

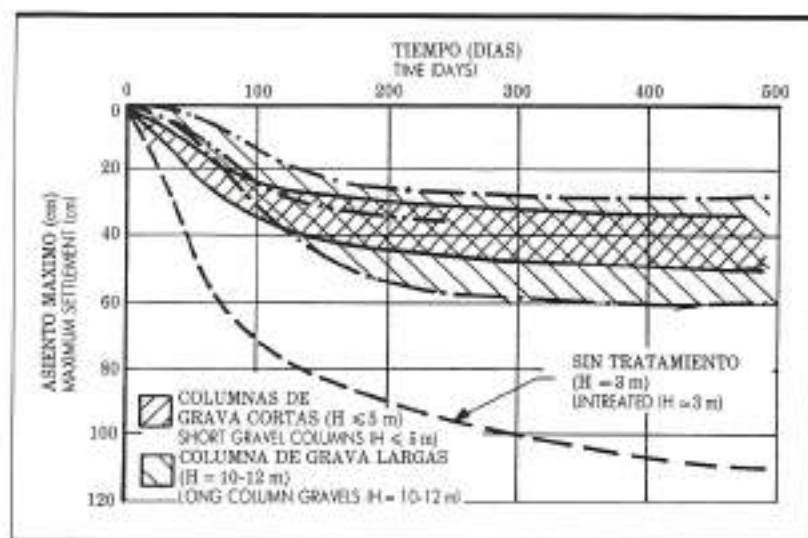


FIGURA 6.
Resumen de los asentamientos máximos medidos.

FIGURE 6.
Summary of the maximum settlements recorded.

ximos medidos fueron de 10 cm. En otros tramos de control los asentamientos máximos medidos han variado entre 30 y 110 cm, en función de alturas de terraplén, espesor de fangos, reblandecimiento del terreno, etc. (Fig. 6).

Del análisis de los datos facilitados por la instrumentación mediante las clásicas teorías de Terzaghi-Fröhlich y el MEF, se ha deducido un coeficiente de consolidación medio global de los fangos de:

- Sin tratamiento:
 $C_v = (1.6) \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{seg.}$
- Con tratamiento de columnas cortas:
 $C_v = 1 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{seg.}$
- Con tratamiento de columnas largas:
 $C_v = 3 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{seg.}$

y un módulo de deformación aparente, E , del orden de 1350-3400 KPa en los fangos sin tratar y que varía de 4800 a 5000 KPa en los fangos con tratamiento.

La mejora global conseguida, en deformabilidad, puede considerarse del orden de magnitud de la recomendada por diversos autores, como puede verse en la Figura 7, aunque en algunos casos puede ser apreciablemente superior. En cuanto a la efectividad local del tratamiento, in-

vestigado con métodos geofísicos, utilizando ondas superficiales tipo Rayleigh, varía según la profundidad, aunque llega a veces a ser de cuatro veces (relación entre módulos de deformación después y antes del tratamiento), como muestra la Figura 8.

6. CONCLUSIONES

- Las medidas de tratamiento y refuerzo del terreno han impedido que se produjeran fenómenos de inestabilidad a corto plazo en los terraplenes.

the results obtained are not commented on in this paper for lack of available space.

Given as an example is the behaviour in the control section N.º 2 of the stretch known as «Ruinas». This behaviour can be considered average for cases where short gravel columns were built. The embankment was 3 m high and went as high as 5 m in the preloading stage. Figure 5 shows the load and settlement chronogram of the central axis of the section. In this instance the maximum settlements recorded were in the re-

gion of 45 cm and the maximum horizontal displacements measured were 10 cm. In other control stretches the maximum settlements measured varied from 30 to 110 cm, as a function of the embankments heights, thickness of mud, ground softening, etc. (Fig. 6).

From the study of data supplied by the instrumentation for the classic Terzaghi-Fröhlich theories and the MEF, an average consolidation coefficient was deduced for the mud layers overall as follows:

- Untreated:
 $C_v = (1.6) \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s.}$
- Treated with short columns:
 $C_v = 1 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s.}$
- Treated with long columns:
 $C_v = 3 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s.}$

plus an apparent deformation modulus, E , which was in the order of 1350 to 3400 KPa in the treated mud layers.

The overall improvement in deformability achieved can be considered to be in the region of the value recommended by different authors, as can be seen in Figure 7, although in some cases it can be considerably higher. As regards the local effectiveness of the treatment, researched by geophysical

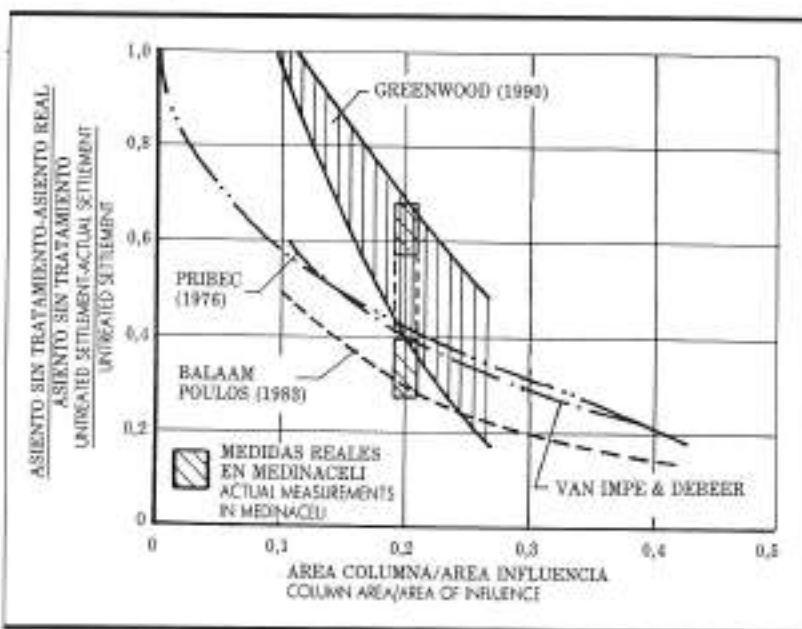


FIGURA 7.
Efectividad del tratamiento por columnas de grava.

