAR 12 cm GRANULAR COURSE	16 cm BASE GRANULAR 16 cm GRANULAR COURSE	25 cm ZAHORRA ARTIFICIAL 25 cm CRUSHED GRANULAR MATERIAL	25 cm ZAHORRA NATURAL 25 cm ROUNDED GRANULAR MATERIAL
22 cm DE BASE CONVENCIONAL DE GRAYACEMIENTO 22 cm CONVENTIONAL GRAVEL CEMENT COURSE						
20 cm SUBBASE CONVENCIONAL DE SUELOCEMENTO 20 cm CONVENTIONAL CEMENT STABILIZED SOIL						

TABLE 2.
TABLE 2.

Actualmente se están estudiando soluciones alternativas al diseño actual, tratando de reducir el espesor del aglomerado colocado sobre estas secciones. En este sentido se ha construido en el verano del año 92 un tramo experimental en la variante de Carabias.

En total se han construido 24 secciones distintas de una longitud aproximada de 300 m, en las que están incluidas 3 secciones de tipo tradicional a efectos comparativos.

La representación esquemática de las secciones puede verse en las Tablas 1 y 2.

3. EL HORMIGÓN COMPACTADO

3.1. GENERAL

El hormigón compactado tiene el enorme atractivo de su puesta en obra por los métodos convencionales de compactación. Aunque en otros países se introdujo como material alternativo a los firmes de hormigón en carreteras de bajo tráfico, en España se proyectó desde el primer momento en carreteras de gran tráfico, con una rodadura bituminosa que eliminase la irregularidad superficial inherente a su construcción. Actualmente se están colocando 12 cm o menos de espesor de aglomerado sobre el hormigón compactado en los firmes con mayor tráfico. Inicialmente se pensaba que aunque se reflejasen grietas de retracción, un mantenimiento cuidadoso y la mayor resistencia de este material frente a la gravacemiento evitaría los problemas derivados de la entrada de agua. La Red de Interés General del Estado cuenta con más de 100 km de calzada con este material.

Con tráfico pesado se han colocado sobre el hormigón compactado espesores de aglomerado comprendidos entre 10 cm y 12 cm, y en todas

los casos se han reflejado las grietas en muy poco tiempo. En un tramo se llegaron a colocar 16 cm, reflejándose un gran número de grietas al año siguiente de la puesta en servicio. Es decir, que con tráfico pesado y climas extremados los espesores necesarios para evitar la reflexión de grietas son bastante superiores a 16 cm y en consecuencia totalmente antieconómicos.

En consecuencia la solución de los problemas de reflexión de grietas debe buscarse por vías distintas a la del espesor.

Cuando no se han realizado juntas de construcción en el hormigón compactado, siguiendo la técnica de la gravacemiento de dejar al material agrietarse libremente, las grietas producidas en superficie, en forma de losas, han tendido a entrelazarse en las esquinas con desprendimientos de trozos de aglomerado. La superficie presenta al usuario un aspecto de ruina, y el sellado de grietas y la reparación de la superficie se complica. Por ello se tendió en el principio de la técnica a serrar juntas de construcción. El serrado se realizaba en una profundidad de 5 cm, perpendicularmente al eje de la calzada o con una cierta inclinación (1:6). En los últimos años se está imponiendo la ejecución en fresco, con interposición de emulsión.

De forma natural las juntas del hormigón compactado tienden a formarse en distancias comprendidas entre 8 y 15 m, frente a los 4-10 m de la gravacemiento. La distancia entre juntas se ha venido reduciendo desde los iniciales 15 m a 10 m y últimamente a distancias iguales o inferiores a 6 m.

Cuando se reflejan las juntas, con tráfico pesado se produce una rápida ramificación y deterioro de los bordes, muy difícil de controlar mediante técnicas de sellado. La

these road sections is shown in Tables 1 and 2.

3. ROLLER-COMPACTED CONCRETE

3.1. GENERAL

Roller-compacted concrete has the enormous advantage that it can be laid using conventional compaction methods. Although in other countries it was introduced as an alternative material to concrete pavements on roads with a low traffic density, in Spain it was destined from the outset for use on roads with heavy traffic density with a bituminous wearing course to smooth out the unevenness inherent in its construction. At present, 12 cm or less of asphalt is being laid over the compacted concrete on sections with the heaviest traffic. It was initially believed that although there would be shrinkage reflection cracks, careful maintenance and the greater strength of the material compared with gravel cement would avoid the problems associated with water penetration. There are now more than 100 km of pavements constructed with this material in the Spanish General Road Network.

In the case of heavy traffic, asphalt layers of between 10 and 12 cm were laid over the compacted concrete and reflected cracks appeared very shortly in all cases. On one road section as much as 16 cm was laid but a large number of cracks appeared the year after the road went into service. In other words, on roads with heavy traffic and subject to extremes of climate, the thickness of asphalt required to avoid the reflection of cracks is considerably in excess of 16 cm and therefore completely uneconomical.

The solution to the problem of crack reflection must therefore be sought in directions other than the thickness of the asphalt wearing course.

When no construction joints

are provided in the compacted concrete, following the gravel cement technique of allowing the material to crack freely, the surface cracks that result, in the shape of slabs, have tended to interlace at corners with chunks of asphalt breaking away. The surface acquires a dilapidated appearance and sealing the cracks and repairing the road surface becomes complicated. At the early stages of using the technique therefore, construction joints were sown; there were sown to a depth of 5 cm at right angles to the direction of the pavement or with a slight inclination (1:6). During recent years, preformed joints are increasingly being used, inserted with emulsion.

Joints in the compacted concrete tend to form naturally at distances of between 8 and 15 m as opposed to the 4-10 m in the case of gravel cement. The distance between joints has been reducing from an initial 15 m to 10 m and most recently to distances of 6 m or less.

When the cracks are reflected, heavy traffic rapidly produces branching and a deterioration along the road edges which is very difficult to control by sealing techniques. Motorist comfort rapidly declines. At medium traffic densities, the road edges are far less prone to cracking.

