

Utilización de jet-grouting para mejorar rellenos urbanos flojos

CARLOS OTEO (*)

LUIS SOPEÑA (**)

RESUMEN. En este trabajo se describen diversas pruebas de mejora de un relleno urbano, no controlado, de muy baja calidad, con abundancia de restos de demolición, vertidos diversos, etc. El tratamiento del terreno se ha realizado con la técnica del jet-grouting o inyección por tobera. Se analizan los resultados obtenidos, a la vista de diversos sistemas de control: Ensayos penetrométricos dinámicos, testificación sónica, etc., en los que se han utilizado cuatro tipos de separación entre los puntos de tratamiento. Como conclusión final se puede decir que el método empleado ha dado resultados magníficos en una aplicación real, en función de la separación de columnas, volumen de inyección, etc.

THE USE OF JET GROUTING TO IMPROVE LOOSE FILLS

ABSTRACT. Several tests are described for improving a very poor quality uncontrolled fill containing an abundance of refuse, solid urban waste, etc. by means of constructing jet-grouted columns. The results are analysed in accordance to the treatment control systems used (dynamic penetrometers, monitoring, etc.) for several different separations and arrangements of the columns. The conclusion drawn highlights the reliability of the method in terms of the objectives pursued and indicates several recommendations on the best type of mesh, separations, control methods, etc. to be applied.

1. INTRODUCCION

La construcción de nuevas vías de comunicación urbana implica, frecuentemente, la necesidad de resolver problemas relacionados con la presencia de rellenos incontrolados y vertederos de magnitud considerable, compuestos por materiales muy diferentes. Se pueden encontrar grandes áreas en los límites de las ciudades en las que existen importantes espesores de vertidos, donde se han acumulado restos de demolición de edificios, echadizos térreos procedentes de excavaciones urbanas, escombros diversos, residuos urbanos e industriales sólidos, etc. Además de los problemas provenientes de la gran repercusión que entraña la deformabilidad intrínseca de estos rellenos de vertidos o escombreras, ha de tenerse en cuenta los derivados de la acción del agua sobre ellos, que pueden generar —eventualmente— arrastres y colapsos por inundación, fenómenos de fluencia, etc.

Normalmente, estos rellenos se localizan, frecuentemente, en áreas en que existen, previamente, vaguadas naturales, antiguas excavaciones para extracción de

áridos, etc., ya que su geometría favorece el vertido de los mismos. Por esa razón interceptan cursos naturales de agua, tanto en el fondo del relleno como en sus laterales, especialmente en el punto de contacto entre el relleno y el terreno original; corrientes que tienden con el tiempo a provocar el colapso mencionado.

2. POSIBLES SOLUCIONES

Este trabajo no pretende ser un estado del arte del problema, dada la longitud impuesta para su extensión, por lo que sólo se enumeran las posibles soluciones que pueden utilizarse.

Puede pensarse, a priori, en varios tipos de actuaciones aplicables a los problemas descritos, además de la posible remoción de los rellenos y su total sustitución por un material adecuado. Sin embargo, puede decirse que en la mayoría de los casos esta solución no es posible. En zonas de alta densidad de edificación y con fuertes espesores de rellenos, la sustitución del material puede hacerse extremadamente costosa, por la afección de las excavaciones a esos edificios, por la distancia a recorrer para llegar a nuevos vertederos, por el coste del material de aportación, etc. Por ello, suele ser necesario adoptar medidas mixtas que incluyan sistemas de tratamiento y mejora profunda del terreno.

Pueden considerarse, inicialmente, varios métodos de mejora profunda del terreno para grandes volúmenes

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

(**) Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de Áreas de Instrumentación y Ensayos de Campo del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX IMOPTI.

de rellenos en casos como el presente: a) Precarga (puede ser muy poco efectiva en el caso de residuos urbanos). b) Compactación dinámica (restringida a los casos en que no existen edificaciones próximas y a aquellos en que sólo se desea mejorar un cierto espesor del relleno). c) Inyecciones (tanto de cemento como químicas, así como las de compactación y las de jet-grouting). d) Columnas de grava (ejecutadas tanto por apisonado como por vibroflotación, con aire y con agua).