FIGURE 7.
Effectiveness of the gravel column treatment.

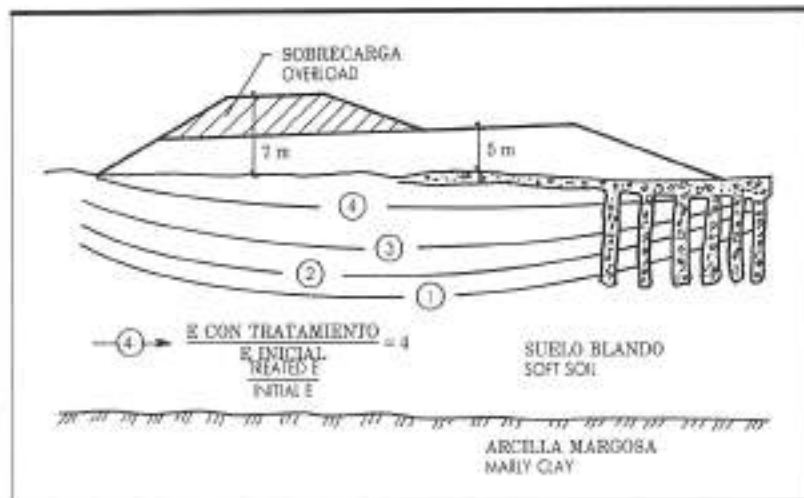


FIGURA 8.
Mejora obtenida bajo un terraplén con columnas de grava cortas.
FIGURE 8.
Improvement obtained under an embankment with short gravel columns.

proved to be under 10-12 cm which are admissible. The gravel columns have proved to be a measure of the highest effectiveness for reducing the risks of instability, standardizing settlements, reducing and partially accelerating them, in spite of the small length in the majority of the cases.

- Los asentos finales han sido muy grandes (30-110 cm), pero las deformaciones diferenciales se han mantenido en límites aceptables.
- Los asentos, una vez colocado el pavimento, han sido inferiores a 10-12 cm y han resultado admisibles.
- Las columnas de grava han constituido una medida de máxima eficacia para disminuir riesgos de inestabilidad, homogeneizar asentos y disminuirlos y acelerarlos parcialmente, a pesar de la escasa longitud empleada en la mayoría de los casos.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores de esta comunicación desean expresar su agradecimiento a todas aquellas personas y empresas que intervinieron en el diseño, realización y control de las obras: D. José A. Aguilar y D. Daniel Adrados, de la DGC, a diversos técnicos del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX (Sres. Quero, Moreda, García Lara y Aguado); a la empresa CMZ (Sres. Roibas, Moreno y Alcázar) que realizó las obras; a TERRATEST, S.A. (Sres. Canalda y Candela), encargada de la realización de las columnas de grava, y a INITEC, que colaboró en el control.

miento a todas aquellas personas y empresas que intervinieron en el diseño, realización y control de las obras: D. José A. Aguilar y D. Daniel Adrados, de la DGC, a diversos técnicos del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX (Sres. Quero, Moreda, García Lara y Aguado); a la empresa CMZ (Sres. Roibas, Moreno y Alcázar) que realizó las obras; a TERRATEST, S.A. (Sres. Canalda y Candela), encargada de la realización de las columnas de grava, y a INITEC, que colaboró en el control.

8. REFERENCIAS

- CUELLAR, V. (1990). «Técnicas geofísicas de reconocimiento del terreno». Curso organizado por el CEDEX (MOPT), Madrid.
PRIEBE, H. (1976). «Abschätzung des Setzungsverhaltens ein durch Stopfürdichtung verbesserten Baugrundes». Die Bautechnik, H.5.

methods using Rayleigh surface waves, this varied according to the depth involved but in some places was as much as fourfold (the ratio between the modulus of deformation before and after treatment) as shown in Figure 8.

6. CONCLUSIONS

- The ground treatment and strengthening measures taken have stopped short-term instability phenomena occurring in the embankments.
- The final settlements recorded were extremely large (30-110 cm) but the differential strain has been kept within acceptable limits.
- The settlements to occur once the pavement was built

7. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors of this paper wish to express their thanks to all the individual persons and companies who have intervened in the design, execution and monitoring of the works: José María Aguilar and Daniel Adrados from the Directorate General for Roads, several technicians from the CEDEX Geotechnics Laboratory (Messrs Quero, Moreda, García-Lara and Aguado) and to the company CMZ (Messrs Roibas, Moreno and Alcázar) who carried out the work, TERRATEST, S. A. (Messrs Canalda and Candela) in charge of producing the gravel columns, and INITEC for its collaboration in the monitoring.

8. REFERENCES

- CUELLAR, V. (1990). «Técnicas geofísicas de reconocimiento del terreno». Course organized by CEDEX (Min. Public Works & Transport), Madrid.
PRIEBE, H. (1976). «Abschätzung des Setzungsverhaltens ein durch Stopfürdichtung verbesserten Baugrundes». Die Bautechnik, H.5.

Consolidación de rellenos y vertederos en el enlace Juan Carlos I, de Sevilla (España)

Consolidation of fills and tips in the Juan Carlos I interchange in Seville (Spain)

CARLOS OTEO (*)
EMILIO MIRANDA (**)
PEDRO SOLA (***)

RESUMEN. Con motivo del acondicionamiento de la red viaria de circunvalación de Sevilla, se ha construido el enlace Juan Carlos I. Esta obra se asienta sobre materiales naturales superficiales blandos y sobre rellenos flojos incontrolados y vertederos lo cual introdujo serios problemas de posible inestabilidad y deformabilidad de los terraplenes a construir. Para resolverlos se ha procedido a tratar el terreno con diversos sistemas de mejora: columnas de grava, drenes de plástico, compactación dinámica y sustitución, adecuando cada uno de los condicionantes técnicos y económicos presentes en la obra.