To date, the insertion of different anti-cracking materials has been tested with the following results:

- Grids inserted between layers of asphalt (the base course and the wearing course) or directly over the compacted concrete produced very poor results.
- Asphalt with modified binders did not hold up the reflection of cracks but resulted in increased cohesion at the road edges and less branching of cracks.
- After two trials with sand asphalt, cracking rapidly occurred.

comodidad de circulación empeora rápidamente. Con tráfico medio se mantiene mucho mejor la integridad de los bordes de grietas.

Hasta el momento se ha probado la interposición de distintos materiales antifisuras, con los siguientes resultados:

- Las geomallas interpuestas entre las capas de aglomerado (intermedia y de rodadura) o directamente sobre el hormigón compactado, han dado muy malos resultados.
- Los aglomerados con ligantes modificados no han retrasado la reflexión de grietas, pero consiguen una mayor cohesión en los bordes y una menor ramificación de las mismas.
- En dos experiencias realizadas con arena-betón el agrietamiento se ha producido rápidamente.
- En una experiencia con membranas, con tráfico medio, las grietas se han reflejado más lentamente que con aglomerado convencional, y las que se han reflejado eran más finas. Aun en los casos de reflexión de grietas la membrana mantenía su integridad evitando la entrada de agua.

En cuanto a ventajas e inconvenientes hay que distinguir entre la comparación con la gravacemiento y con el hormigón tradicional.

Respecto a la gravacemiento es más resistente, más caro (del orden de 1,4 veces) y con mayores problemas de fisuración.

Respecto al hormigón convencional, también es en bastantes casos algo más resistente, probablemente por el bajo contenido de agua en su puesta en obra y su mejor compactación. Es algo más barato de primer establecimiento con capas de recubrimiento de 8 a 10 cm, pero los

gastos de conservación anularán pronto esta ventaja.

A continuación se exponen algunos casos reales de comportamiento del hormigón compactado en carreteras españolas.

3.2. LAS EXPERIENCIAS

3.2.1. El tercer carril del tramo Villaverde-Seseña.

Las obras realizadas en el mismo han consistido, fundamentalmente, en el ensanche de la plataforma mediante la adición de un tercer carril en cada sentido de circulación, obteniéndose una sección final de tres carriles de 3,50 m de ancho, con un arcén exterior de 1,50 m.

La sección del firme empleado en el tercer carril adicional así como en el arcén exterior corresponde a una sección tipo 025 (tráfico TO y explanada E2) de la nueva Instrucción sobre secciones de firmes 6.1 y 2-IC, consistente en una subbase suelocemento de 20 cm de espesor, una capa de hormigón compactado de 25 cm de espesor medio y 14 cm de aglomerado asfáltico en dos capas, una inferior tipo G-20 de 5 cm de espesor y una de rodadura tipo S-20 de 9 cm de espesor.

El hormigón compactado se extendió entre los meses de octubre y diciembre de 1987, abriéndose la obra al tráfico en abril de 1988.

Para la realización del hormigón compactado de la obra en estudio se empleó un cemento tipo V-35 con un contenido de cenizas volantes comprendido entre 35 y 40 %.

Los áridos empleados fueron de naturaleza silíceos, una proporción de cemento del 14 % y una relación agua/cemento igual a 0,40.

Se han efectuado juntas transversales de contracción con un espaciamiento de 15 m y con una desviación de 1:6. Las juntas se hicieron mediante serrado a las 8 horas

- After one trial using membranes, with medium traffic density, reflected cracks formed more slowly than with conventional asphalt and they were finer. Even in the case of reflected cracks, the membrane maintained its integrity and prevented water penetration.

In discussing the advantages and drawbacks of roller-compacted concrete, a distinction should be made between comparison with gravel cement and with traditional concrete.

Compared with gravel cement, it is stronger, more expensive (by approximately 1.4 times) and suffers more from problems of cracking.

Compared with conventional concrete, it is also in many cases somewhat stronger, probably due to its low water content when laid and better compaction. It is somewhat cheaper when first laid under a surface layer of 8 to 10 cm but this advantage is soon lost through increased maintenance costs.

Some actual case studies involving the behaviour of roller-compacted concrete on Spanish roads are detailed below.

3.2. THE CASE STUDIES

3.2.1. The Third Lane of the Villaverde to Seseña Highway.

This work basically consisted of widening the carriageway by the addition of a third lane in both directions of travel, ending up with a road section of three 3.50 m wide lanes and an outer hard shoulder of 1.5 m.

The pavement section used in the third lane as well as in the outer hard shoulder was type 025 (traffic TO and subgrade E2) of the new Code 6.1 and 2-IC covering pavement sections, consisting of a 20 cm cement stabilized soil sub-base, a layer of roller-compacted concrete with an average thickness of 25 cm and 14 cm of asphalt in two layers, a 5 cm base

course of type G-20 and a 9 cm wearing course of type S-20.

The roller-compacted concrete was laid between the months of October and December, 1987, and the road was opened to traffic in April, 1988.

Cement type V-35 with a fly ash content of between 35 and 40 % was used in the roller-compacted concrete.

The aggregate used was siliceous, with 14 % cement and a water to cement ratio of 0.40.

Transverse contraction joints at 15 m intervals were cut at an angle of 1:6. The joints were sawn 8 hours after the material was laid and were cut to a depth of 80 mm with a width of 4 mm and no form of sealing was used on them.

To prevent possible cracks in the concrete being reflected in the asphalt, 0.85 m wide textile reinforcement was laid over the transverse joints, longitudinal joints and construction joints, between the two layers of asphalt.

Despite the precautions taken, cracks appeared after the first winter and they multiplied during the following winters as shown in the Table 3.

It was established that the textile reinforcement had been counterproductive; it contributed to the formation of cracks which split into two or even more branches which encouraged the asphalt to break away.

Up to 1991, 151 cracks were found with asphalt breaking away, despite the fact that the cracks were sealed as soon as possible.