En un caso particular, correspondiente a la zona noroeste de Madrid, ha sido necesario resolver un problema específico de ese tipo, derivado de la presencia de rellenos muy flojos sobre una vaguada junto a otros factores condicionantes, como era el tener en cuenta la existencia de un firme viario definitivo que se deseaba conservar y el alto coste que hubiera supuesto la remoción del relleno.

Se consideró, por ello, la posible utilización de la técnica de jet-grouting, a fin de atravesar el relleno y penetrar 1-2 m en el terreno natural, inyectado en retirada hasta 1 m por debajo de la superficie del firme existente. La idea era no apoyarse en las habituales columnas de terreno tratado, sino conseguir una mejora global del relleno, colmatando los grandes huecos existentes en el mismo (entre los restos de demolición, tuberías de plástico, etc.) y obtener la fracturación hidráulica del conjunto, de forma que la inyección penetrara en la masa desde las perforaciones verticales, a manera de pseudópodos. Así podía actuar como un gato hidráulico que comprimiera el relleno en vertical y horizontal, armándolo, además, en las zonas de mezcla de la lechada con el terreno.

El objetivo era, por tanto, obtener un refuerzo general con columnas de relleno mezclado con la lechada de cemento y con los «pseudópodos» de inyección, rellenando huecos, comprimiendo la masa, etc., a fin de transformar el relleno en un material de menor deformabilidad y mayor resistencia frente a efectos del agua.

Este trabajo describe las pruebas realizadas para estimar la eficiencia de este tipo de tratamiento —totalmente novedoso al realizarlo en 1988— y los controles utilizados para medir esa eficacia durante los ensayos y la obra definitiva.

La efectividad de las pruebas se evaluó en términos de los resultados obtenidos en ensayos de penetración dinámica, tipo Borro, y de testificación γ - γ en sondes.

Algunos ensayos se ejecutaron antes de realizar las columnas de jet-grouting, por lo que pudieron compararse con otros llevados a cabo con posterioridad. Aplicando esta metodología, este trabajo analiza los aspectos de diferentes situaciones concernientes a los puntos de tratamiento (distancia entre ellos), volumen de inyección y el posible efecto de anisotropía a un mismo nivel.

3. CARACTERIZACION GEOTECNICA DEL SUBSUELO DEL AREA ESTUDIADA

Desde el punto de vista geológico los rellenos presentes en el área de estudio se sitúan sobre una ancha vaguada natural y otras vaguadas secundarias, cuyos ejes convergen hacia el de la primera, excavadas naturalmente en el sustrato miocénico, construido por facies detríticas típicas de Madrid, principalmente arenas de miga y arenas tosquilas.

La columna litogeotécnica representativa de las condiciones del subsuelo del área, así como los valores del SPT obtenidos en sondes, puede verse en la figura 1. Los datos más importantes sobre granulometría y plasticidad de la fracción térrea pueden verse a continuación.

GRANULOMETRIA	PLASTICIDAD
FASE POR ϕ N.º 200: 20-40%	LIMITE LIQUIDO: 25-40
FASE POR ϕ N.º 40: 50-70%	INDICE PLASTICIDAD: 8-20
FASE POR ϕ N.º 10: 80-96%	CLASIFICACION: SM-SC
FASE POR ϕ N.º 4: 98-100%	

Los rellenos tenían un espesor variable de 8 a 10 m en el área elegida para las pruebas de tratamiento y consistían, básicamente, en una mezcla de terrenos granulares y de abundantes restos de demolición, residuos urbanos, etc. Aunque la distribución por capas variaba, los elementos más desfavorables tendían a encontrarse entre 4 y 7 m de profundidad.