ABSTRACT. The interchange named as Juan Carlos I was built in Seville as part of the preparations for the new city motorway ring-road. This work stands on natural materials with a soft top and uncontrolled loose fills and dump material which gave rise to serious problems over possible stability and deformability in the embankments to be built. In order to solve these problems the ground was treated with several different improvement systems, namely: gravel columns, plastic drains, dynamic compaction and replacement of materials, adapting each one to the technical and economic factors conditioning the work.

1. INTRODUCCION

El enlace Juan Carlos I es un importante nudo viario que forma parte de la Autovía de Circunvalación de la ciudad de Sevilla (España), dentro de las mejoras de infraestructura construidas en el marco de la Exposición Universal de 1992. La presencia en esta zona de diversos rellenos antrópicos y vertederos y la de un antiguo cauce del río Guadalquivir, relleno hace unos 60 años, originó diversos problemas: a) Riesgos de inesta-

bilidad lateral de los terraplenes de acceso a las estructuras (de 6-8 m de altura). b) Deformabilidad excesiva de los terraplenes por compresión de materiales flojos y por colapso de los mismos. c) Asientos diferidos por compresión de restos de demolición, basuras, etc. Todo ello llevó a contemplar la posibilidad de realizar tratamientos del terreno para reducir los riesgos de inestabilidad citados, acelerar los movimientos antes de colocar el pavimento sobre los terraplenes, etc.

1. INTRODUCTION

The Juan Carlos I Interchange is an important junction on the motorway ring road around the city of Seville in Spain which forms parts of the improvements to infrastructure built within the integrated project for the 1992 Expo Universal Exhibition. The presence in this area of several man-made fills and dumps and of an old bed of the River Guadalquivir which was filled in 60 years ago gave rise to several problems: a) risk of lateral instability in the access

embankments for the structures (6-8 m high). b) Excessive deformability in the embankments as a result of the compression of loose materials which had collapsed. c) Deferred settlements as a result of the compression of the remains from demolition and urban waste, etc. All of this led to studies being made of the possibility of treating the ground to reduce these stability problems mentioned, to precipitate the movements deliberately before laying the pavement on the embankments, etc.

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

(**) Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía occidental.

(***) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Geotecnia y Cimentas, S. A.

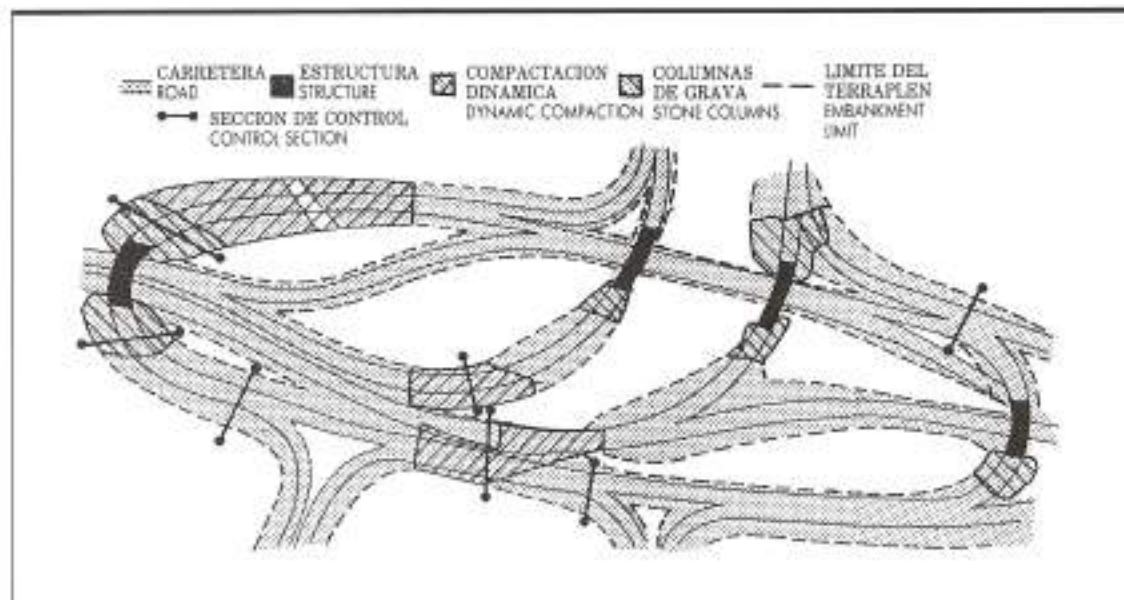


FIGURA 1.
Planta del enlace de Juan Carlos I.
FIGURE 1.
Plan of the Juan Carlos I interchange.

2. MARCO GEOMECANICO

La zona en que se asienta el enlace tiene una distribución en planta que muestra la Figura 1. Incluye cuatro estructuras hiperestáticas (E-31 a E-34) de dos a tres vanos, con luces de 20 a 28 m, apoyadas sobre estribos de hormigón armado. Tanto los estribos como las pilas se cimentaron sobre pilotes «in situ». Para acceder a estas estructuras era necesario construir terraplenes de altura entre 4 y 7,50 m. Además, en el trabajo llevado a cabo se incluyó el estribo de otra estructura similar (la E-0), próxima al enlace, salida del puente de «El Centenario» y con altura de terraplenes de unos 7,50 m. La estratigrafía de la zona incluye (Fig. 2):

- Nivel A: Rellenos antrópicos muy flojos (restos de demolición, terreno arcilloso, vertidos domésticos, etc.). La resistencia a la penetración dinámica en el penetrómetro Borro —muy utilizado en España— ha sido: $N_{20} = 3-15$ golpes/20 cm, con predominio

de valores por debajo de 10.

- Nivel B: 1) Limos arenosos y arcillas ocre y amarillentas, de consistencia media a floja y con más del 45 % de finos (pasa por el tamiz n.º 200 ASTM). 2) Limos

2. GEOMECHANICAL SETTING

The ground plan of the zone in which this interchange was built is shown in Figure 1. It includes four hyperstatic engineering structures (E-31 to E-34) with

two to three spans and clearances of 20 to 28 m, set on reinforced concrete abutments. Both the abutments and piers were pile ground in place. To provide access to these structures embankments of between 4 and 7 m high had to be built. In addition, the work carried out included the abutment of another similar structure (E-0), close to the interchange, which was the exit from the «Centenary Bridge» involving embankment heights of some 7.50 m. The stratigraphy of the zone includes (Fig. 2):

- Level A: very loose man-made fills (demolition remains, clay soil, urban waste dumps, etc.). The dynamic penetration strength in the Borro penetrometer —greatly utilized in Spain— was: $N_{20} = 3-15$ strokes every 20 cm, with a predominance of values under 10.