By the end of 1991 the road section took on a worrying appearance and it was decided to seal it generally to prevent water penetration during the winter. This was carried out in the belief that it would be a temporary measure which would not last more than two years, allowing time to make plans and obtain approval for a total resurfacing of the asphalt layer

PANTALLAS ACUSTICAS INSOKELL UN EFICAZ SISTEMA DE PROTECCION FRENTE AL RUIDO DEL TRAFICO RODADO Y FERROVIARIO



.... menos la música

CARACTERISTICAS BASICAS

La pantalla INSOKELL está constituida por paneles prefabricados autoportantes, modulares, con una o dos caras absorbentes, y por una estructura portante a base de perfiles de acero tipo HEA-140.

LOS PANELES KELLERWAY

Los paneles están constituidos por una carcasa de aluminio con unas perforaciones especiales, y un material fonoabsorbente en su interior. Las características técnicas del panel estándar son:

Dimensiones: 3,00 x 0,50 m

Peso: 20 Kg

Materiales: lámina de aluminio tipo 3103 de 1 mm de espesor fibra mineral de densidad mínima 85 Kg/m³



Para construir la pantalla, los paneles KELLERWAY se insertan en los perfiles de acero anclados al terreno mediante cimentaciones especiales, o a la estructura de hormigón en el caso de viaductos.

PROPIEDADES ACUSTICAS

Gracias al sistema de perforaciones de la cara absorbente del panel y al material fonoabsorbente de su interior, la superficie, de las pantallas INSOKELL presenta un coeficiente de absorción muy elevado en un amplio espectro de frecuencias.

PRINCIPALES VENTAJAS

- Estandarización y facilidad de montaje.
- Instalación de la pantalla sin interferencias al tráfico.
- Excelentes prestaciones acústicas.
- Gran reducción de los plazos de ejecución de las obras.
- Gran duración de la pantalla y de sus prestaciones acústicas gracias a los materiales utilizados y al diseño de los paneles.
- Facilidad de variación de las características acústicas y mecánicas de los paneles, en función de las necesidades.
- Por su carácter modular y la amplia gama de colores disponible, se consigue una gran libertad de diseño de la pantalla.
- Sistema patentado (paneles KELLERWAY, cimentaciones de la estructura portante) y ampliamente utilizado en Europa.

Insokell ESPAÑA



AEPO

S. A. INGENIEROS CONSULTORES

Construcción de una autovía sobre fangos muy blandos

Construction of an expressway on very soft mud

CARLOS S. OTEO (*)
LUIS M. SOPEÑA (*)

RESUMEN. Recientemente se ha inaugurado la Autovía de Aragón que comunica Madrid con Zaragoza, la cual atraviesa, a lo largo de 8 km, el Valle de Medinaceli. En él se encuentran depósitos arcillosos muy blandos, de origen endorreico. La autovía se apoya en diversos tramos sobre dichos suelos, de gran compresibilidad, debido al riesgo de inestabilidad presente en las laderas del Valle. En la comunicación se describen los sistemas de tratamiento del terreno a los que se ha recurrido —junto con el de precarga— para poder cimentar los terraplenes y, así, asegurar su estabilidad transversal y disminuir y acelerar sus asentamientos, lo cual ha sido necesario dado la alta compresibilidad diferida de los materiales aluviales del Valle, manifestada en algunos terraplenes que han asentado más de 1 m con solo unos 3,5 m de altura.

ABSTRACT. The Aragon Expressway linking Madrid to Zaragoza has recently been opened to traffic and part of its layout crosses the Medinaceli Valley over an 8-km stretch. The valley contains very soft endoreic clay deposits. Several stretches of the motorway are built on these soils which are highly compressible as a result of the risk of instability present in the valley slopes. The paper describes the ground treatment systems applied along with preloading in order to create foundations for the embankments and therefore guarantee the transverse stability and reduce and accelerate their settlement which proved necessary as a result of the high degree of deferred compressibility of the alluvial materials of the valley which came to light in several embankments where settlements of over 1 m were recorded with embankment heights of only 3.5 m.

1. INTRODUCCION

La variante de Medinaceli, dentro de la Autovía de Aragón en España (que une Madrid con Zaragoza), comprende 8 km de longitud y pasa sobre importantes espesores de fangos y suelos muy blandos, con un trazado prácticamente paralelo al río Jalón (que originó el Valle de Medinaceli). Dado los graves problemas de inestabilidad presentes en las laderas del Valle tanto naturales como en los desmontes ya construidos, debidos a la presencia de coluviones y de las arcillas fisuradas del Keuper, con contenido variable de yeso, fue necesario diseñar la nueva carretera

en una zona de transición entre las laderas y el centro del Valle, afectando a los suelos blandos, tras una optimización del trazado para disminuir lo más posible las alturas de desmonte en las laderas y de terraplén en el Valle.

Por dicho motivo ha sido preciso estimar la resistencia y deformabilidad de los suelos fangosos y resolver los problemas de inestabilidad y de asentamientos que su presencia inducía en los terraplenes, aplicando un sistema de mejora y refuerzo del terreno que permitiera reforzar la estabilidad transversal de los terraplenes, uniformizar sus asentamientos y acelerarlos y disminuirlos.

1. INTRODUCTION

The Medinaceli bypass included in the Aragon Expressway in Spain (running from Madrid to Zaragoza) is 8 km long and runs over considerable depths of mud and very soft soils, its layout virtually parallel to the River Jalón which actually gave rise to the Medinaceli Valley. In view of the serious problems of instability present in the slopes of the valley, both natural ground and in the cuts already built, as a result of the presence of colluvions and fissured Keuper clays with different degrees of gypsum content, the new road had to be designed in a transition zone between the slopes and the centre of the

valley, affecting the soft soils, after the layout was optimized to keep the height of the cuts and embankments in the valley as low as possible.

For this reason the strength and deformability of the silty soils had to be estimated and the instability and settlement problems which the presence of these induced in the embankments had to be solved by applying a system of improving and strengthening the ground and the transverse stability of the embankments, keeping their settlements uniform while accelerating and reducing these.

(*) Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Laboratorio de Geotecnia del CEDEX IMOPTI.