Los rellenos tenían un SPT medio de $N = 5$ a 15 golpes/30 cm. Entre 3 y 7 m de profundidad el parámetro N alcanzaba normalmente valores de 5-10 golpes/30 m.

En la figura 2 puede verse la envolvente de los ensayos Borro realizados en el área hasta penetrar en el terreno natural. De acuerdo con estos resultados la deformabilidad del relleno puede ser representada por un módulo de deformación aparente del orden de 50-75 Kp/cm². Además puede indicarse que el asiento de colapso producido por inundación podía estimarse entre el 5 y el 8 % del espesor del relleno inundado.

La figura 2 muestra la presencia de capas de espesor considerable con resistencia a la penetración del orden de $N_B = 5$ golpes/20 cm y numerosas capas en que esta resistencia era de 10 golpes/20 cm.

A partir de muestras «inalteradas» se obtuvieron datos adicionales, como: a) Densidad seca: 1,53-1,78 gr/cm³. b) Humedad natural: 6-9 % y 10-15 % (niveles diferentes). c) Valores del ensayo Proctor Normal: $W_{opt} = 12$ % y $\gamma_{opt} = 1,9$ gr/cm³ (el material térreo del relleno tenía un grado de compactación del 75 al 90 %). Es muy conocido el hecho de que las formaciones areno-

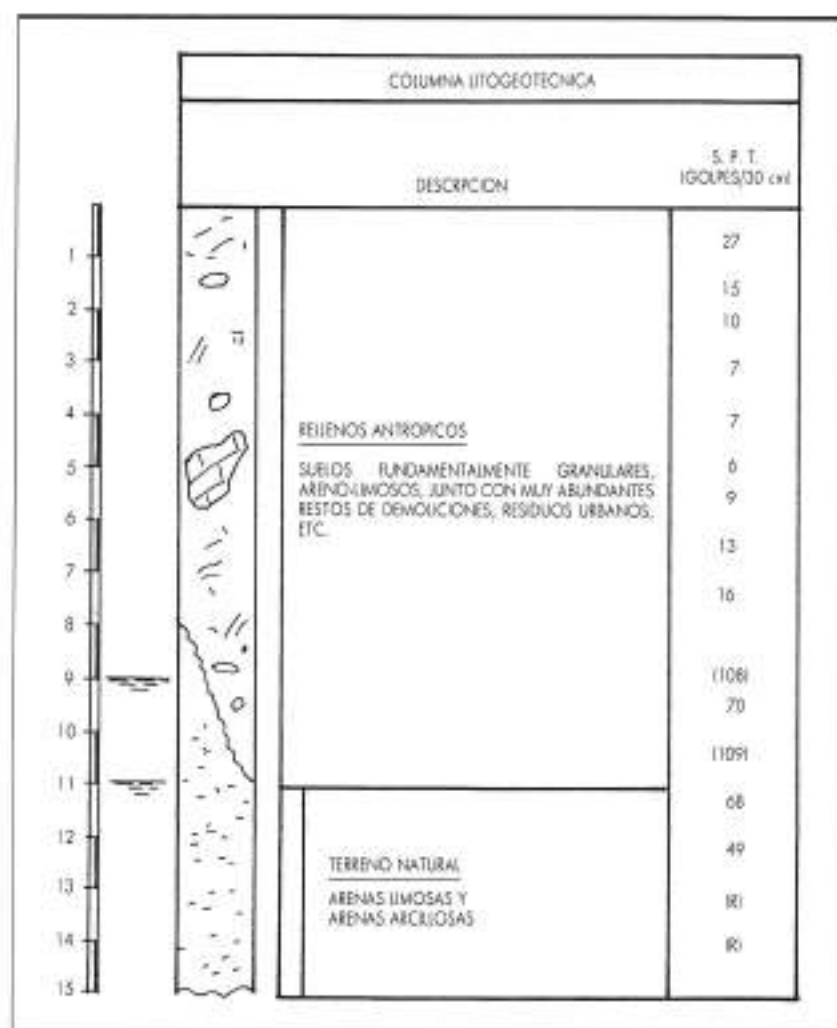


FIGURA 1. Columna tipo y características litogeotécnicas.

sas y areno-arcillosas de Madrid pueden experimentar colapso con este grado de compactación y contenido de humedad (Espinace y Oteo, 1984). Además, la presencia de otros materiales (restos de demolición, tubos de plástico, etc.) dan lugar a un importante volumen de huecos grandes, haciendo que el relleno presente una elevada deformación y un alto riesgo de colapso y erosión.