- Level B: 1) Sandy silt and ochre and yellowish clays with a medium to loose consistency and containing over 45 % fines (passing an ASTM 200 screen). 2) Very loose clayey and muddy silts (the old bed of the River Guadalquivir).

PERFIL	DESCRIPCION	THICK. (m)	CONT. FINOS (%)	N 20 BORRO
PROFILE	DESCRIPTION	THICKNESS	FINES CONTENT	N 20 BORRO
	RELLENO ANTROPICO (RESIDUOS Y BASURA) MAN-MADE FILL (DEMOLITION AND URBAN WASTE)	8-9	0-30	3-15
	LIJOS ARENOSOS BLANDOS SOFT SANDY SILT	3-7	> 45	5-15
	LIMO ARCHILLOSO MUY BLANDO VERY SOFT CLAYEY SILT	2-4	> 90	3-10
	ARENA LIMOSA SILTY SAND	3-6	< 15	15-25
	GRAVAS GRAVEL	5-8	20	30-60
	MARGAS AZULES BLUE MARLS	> 40	> 85	50

FIGURA 2.
Estratigrafía tipo de la zona.
FIGURE 2.
Standard stratigraphic of the area.

arcillosos muy flojos, fangosos (antiguo lecho del río Guadalquivir).

- Nivel C: Arenas limosas de compacidad media a floja (terrenos natural). No plásticas.
- Nivel D: Gravas características del perfil de Sevilla.
- Nivel E: Sustrato próximo de «Margas Azules» (arcillas rígidas fisuradas).

El nivel freático se encuentra a unos 2 m de profundidad. Los espesores de cada nivel estratigráfico y los valores N_{60} medios se indican en la Figura 2.

Además de las condiciones geotécnicas que impone la presencia de estos tipos de terrenos, hay que añadir las que supone la presencia de algunas líneas eléctricas aéreas y tuberías de abastecimiento enterradas que atravesaban el área del enlace, así como la presencia de algún edificio próximo. También debía de tenerse en cuenta las dificultades de encontrar vertederos próximos, canteras de aportación y las dificultades de traer nuevos materiales, dada la proximidad en tiempo y lugar de la Exposición Universal de Sevilla de 1992.

3. CONDICIONANTES IMPUESTOS A LAS POSIBLES SOLUCIONES

Analizando la problemática geotécnica impuesta, por la estratigrafía comentada y las limitaciones derivadas de los servicios existentes, se consideró que las soluciones de tratamiento del terreno deberían de tener en cuenta:

- Que la cimentación del firme fuese adecuada, para lo que se recomendó colocar bajo él 1 m de material adecuado y compactado. La mitad superior se diseñó con «albero», una arena arcillo-

sa local de gran rigidez e impermeabilidad.

- La proximidad a estructuras y el espesor de rellenos, así como el espesor de terraplén previsto para cada zona.
- El fenómeno de colapso del terreno situado por encima del nivel freático, originado por su saturación, aunque por debajo (o sea, en zona ya saturada) podían producirse asentamientos por compresibilidad de los materiales.
- El asiento máximo admisible por fenómenos de colapso se tomó igual a 15 cm. Con esta hipótesis y el potencial de colapso de los vertidos (del orden del 4-5 %) se admitió que bajo los terraplenes podrían quedar unos 3 m de relleno colapsable por inundación, por encima del nivel freático.
- El asiento que se permitía, una vez colocado el firme, era inferior a unos 20 cm. En las zonas próximas a estructuras (pilotadas y previsiblemente con pocos asentamientos) este asiento se limitó a unos 5 cm.

Con estas hipótesis de trabajo se contemplaron tres sistemas de tratamiento del terreno:

- Columnas de grava, realizadas con vibroflotador y vía húmeda, para provocar el colapso de los rellenos superiores, compactarlos y reforzar el terreno.
- Drenes de plástico hincados, en las zonas de terraplenes altos sobre suelos sin basuras, para acelerar asentamientos.
- Compactación dinámica, con la idea de crear una «losa de terreno» compacto bajo los terraplenes, aun dejando por debajo algún espesor de suelo colapsable (hasta 3 m).
- Sustitución del nivel A o B por terreno «tolerable»

- Level C: medium to loose silty sands in natural soil. Non plastic.
- Level D: gravel typical of the Seville profile.
- Level E: Adjacent substratum consisting of «blue marls» (fissured rigid clays).

The water table lies some 2.0 m down. The thicknesses of each stratigraphic level and the average N_{60} values are indicated in Figure 2.

In addition to the geotechnical conditions enforced by the presence of these types of ground must be added the conditions enforced by the presence of overhead electricity lines and underground utility supply conduits which crossed the interchange area plus the presence of the old building in the vicinity. What also had to be taken into account was the difficulty of finding dumps close by, borrow pits plus the complications of bringing in new materials in view of the very short deadline in time and space of the 1992 Universal Exhibition.

3. CONDITIONING FACTORS IMPOSED ON THE POSSIBLE SOLUTIONS

Analysing the geotechnical problems involved through the stratigraphic analysis commented on and the limitations derived from the services existing, it was considered that the ground treatment solutions should bear the following in mind:

- The fact that the pavement foundation had to be correct so it was recommended that a 1-m thickness of suitable material should be installed beneath it and then compacted. The top half was designed to be made out of a local clayey sand with considerable rigidity and impermeability known as «albero».
- The proximity to engineering structures and the thickness of

the fills concerned plus the embankment thickness planned for each zone.