2. CONDICIONANTES GEOLOGICOS

El tramo en cuestión abarca los términos municipales de Esteras, Fuencaliente, Azcamellas, Salinas, Medinaceli y Lodares. Algunos de estos nombres indican claramente lo que cabe esperar de los suelos de la zona. La estructura general del Valle es la siguiente:

- Fondos planos de anchura variable, con depósitos aluviales cuaternarios blandos a muy blandos, con espesor máximo de 40 m. El sustrato suele estar constituido por las arcillas margosas con yeso de Keuper. También aparecen algunos niveles de arenas y arcillas con indicios orgánicos intercalados.
- Transición fondo plano-ladera, constituida por coluviones y abanicos aluviales.
- Laderas, incluyendo principalmente la Facies Keuper (arcillas margosas fisuradas y yesos), con pendientes suaves y problemas de estabilidad, y la Facies Triásico Superior-Lías (con dolomías y calizas), de pendiente fuerte.

El mayor espesor de los materiales cuaternarios blandos suele presentarse donde el Valle del río Jalón corta a las vaguadas de los arroyos laterales.

En la Figura 1 se ha resumido la columna estratigráfica representativa de la zona, deducida a partir de la información geológica y los sondeos mecánicos realizados.

3. ZONIFICACION GEOTECNICA

Los problemas que el marco geológico descrito plantea eran, esquemáticamente, los siguientes:

PERFIL PROFILE	DESCRIPCION DESCRIPTION	ESPESOR (m) THICKNESS (m)
1	SUELO VEGETAL TOP SOIL	0,5-1,0
2	FANGOS ARCILLOSOS CON MATERIA ORGANICA Y NIVELES LIMO ARENOSOS, MUY BLANDOS VERY SOFT CLAY MUD WITH ORGANIC MATERIAL AND SANDY SILT LEVELS	0-40
3	SUELOS COLUVIALES (CON ARENA Y GRAVA) COLLUVIAL SOILS (WITH SAND AND GRAVEL)	0-8
4	ARCILLA MARGOSA CON YESO (KEUPER) MARLY CLAY WITH GYPSUM (KEUPER)	8-30
5	CAJIZAS FRACTURADAS (MUSCHELKALK) FRACTURED Limestone MUSCHELKALK	SUSTRATO SUBSTRATUM

FIGURA 1. Perfil estratigráfico tipo.
FIGURE 1. Standard stratigraphic profile.

- Terraplenes: Peligro de inestabilidad lateral y deformabilidad excesiva por apoyo en fangos.
- Desmontes: Inestabilidad de laderas, por reactivación de antiguos deslizamientos o generación de nuevos.
- Estructuras: Cimentación de pilas, a resolver con apoyo profundo (rozamiento negativo, empujes laterales, etc.).
- Drenajes: Evacuación de aguas en vaguadas, erosión, etc.

Por todo ello se procedió, al iniciarse las obras, a una campaña de reconocimiento geotécnico (complementaria de las ya efectuadas) para zonificar el trazado, con: a) Sondeos mecánicos. b) Penetrómetros estáticos y dinámicos. c) Piezonocono. d) Vane-test. e) Terraplenes experimentales.

Ello permitió zonificar el Valle en ocho zonas de diferente naturaleza: a) La primera o zona ensanchada del

volving gentle slopes and stability problems, and the Upper Triassic-black Jura facies (with dolomites and limestone) involving pronounced slopes.

The greater thickness of the soft Quaternary materials tend to occur where the River Jalón Valley cuts across the thalwegs of the lateral streams.

Figure 1 is a summary of the representative stratigraphic column of the area based on the geological information collected and the mechanical drilling carried out.

3. GEOTECHNICAL ZONING

The problems revealed by the geological survey can be summarized as follows:

- Embankments: danger of lateral instability and excessive deformation as a result of being built on mud.
- Cuts: slope instability through a reactivation of ancient slips or the creation of new ones.
- Engineering structures: foundation of piles to be resolved by deep setting (negative friction, lateral thrust, etc.).
- Drains: evacuation of water in thalwegs, erosion, etc.

As a consequence of all this, when the works began a geotechnical survey was run (in addition to the ones already carried out in order to zone the layout and this involved: a) mechanical boring; b) static and dynamic penetrometers; c) piezocone; d) vane test and; e) experimental embankments.

This enabled the valley to be classified into eight different types of zone: a) Zone 1 or the fanned out zone of the valley where the existence of an old lagoon introduced greater deformability in the muds. In this zone an embankment was built in the road itself with instrumentation to measure the settle-

2. GEOLOGICAL CONDITIONING FACTORS

The stretch in question includes the municipal townships of Esteras, Fuencaliente, Azcamellas, Salinas, Medinaceli and Lodares. Some of these descriptive names clearly indicate what can be expected from the local soils (rush matting, hot fountain, camel stop, salt flats, and mud flats, etc.). The general geological structure of the valley is as follows:

- Flat bottoms varying in width containing Quaternary soft to very soft alluvial deposits to a maximum depth of 40 m. The substratum tends to consist of marly clays with Keuper gypsum. Some levels of sands and clays also occur with organic traces interspersed.
- Transition zone between flat bottom and slope composed of colluvions and alluvial fans.
- Slopes, mainly including Keuper facies (marly, fissured clays and gypsum), in-

Valle en que la existencia de una antigua laguna introducía una mayor deformabilidad en los fangos. En esta zona se ejecutó un terraplén de la propia carretera con instrumentación para medir asentos. b) La segunda, con laderas deslizadas sobre coluviales. c) La tercera o de Azcamellas, intersección del Valle principal con una gran vaguada transversal. En esta amplia zona se construyó un terraplén experimental. d) La cuarta o Azcamellas-Salinas, con deslizamientos, fangos y coluviales. e) La de Salinas, muy amplia, en que existen explotaciones de sal desde la época del Imperio Romano. f) La sexta y la séptima incluyen vaguadas laterales con fangos, a las que se dieron nombres locales como Medinaceli, Molino, Pinar, Ruinas, etc. g) La última con estrechamiento del Valle y en la que la carretera cruza sobre el ferrocarril existente, con terraplenes de hasta 12 m de altura sobre los fangos («Ferrocarril I y II»).