4. ENSAYOS PRELIMINARES

Antes de empezar el tratamiento masivo del caso en cuestión se realizaron pruebas en dos zonas diferentes: Una representativa de espesor fuerte de relleno (zona A), en que este espesor era el del orden de 10 m, y otra típica de las zonas de menor potencia de relleno (zona C), en que éste era del orden de 5 m.

En cada una de estas zonas se realizaron dos tipos de ensayos (A y C, respectivamente) en que se variaba alguno de los parámetros básicos que gobiernan el sistema de tratamiento, la distancia entre los puntos de tra-

tamiento y el volumen de lechada inyectada. En todos los casos se utilizó una malla de forma de triángulo equilátero, ya que es la que produce una mayor uniformidad de tratamiento alrededor de un punto dado. En todos los casos el área mínima elegida para la prueba era de forma hexagonal, con una perforación en el centro y en cada uno de sus vértices (fig. 3). En la figura indicada puede verse también la situación de los puntos de control.

La figura 4 muestra los resultados obtenidos en la zona A. En general, la conclusión que se obtiene de estos resultados gráficos (expresados como los medidos en la testificación $\gamma-\gamma$) es que la malla de 5 m de lado produce un efecto pequeño con una admisión máxima limitada a 500 kg de cemento por metro lineal de columna y que hay una mejora obvia cuando se usan mallas de 4 y 3 m de lado.

En todos los casos el control representado corresponde a la media de tres ensayos realizados en los puntos indicados (fig. 3). Además de otros aspectos, se

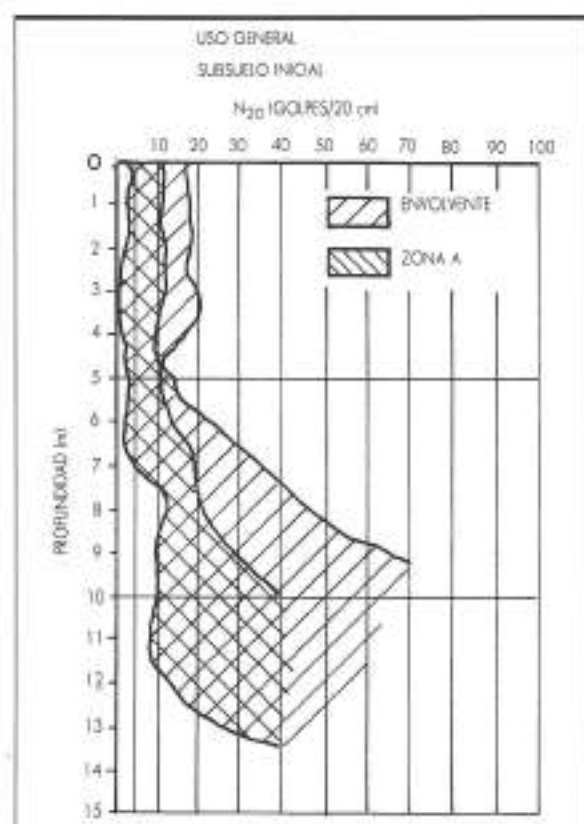


FIGURA 2. Envolvente general de ensayos P. D. Barro terreno inicial.

aprecia un significativo aumento de densidad aparente del terreno tratado, ganancia que se nota más claramente con esta técnica que con los ensayos de penetración (Halkola, 1988).