- The failure phenomenon of the ground above the water table, as a result of the saturation of this, even though underneath in the already saturated zone settlements could occur in the materials as a result of compressibility.
- The maximum admissible settlement as a result of failure phenomena was taken to be equal to 15 cm. Working on this hypothesis and the failure potential of the dumps (in the order of 4-5 %), it was admitted that some 3-m depth of flood collapsible fill could remain beneath the embankments and above the water table.
- The settlement allowed, once the pavement had been laid, was under 20 cm. In the zones close to the structures (piered and predictably undergoing few settlements) the settlement was limited to 5 cm.

With this working hypothesis three systems were studied for treatment of the ground:

- Stone columns, made wet with a vibroflotation machine, to provoke the failure of the top fills, subsequent compaction and ground reinforcement.
- Plastic drains driven in to the high embankment zones over soils without urban waste tips in order to accelerate settlements.
- Dynamic compaction, with the idea of creating a compact «slab of earth» beneath the embankments even leaving below a small layer of collapsible soil (up to 3 m).
- Replacement of Level A or B by «tolerable» compacted ground, re-utilizing existing materials.

Analysing all the conditioning factors present (ground, buildings close by, underground conduits, schedule deadline, etc.), it

compactado, reutilizando materiales existentes.

Analizando todos los condicionantes presentes (terreno, edificios próximos, tuberías enterradas, plazos de ejecución, etc.) se decidió adoptar las siguientes soluciones:

- En la zona de estribos (terraplenes altos con espesor apreciable de relleno colapsable) se diseñó un tratamiento con columnas de grava que penetrasen en el terreno natural, aunque éste no era más que de compactidad media y, a veces, floja. Así, se realizaron columnas de 7 a 9 m de longitud, distribuyéndolas en mallas triangulares. En los 10 m más próximos a los estribos se ejecutaba una columna cada 4 m² y en los 20 m siguientes una cada 7 m² (Fig. 3). Las columnas de grava se realizaron con vibrador y lanza de agua («vibrosustitución»), empleando dos tipos de sistemas: Bauer (hidráulico) y Keller (eléctrico). En la Figura 1 puede verse la situación de las zonas en que se aplicó este tipo de tratamiento. En dos estribos no se realizó por existir una carretera desde hacía años y ser el nuevo terraplén de altura menor de 1 m.
- En las zonas alejadas más

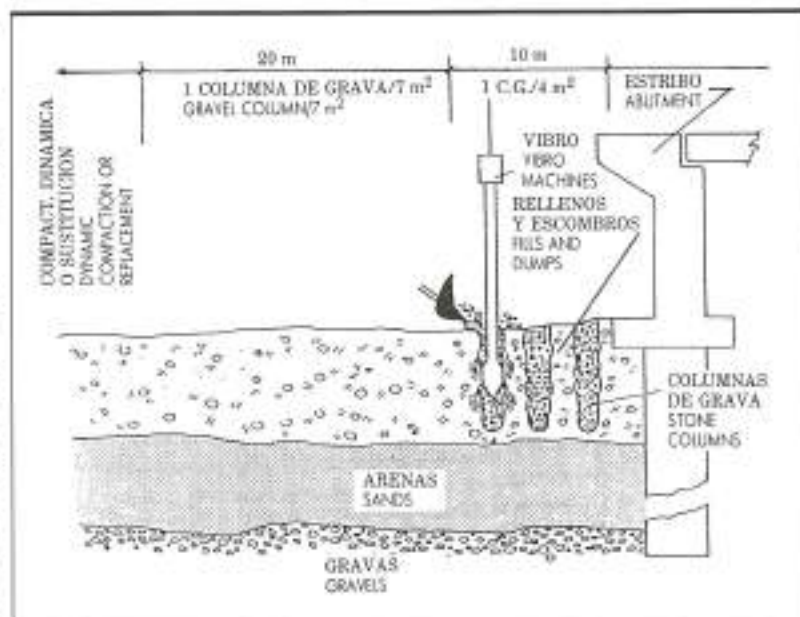


FIGURA 3.
Columnas de grava cerca de estribos.
FIGURE 3.
Stone columns near to abutments.

de 30 m de los estribos se eligió uno de los otros dos sistemas empleados: a) Sustitución de 2 a 5 m del terreno superior, con aprovechamiento de parte del material existente (reutilizándose el 40 % del volumen de materiales removidos sobre 217.000 m³, tras unos trabajos exhaustivos de control y vigilancia), b) Compactación dinámica, con la idea de crear la «losa» ya comentada con una de espesor mejorado del orden de 3-4 m. En la Figura 1 se indican las zonas en que se ejecutó este tratamiento,

was decided to adopt the following solutions:

- In the abutment zone (high embankment with considerable thickness of collapsible fill), a treatment was designed using stone columns that would penetrate into the natural ground even though this had only medium compactness and was even loose at times. Columns were therefore built, 7 to 9 m long, arranged in triangular grids. In the 10 m next to the abutments a column was built every 4 m² and in the following 20 m the interval was

every 7 m² (Fig. 3). The gravel columns were made using a vibrating machine and water jet (vibrosubstitution) using two types of systems: the Bauer (hydraulic) and the Keller (electrical). Figure 1 shows the location of the zones where this type of treatment was applied. It was not applied in two abutments because of the existence of a road from years back and the fact that the new embankment was under 1 m high.

- In the zones over 30 m away from the abutments one of the other two systems selected was applied: a) replacement