Como características medias de los fangos pudo deducirse una resistencia al corte sin drenaje C_u del orden de 10-30 KPa (salvo en zonas desecadas en que sube a 50-70 KPa), con una densidad aparente saturada media de 1.700 kg/cm^3 , una humedad natural del 60 al 100 %, un contenido de materia orgánica de 2-6 %, límite líquido que varía del 30 al 60 %, con un 60 a 95 % de material que pasa por el tamiz n.º 200 ASTM, y un módulo edométrico en laboratorio del orden de 600-1100 KPa. El coeficiente de consolidación, C_v , en laboratorio era del orden de $10^{-4} \text{ cm}^2/\text{seg}$.

4. SOLUCIONES ADOPTADAS

Como resultado de los análisis geotécnicos realizados se con-

cluyó: a) La conveniencia de minimizar los desmontes. b) Disminuir todo lo posible los terraplenes en la zona de fangos. c) Tratar en ella el terreno para asegurar la estabilidad de terraplenes, disminuir y acelerar sus asentos. Con estas premisas se varió y optimizó el trazado de la carretera, a fin de cumplir dichas condiciones.

Además se decidió cimentar las estructuras —de tipo isostático y prefabricado— sobre pilotes que atravesaran los fangos y se introdujeran en el Keuper o en las calizas del sustrato. Las luces de las estructuras varían de 25 a 40 m, apoyándose sobre pilas apoyadas sobre pilotes únicos de $\varnothing 1,50$, excavados y hormigonados «in situ», con cámara perdida.

ments; b) Zone 2, with displaced slopes over colluvions; c) Zone 3 or the Azcamellas zone, the intersection with the main valley involving a large transverse thalweg. An experimental embankment was built in this extensive zone; d) Zone 4 or the Azcamellas-Salinas zone, involving slip, muds and colluvial materials; e) The Salinas Zone, a very extensive one where salt has been produced from pans since Roman times; f) Zones 6 and 7 including lateral thalwegs with mud which were given local topographical names such as Medinaceli, Molino, Pinar, Ruinas, etc.; g) The last zone where the valley narrows and where the road goes over the existing railway line, involving embankments up to 12 m high built on muds (known as Railway I and II zones).

The typical average values that could be deduced for the muds were an undrained shear strength C_u in the region of 10-30 KPa (except in the dried out zones where it rose to 50-70 KPa), with an average saturated apparent density of 1.700 kg/cm^3 , a natural moisture content from 60-100 %, an organic matter content from 2-6 %, a liquid limit varying from 30-60 % with 60 to 95 % of material passing an ASTM 200 screen and an endometric modulus in the laboratory in the order of 600-1100 KPa. The consolidation coefficient, C_v , in the laboratory was around $10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$.

4. SOLUTIONS ADOPTED

The conclusions as a result of the geotechnical analyses con-

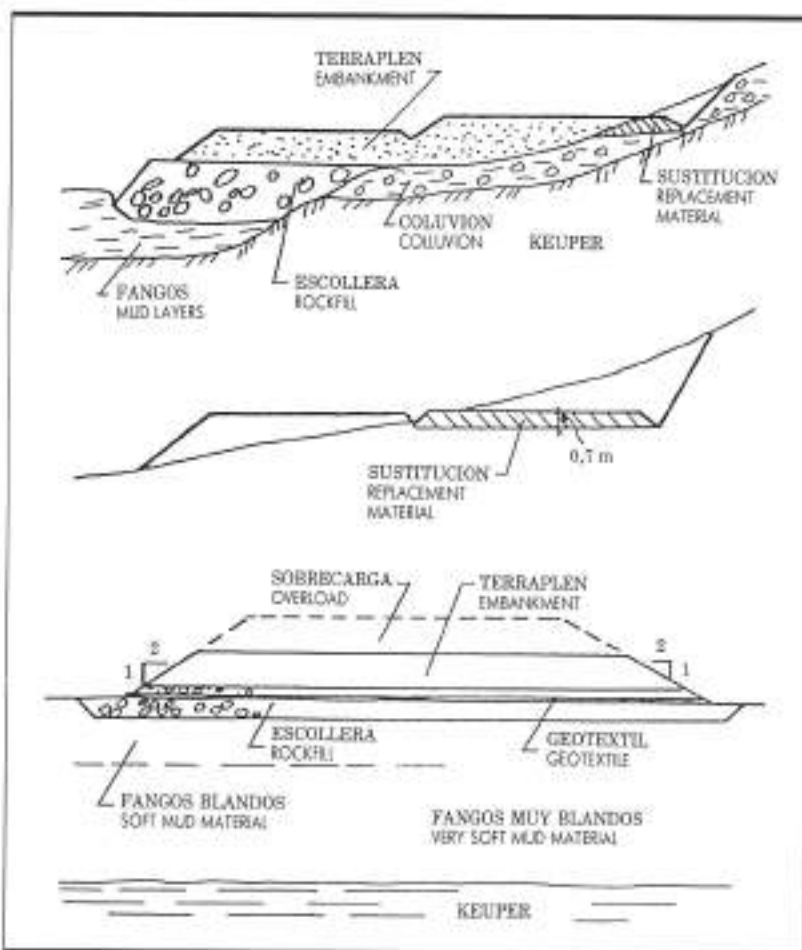


FIGURA 2.
Soluciones sin tratamiento del suelo.
FIGURE 2.
Solutions without any soil treatment.

En cuanto al tratamiento del terreno, para cimentar los terraplenes, se utilizaron las siguientes soluciones:

- Terraplenes sobre aluvial blando: Sustitución parcial del terreno en zona de desmonte y apoyo del terraplén sobre material grueso (tipo escollera) incrustado en el suelo blando (Fig. 2a).
- Terraplenes sobre fondos de desmonte: Excavación y sustitución superficial (Fig. 2b).
- Terraplenes en zona de Azcamellas (fangos con «costra» superior desecada): Como se detectó una cierta costra superficial algo más resistente (de unos 5-8 m de espesor), en que la resistencia al corte sin drenaje podría ser del doble de la de los fangos subyacentes, se recomendó utilizar el sistema de precarga, con sustitución mínima del terreno superficial (Fig. 2c) y colocación de un geotextil de 20 KN/ml en la base del terraplén para que colaborara en la estabilidad de los taludes laterales. Esta solución se adoptó después de cons-

truir un terraplén experimental. Solución similar, aunque con una sustitución superficial mayor, con escollera, se hizo en el tramo inicial del Valle, al comienzo de las obras, antes de tomar ninguna decisión, aunque en esa zona no había «costra» desecada. En este último caso los asentamientos fueron considerables (más de 110 cm, con una sobrecarga de unos 3,5-4,5 m de altura), por lo que se tomó la decisión de tratar el terreno en zonas con fangos similares.