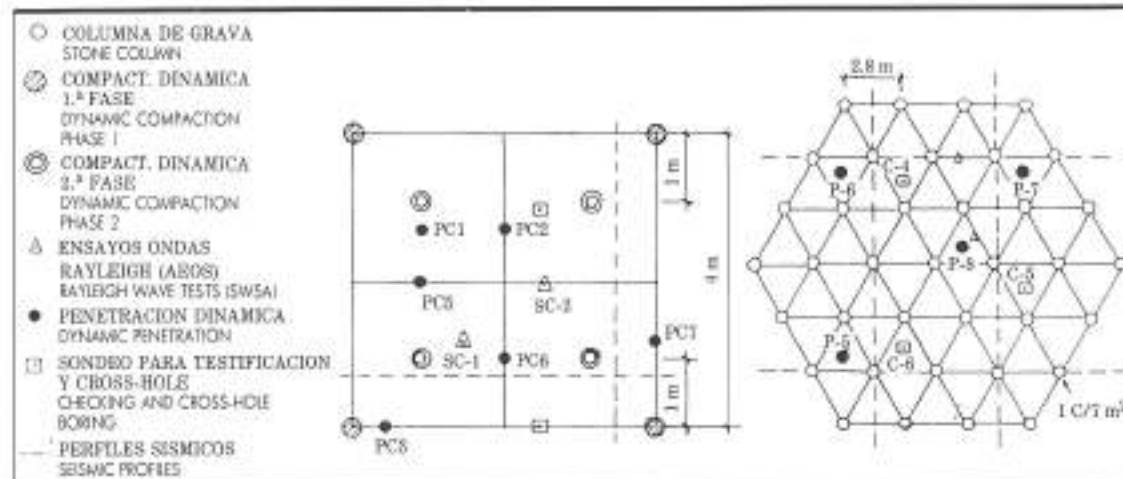


FIGURA 4.
Mallas de tratamiento de columnas de grava y compactación dinámica con situación de ensayos de control.
FIGURE 4.
Stone column and dynamic compaction treatment grids with location of monitoring tests.

geofísico, sobre todo los de la Técnica AEOS. En la Figura 8 pueden verse los resultados obtenidos, en una zona de columna de gravas (correspondiente a 1 columna cada 7 m²), antes del tratamiento, poco después de construir el terraplén y el pavimento. No se nota diferencia prácticamente antes del tratamiento e inmediatamente después, debido seguramente a haber saturado toda la zona por encima del nivel freático (con lo que baja la velocidad de ondas al saturarse el suelo) y a que las columnas se han hecho por vibrosustitución, sin apenas compactar entre ellas. Pero cuando el terraplén se construye, las columnas se comprimen, se ensanchan y dan lugar a una mejora apreciable del conjunto, por un efecto de coacción lateral o «zunchado». En el caso de las columnas de grava la mejora puede cifrarse en valores del ϵ_r de 1,7 a 3,5 en los metros superiores (disminución de la deformabilidad).

En las zonas de compacta-

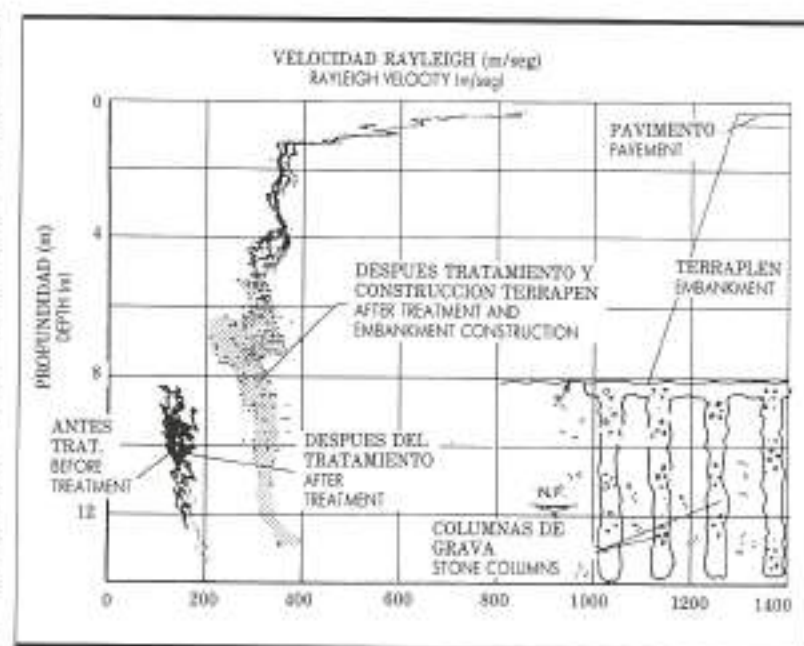


FIGURA 8. Resultado del control con ondas Rayleigh en la estructura E-31 (columnas de gravas).
FIGURE 8. Results of monitoring using Rayleigh waves in structure E-31 (stone columns).

ción dinámica la técnica AEOS muestra también mejoras. Pero dadas las características del tratamiento (más global, no adición de agua, etc.) la mejora ya se notó antes de construir el terraplén, en los 5 m más superficiales (Fig. 9). Al final la mejora en

ers in the CEDEX Geotechnics Laboratory). The comparison between the square of the velocity of the waves before and after treatment enabled the effectiveness of this to be measured, ϵ_r which is the ratio between the average moduli of deformation before

and after the treatment. Figures 4 and 6 give examples of the controls done in the abutment of a structure (E-31) and in a dynamic compaction zone, respectively.

5. RESULTS OBTAINED

The dynamic penetration tests proved most effective with the dynamic compaction (Fig. 7), indicating a clear improvement in the top 3 to 3.5 m of ground and a certain degree of improvement in the next 2 to 3 m which was the effect sought. But the penetrometer test in the gravel columns recorded very little improvement. What the improvement there was was at individual points and was therefore not noticeable in the areas between columns.

The geophysical tests produced better information, especially with the surface wave spectral analysis technique. Figure 8 gives the results obtained in a gravel column area (where the columns were installed 7 m² apart), prior to treatment and shortly after building the embankment and the pavement. In practical terms no difference was obvious

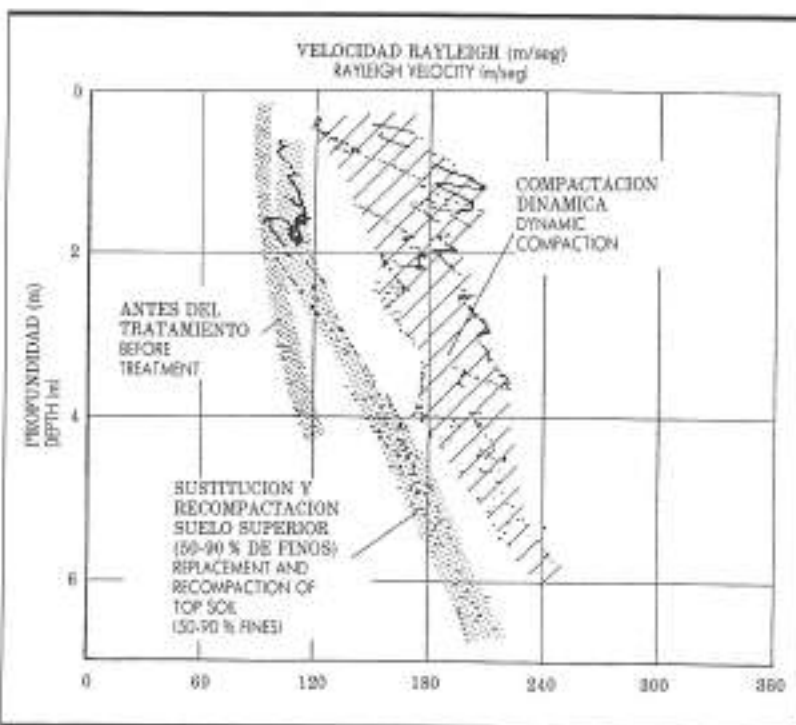


FIGURA 9. Comparación entre diversos sistemas de tratamiento.
FIGURE 9. Comparison among different treatment systems.

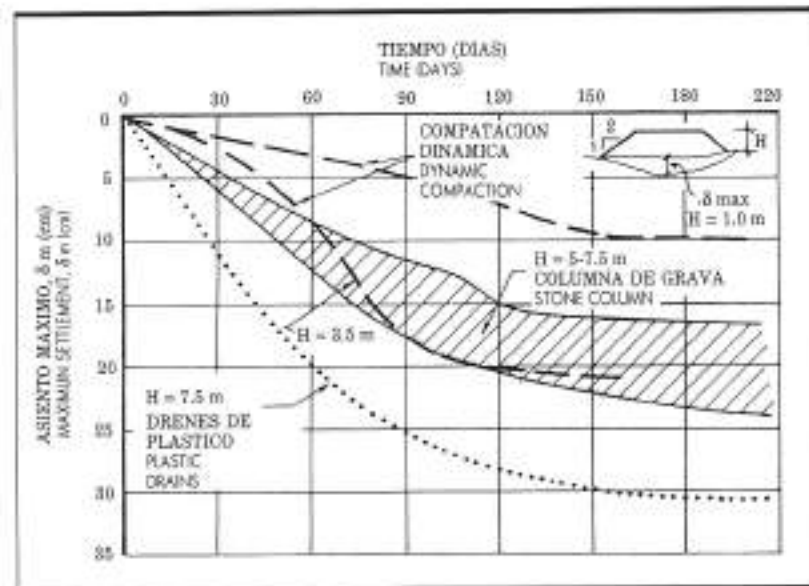


FIGURA 10.
Evaluación de los asentamientos controlados en diferentes zonas.
FIGURE 10.
Evaluation of the maximum settlements checked in different zones.

este caso puede cifrarse en valores del coeficiente ϵ_r de 1,7 a 2,0.

Por último, en la zona de sustitución los ensayos de ondas superficiales muestran un menor aumento de calidad, sobre todo en la zona de reutilización de materiales. En la Figura 9 puede verse como la velocidad Rayleigh sube de unos 90 m/seg a unos 110-120 m/seg en los primeros metros, cuando se reutilizó un material con 50-90 % de contenido de finos, velocidad inferior a la alcanzada en los otros casos (ver Figura 9).

El uso de las «líneas continuas de asiento» ha permitido dibujar la Fig. 10, en la que se resume la evolución con el tiempo del asiento máximo de diversas secciones de ensayo. Los mayores asentamientos corresponden al caso de la estructura E-O, en la que, para una altura, H de terraplén de 7,5 m, sólo se instalaron drenes de plástico (por no existir basuras ni rellenos, sólo terreno flojo natural); del orden de 31 cm, de los cuales sólo unos 6 cm se produjeron después de colocar el firme (tres meses después de contruir el terraplén).

En el caso de estribos tratados con las columnas de grava, para alturas de terraplén H = 5-7,5 m, los asentamientos han variado entre 17 y 23 cm, a pesar de que el terreno era mucho peor que en la estructura E-O (drenes de plástico). Ello indica que la presencia de las columnas ha debido de disminuir, al menos, a la mitad de los asentamientos que se habrían producido en su presencia. Estas magnitudes coinciden bastante bien con los valores recomendados por Priebe (1976). En este caso el 90 % de consolidación se alcanzó hacia tres meses después de cargar los terraplenes.

En las zonas en que se aplicó la compactación dinámica, los asentamientos medidos bajo los terraplenes variaron entre 21 cm (H = 3,5 m) y 12 cm (H = 1,0 m), lo que muestra una menor eficacia global de la mejora, aunque más económica.

En la zona de sustitución se midieron asentamientos máximos de 15-17 cm para altura de terraplén, H, de 3,5 m y con sólo 2 metros de sustitución (zona con pocos rellenos antrópicos).

Antes del tratamiento y inmediatamente afterwards, almost certainly owing to the fact that the area above the water table had been saturated (which dropped the wave velocity with the saturated soil) and that the columns were made by vibrosubstitution with virtually no compacting in between. But when the embankment was built the columns were compressed, broadened out and gave rise to an appreciable improvement in the arrangement as a whole as a result of lateral constraint of «hoopings». In the case of the gravel columns the improvement can be stated in ϵ_r values of 1.7 to 3.5 in the top metres (a decrease in deformability).

In the areas where dynamic compaction was applied, the surface wave spectral analysis also revealed improvements. But in view of the particular features of the treatment (more global, no addition of water, etc.), the improvement was already evident before the embankment was built in the topmost 5 m (Fig. 9). In the end the improvement in this case can be stated in ϵ_r values of 1.7 to 2.0.

Finally, in the replacement area the surface wave tests showed a smaller increase in

quality, especially in the area where materials were re-utilized. Figure 9 shows how the Rayleigh velocity rises from some 90 m/s to about 110-120 m/s in the top metres when a material was re-utilized that had a 50-90 % fines content, a lower velocity than the one reached in the other cases (see Fig. 9).