— Zonas de apoyo sobre fangos (Ruinas, Salinas, Molino, Pinar y Medinaceli): Tratamiento previo del terreno con columnas de grava cortas (6 m de longitud) para aumentar la estabilidad transversal de los terraplenes, uniformizar asentamientos del terraplén (para disminuir daños en el pavimento), y acelerar y disminuir asentamientos de la parte superior de los fangos (Fig. 3). Se utilizó esta solución (de compromiso entre los riesgos de daños, las inversiones posibles, los plazos de ejecución, etc.) para terraplenes de

ried out were: a) that it was advisable to keep the cuts to a minimum; b) to make the embankments as low as possible in the mud zone; c) to treat the ground in this mud zone in order to guarantee the stability of the embankments and to reduce settlement which anyway needed to be accelerated. On the basis of these premises, the road layout was altered and optimized in order to meet these conditions.

It was also decided, in addition, to pile found the isostatic and precast structures on piles that would go through the mud layer and set in the Keuper or limestone of the substratum. The spans of the structures varied from 25 to 40 m, standing on piers of 1.50 Ø individual concrete piles, bored and cast in place and light-shelled. In order to provide foundations for the embankments, the ground was treated with the following methods:

- Embankment on soft alluvial material: partial replacement of the ground in the cut zone and setting of the embankment on coarse material (rockfill type) embedded into the soft soil (Fig. 2a).
- Embankments on cut bot-

toms: excavation and surface replacement (Fig. 2b).

- Embankments in the Azcamellas Zone (muds with dried out top «crusts»): since a somewhat stronger surface crust was detected (some 5-8 m thick) where the undrained shear strength could be twice the amount of the underlying mud, this prompted the use of a preload involving a minimum replacement of the surface soil (Fig. 2c) and the installation of a 20 KN/ml geotextile at the base of the embankment to help to stabilize the lateral slopes. This solution was adopted after building an experimental embankment. A similar solution, but involving a larger replacement of surface material by rockfill, was used in the first zone of the valley, at the start of the works, before any decisions were taken even though this zone had no dried out «top crusts». In this last case the settlements occurring were considerable (over 110 cm, with an overload of some 3.5 to 4.5 m in height) so it was decided to treat the ground as for the zones with muds.

- Setting zones on mud (Ruinas, Salinas, Molino, Pinar and Medinaceli): preliminary treatment of the ground with short gravel columns (6 m long) to increase the transverse stability of the embankments, standardize the embankment settlement (to reduce damage to road pavement) and to accelerate the settlement and keep it down to a minimum in the top part of the mud layers (Fig. 3). This solution was used (a compromise between the risks of damage, the investment available, the execution time available, etc.) on embankments of up to 5 or 6 m in height and thicknesses of mud layer of 1.5-20 m. The gravel columns

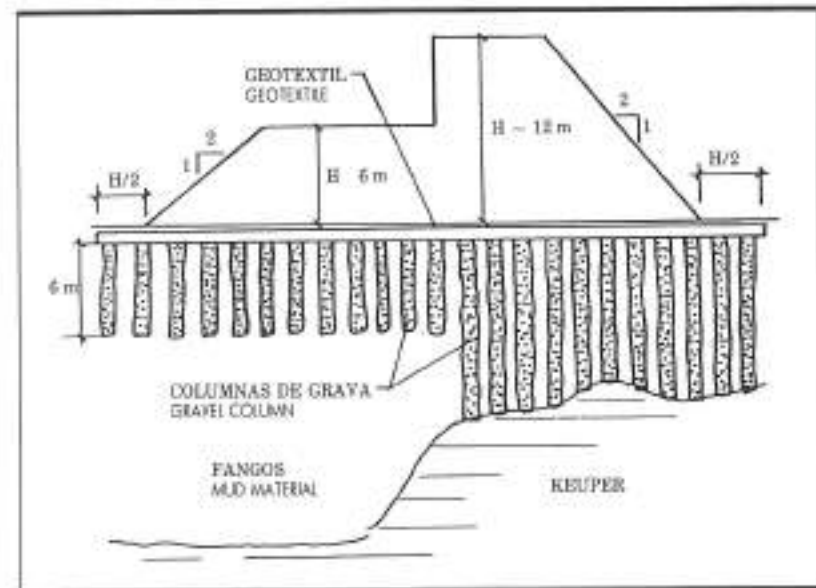


FIGURA 3.
Tratamiento del terreno con columnas de grava, en función de la altura del terraplén.
FIGURE 3.
Ground treatment using gravel columns, depths varying according to embankment high.

altura hasta unos 5-6 m y espesor con fangos de 15-20 m. Las columnas de grava se encajaron con un relleno de material similar (aunque algo contaminado por los fangos), con un geotextil de refuerzo en la base del terraplén. Las columnas tenían disposición triangular y se construía una cada 6 m² y con un diámetro medio del orden de 1,2-1,3 m (que, en la práctica varió de 0,7 a 1,5 m).

- Zonas de terraplenes de gran altura sobre fangos: Al final del tramo se construyó una estructura muy desviada sobre el ferrocarril existente, que llevó a terraplenes de 10-12 m sobre fangos. Dada esta altura y que los fangos solo tenían entre 10 y 14 m de espesor, los terraplenes se apoyaron sobre columnas de grava que atravesaron los fangos hasta el sustra-

to próximo de coluvión y arcillas del Keuper (Fig. 3). También se dispuso una columna cada 6 m².

- Se diseñó una pavimento especial semirrígido, con capa de rodadura de hormigón asfáltico, que se describe en otra comunicación a este Congreso.

5. RESULTADOS OBTENIDOS

Las admisiones medias en las columnas de grava, ejecutadas por vía húmeda y con vibradores de la empresa Bauer, fueron de 0,8-1,0 m³/ml. Sin embargo, en la zona de Salinas (la zona más blanda) las admisiones llegaron a ser claramente superiores: 1,0-1,3 m³ de grava por ml. En la zona del ferrocarril (final del Valle) fueron algo más bajas: 0,7-0,9 m³/ml.

Como ejemplo de los resultados del tratamiento se incluye la Figura 4, correspon-

were waled with a fill composed of similar material (but somewhat contaminated by the mud) and a reinforcement geotextile was installed at the base of the embankment. The columns were arranged in a triangular shape and were built at 6-m² intervals. Their average diameter was 1.2 to 1.3 m (which in practice actually varied from 0.7 to 1.5 m).

- High embankments standing on mud: at the end of this stretch of expressway a highly skewed engineering structure was built to go over the existing railway line which meant it was necessary to build embankments of 10-12 m in height standing on mud foundations. In view of the considerable height involved and the fact that the mud layers were only between 10 and 14 m thick, the embankments were founded on gravel columns that went through the mud

layers into the adjacent substratum of coluvion and Keuper clays (Fig. 3). The arrangement here was also a column every 6 m².

- A special semi-flexible pavement was designed for this stretch with an asphalt concrete wearing course which is described in another paper at this Conference.

5. RESULTS OBTAINED

The average intake in the gravel columns, built by the wet method using Bauer vibrators, went from 0.8 to 1.0 m³ per linear metre. In the Salinas Zone (the softest one), however, the intake went up clearly much higher: 1.0 to 1.3 m³ of gravel per linear metre. In the railway line area (at the end of the valley) it was a little lower: 0.7 to 0.9 m³ per linear metre.

Figure 4 is included as an example of the result achieved with the treatment applied, corresponding to one of the embankments built at the end of the valley: Railway I Zone. This figure indicates the depths and average intake of gravel involved in each column.

After the treatment the columns were waled using the surplus gravel plus some additional amounts brought in, a 20 kN/m geotextile was installed (to help towards the lateral stability of the embankment) and then the embankment was actually built using coarse, ungraded quarry material with a slope gradient of using coarse, ungraded quarry material with a slope gradient of 2H:1(V). An additional fill was also used (after a certain time had elapsed) by way of preload, except in the case of the railway line section. In view of the height involved in this zone, the embankment was built in two stages to avoid pore pressure building up in the mud layers when the embankment had reached half its height and also to reduce the stresses on the foundation piles of the nearby structure. After the sec-

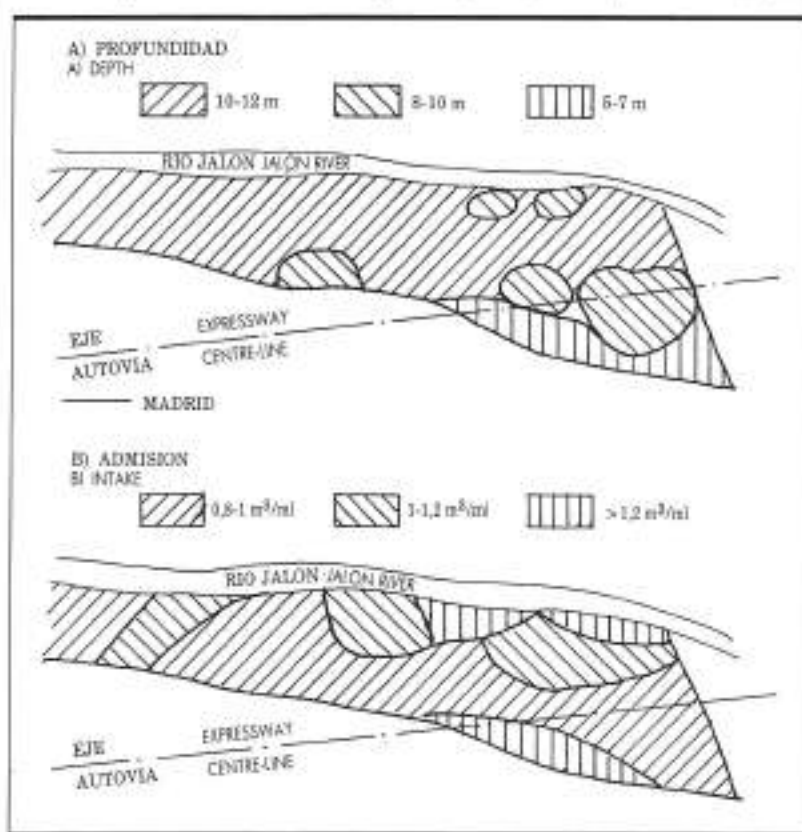


FIGURA 4.
Ejemplo de resultados del tratamiento: profundidad y admisión en las columnas de grava (zona de «Ferrocarril I» con columnas largas).

FIGURE 4.
Example of treatment results: depth and intake in gravel columns (Railway I zone with long columns).

diente a uno de los terraplenes realizados al final del Valle: Ferrocarril I. En dicha figura se indican las profundidades y admisiones medias de grava en cada columna.

Después del tratamiento, las columnas se encapaban con la grava sobrante y algo de aportación, se colocaba un geotextil de 20 KN/m (para contribuir en la estabilidad lateral del terraplén) y se procedía a realizar el terraplén, con material grueso, tipo «todo uno» de cantera y taludes 2(H): 1(V). Además se efectuaba un relleno adicional (pasado algún tiempo) a manera de precarga, salvo en el caso del ferrocarril. En esta zona, dada la altura, el terraplén se construía en dos etapas, a fin de eliminar presiones intersticiales en los fangos cuando el terraplén estaba a media altura y para disminución, además, de los esfuerzos sobre los pilotes de cimentación de la estructura próxima. Después de ejecutar la segunda fase se dejaron transcurrir sólo dos meses antes de construir el pavimento ya que, por necesidades del servicio, era preciso abrir al tráfico la nueva carretera. En todos los estribos se construyeron losas de transición a los terraplenes de 6 m de longitud y las vigas se apoyaron en durmientes cimentados sobre esos terraplenes.