The use of «continuous settlement lines» enabled Figure 10 to be drawn which sums up the evolution over time of the maximum settlement of several test sections. The greatest settlements correspond to the case of Structure E-O where for an embankment height H of 7.5 m, only plastic drains were installed (since no urban waste nor fills existed, only natural looseley compacted ground) the were in the order of 31 cm of which only about 6 cm of settlement occurred after the pavement was laid (three months after building the embankment).

In the case of the abutments treated with stone columns, for an embankment height H = 5 to 7.5 m, the settlements varied between 17 and 23 cm, in spite of the fact that the ground was much poorer than at Structure E-O (plastic drains). This indicates that the presence of the columns must have lowered the settlements to at least half what would have occurred without the presence of the columns. These magnitudes coincide fairly well with the values recommended by Priebe (1976). In this case the 90 % consolidation was reached towards three months after having loaded the embankments.

In the areas where dynamic compaction was applied the settlements measured beneath the embankments varied from 21 cm (H = 3.5 m) to 12 cm (H = 1.0 m), which shows a lower overall effectiveness of the improvement, even though more economical.

In the replacement area maximum settlements of 15-17 cm

6. CONCLUSIONES

- Los sistemas de tratamiento del terreno elegidos han dado resultado para evitar los problemas derivados de la presencia de vertederos y suelos flojos bajo terraplenes de 1 a 7,5 m de altura.
- En ningún caso los asientos remanentes, después de construir el pavimento sobre los terraplenes, han sobrepasado el valor de 6 cm. Los tiempos de carga de estos terraplenes hasta instalar las capas de firme han sido del orden de tres meses (columnas de grava y drenes de plástico).
- La técnica de ondas Rayleigh (AEOS) se ha mostrado un método excelente para controlar la efectividad, en deformaciones, ϵ_r , ha variado desde valores medios de 1,8 hasta 3,5 (compactación dinámica y columnas de grava, respectivamente). En la sustitución ϵ_r alcanzó valores globales del orden de 1,5 al haber sustituido sólo la parte superficial del terreno flojo (2-4 m de espesor).
- El control de asientos por

medio de líneas continuas ha dado un magnífico resultado.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores de esta comunicación quieren expresar su agradecimiento a la Dirección General de Carreteras (MOPT), y especialmente a D. Juan Lazcano, su apoyo, financiación y permiso para publicar estos resultados. Igualmente quieren agradecer su colaboración a diversos técnicos que intervinieron en la obra: Sres. Millán y Marco (de la asistencia técnica), Soler y Hernández (DRAGADOS y CMZ, constructores de la obra), Sopeña, Valerio, Muñoz, Quero y García Lara (Laboratorio de Geotecnia del CEDEX), así como a las empresas que llevaron a cabo los tratamientos (TERRATEST, S.A., y GEOTECNIA Y CIMENTOS, S.A.).

8. REFERENCIAS

- CUELLAR, V. (1990). «Técnicas geofísicas de reconocimiento del terreno». Curso organizado por el CEDEX (MOPT). Madrid.
- PRIEBE, H. (1976). «Abschätzung des Setzungsverhaltens ein durch Stopfuerdichtung verbesserten Baugrundes». Die Bautechnik, H. S.

were measured for an embankment height H of 3.5 m and with only 2 m of replacement materials (area with little man-made fills).

6. CONCLUSIONS

- The systems for ground treatment chosen have proved effective in stopping problems derived from the presence of dumps and loose soils under embankments varying from 1 to 7.5 m height.
- In not one case did the remaining settlements, once the pavement had been built over the embankments, exceed a value of 6 cm. The time under load of these embankments until the pavement layers were laid were about three months (stone columns and plastic drains).
- The Rayleigh surface wave spectral analysis technique proved to be an excellent method for monitoring this effectiveness in the deformations. The ϵ_r value varied from average figures of 1.8 to 3.5 (dynamic compaction and gravel columns, respectively). At the replacement area the ϵ_r values reached overall figures in the region of

1.5 when only part of the loose soil had been replaced (2-4 m of thickness).

- The measuring of settlements by the continuous line method produced a magnificent result.

7. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors of this paper wish to express their thanks to the Directorate General for Roads (Ministry of Public Works and Transport) and especially to Juan Lazcano for the support, funding and permission given to publish these results. They equally wish to acknowledge the collaboration of several technicians who took part in the work: Messrs Millán and Marco (from the technical assistance section), Soler and Hernández (DRAGADOS and CMZ, the works construction companies), Sopeña, Valerio, Muñoz, Quero and García-Lara (CEDEX Geotechnics Laboratory) and to the firms who carried out the treatments (TERRATEST, S.A., and GEOTECNIA Y CIMENTOS, S.A.).

8. REFERENCES

- CUELLAR, V. (1990). «Técnicas geofísicas de reconocimiento del terreno». Course organized by CEDEX (MOPT), Madrid.
- PRIEBE, H. (1976). «Abschätzung des Setzungsverhaltens ein durch Stopfuerdichtung verbesserten Baugrundes». Die Bautechnik, H. S.

LA REACCION DEL LIDER

"Solamente el LIDER es capaz de alcanzar las cotas más altas".

Más de diez años de experiencia en la tecnología de los betunes modificados y la ejecución de veinte millones de metros cuadrados de distintos pavimentos, junto con un gran esfuerzo de investigación, nos permiten hoy, la presentación de nuestros nuevos productos **SUPERTELCOLASTIC**, una gama de betunes modificados producidos por **REACCION QUIMICA**, cuya virtud principal es la óptima adecuación a cada tipo de tratamiento.

SUPERTELCOLASTIC

Gama de betunes modificados especializados por aplicaciones.

- MEZCLAS DE ALTO PODER DE REFUERZO
- MEMBRANAS ANTIRREMONTA DE FISURAS
- RODADURAS ESPECIALES, ETC.

COMPOSAN
DISTRIBUCION

Tecnología viva

Carretera de San Jerónimo, 14 - 28014 Madrid (91) 522 64 90