Con objeto de medir asientos y movimientos transversales, se instalaron líneas continuas de asiento e inclinómetros (bajo y al pie del terraplén, respectivamente), instrumentándose un total de 31 secciones (Fig. 5), distribuidas a lo largo del trazado (de 3 a 5 en cada tramo con tratamiento del terreno). Además se instrumentaron diversos pilotes de las estructuras, aunque dichos resultados no se comentan aquí por falta de espacio.

A modo de ejemplo se ha

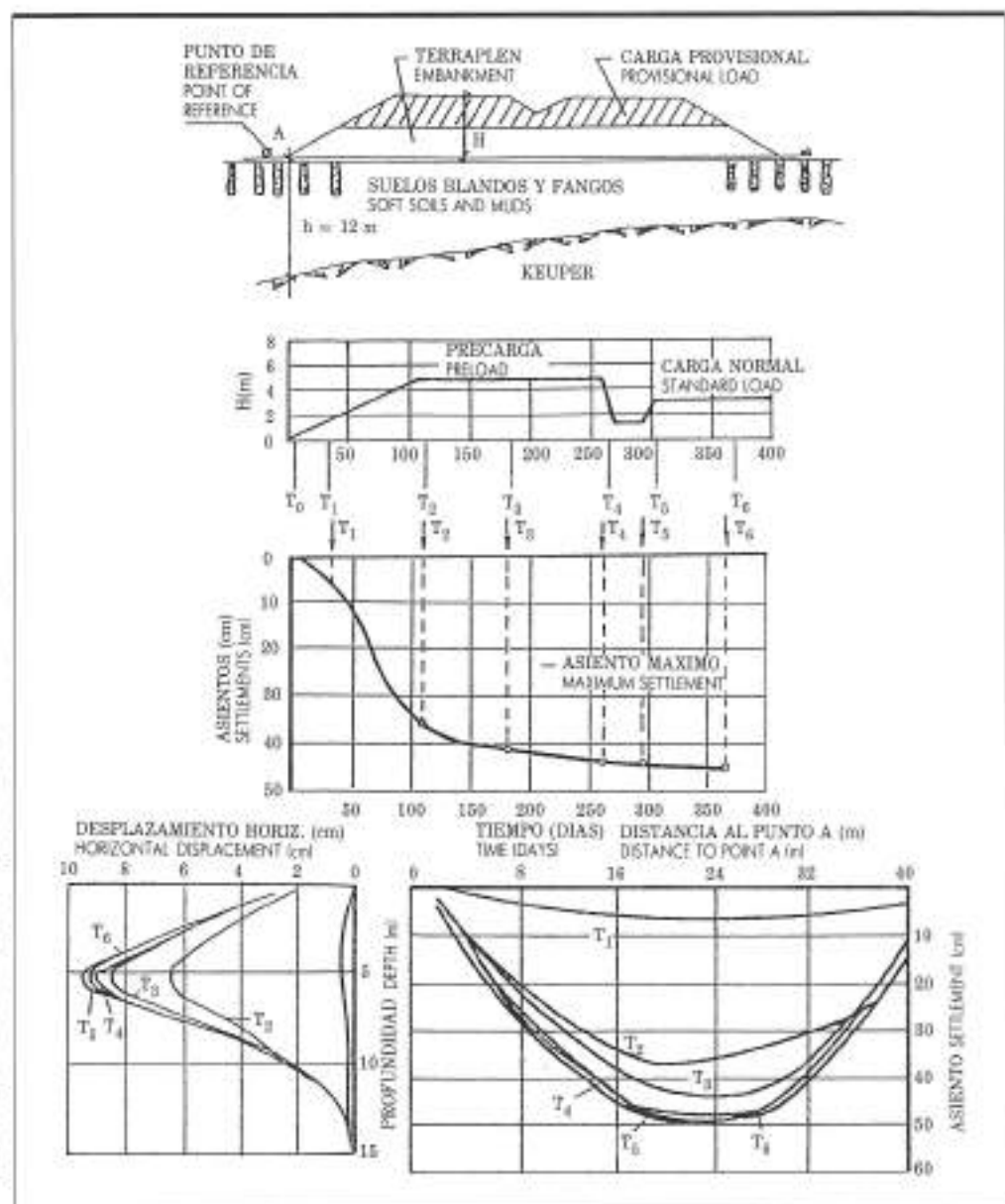


FIGURA 5. Movimientos controlados en la zona de «Ruinas».
FIGURE 5. Movements monitored in the ruins zone.

tomado la sección de control n.º 2 del tramo denominado «Ruinas», de comportamiento que puede calificarse de medio y en el que se ejecutaron columnas de grava cortas. El terraplén tenía 3 m de altura, que llegó a 5 m en la fase de precarga. En la Figura 5 se ha representado el cronograma de cargas y los asientos del eje central de la sección. En este caso los asientos má-

ximo y los movimientos transversales se midieron en la zona de «Ruinas». En esta zona, dada la altura, el terraplén se construía en dos etapas, a fin de eliminar presiones intersticiales en los fangos cuando el terraplén estaba a media altura y para disminución, además, de los esfuerzos sobre los pilotes de cimentación de la estructura próxima. Después de ejecutar la segunda fase se dejaron transcurrir sólo dos meses antes de construir el pavimento ya que, por necesidades del servicio, era preciso abrir al tráfico la nueva carretera. En todos los estribos se construyeron losas de transición a los terraplenes de 6 m de longitud y las vigas se apoyaron en durmientes cimentados sobre esos terraplenes.

With the idea of measuring the settlement and transverse

movements, Barro type continuous settlement lines were installed with inclinometers (underneath and at the foot of the embankment, respectively) in a total of 31 sections (Fig. 5) distributed throughout the length of the layout with three to five instruments being installed per stretch where the ground was subjected to treatment. In addition, several of the structure's piles were also instrumented but