Un proceso análogo se siguió en las pruebas de la zona C, cuyos resultados se representan en la figura 5.

Cuando se combinaba una mayor apertura de malla con un mayor volumen de inyección o admisión la diferencia entre las dos situaciones extremas era claramente apreciable, mostrando que el procedimiento puede considerarse suficientemente efectivo en cualquier caso. También debe de comentarse que en las zonas en que el espesor de relleno es menor (zona C), aunque se llega a densidades aparentemente mayores, la presencia de escombros era más significativa y el estado inicial no eran tan malo como en la zona A.

Durante todas estas pruebas se controló el movimiento de la superficie del firme existente, mediante sistemas topográficos, midiéndose asentamientos del orden de 2 a 5 mm en todos los casos. Después de las inyecciones se excavaron calicatas para observar el resultado obtenido, con lo que pudo comprobarse que, además de columnas de 50-60 cm, se habían extendido desde ellas diversas capas o «pseudópodos» de lechada de cemento, que reforzaban el terreno (en vertical y horizontal) y rellenaban huecos grandes, habiendo com-

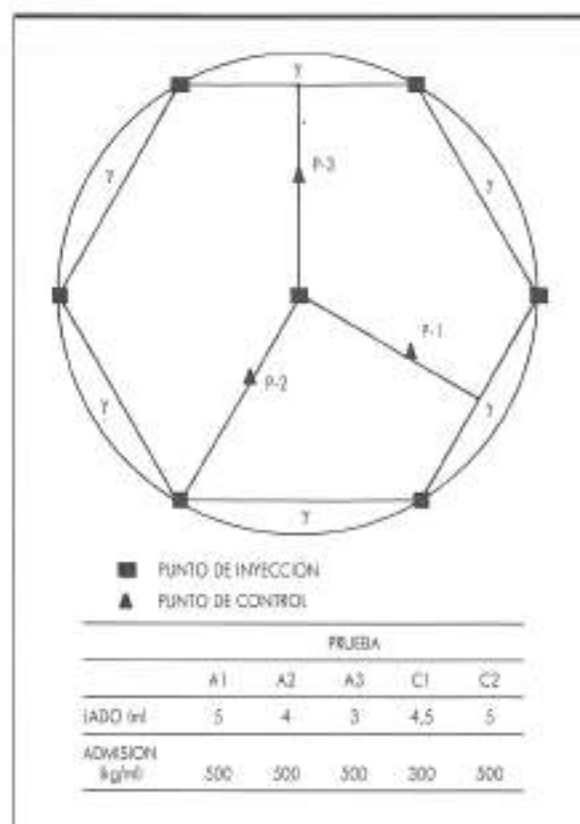


FIGURA 3. Pruebas con Jet-grouting. Zonas A y C.

primido el conjunto. Los «pseudópodos» de lechada, de unos 5-7 cm de anchura, alcanzaban hasta una distancia de 2-3 m desde el eje de las columnas.

5. TRATAMIENTO REALIZADO: RESULTADOS

De acuerdo con las características geotécnicas del subsuelo y del resto de los factores que condicionaban el caso real mencionado anteriormente, se llevó a cabo en ese emplazamiento un tratamiento de mejora del terreno, combinando jet-grouting y columnas de grava (estas últimas en zonas en que no hubiera firme, realizándolas con vibroflotación e inyección de agua, para provocar el colapso de los rellenos). La figura 6 muestra dos tipos de los tratamientos utilizados: La malla triangular general de jet-grouting era, a veces, completada por unas filas perimetrales de columnas de grava, ejecutadas previamente a las inyecciones. Su finalidad era provocar el colapso del relleno, densificarlo y limitar así el volumen afectado por la inyección.

Los efectos del jet-grouting fueron controlados usando testificación por rayos γ en sondeos. A manera de ejemplo de los resultados obtenidos, la figura 7 muestra las envolventes generales —correspondiente a una malla como la de la zona B de la figura 6— de las medidas resultantes antes y después del tratamiento. El

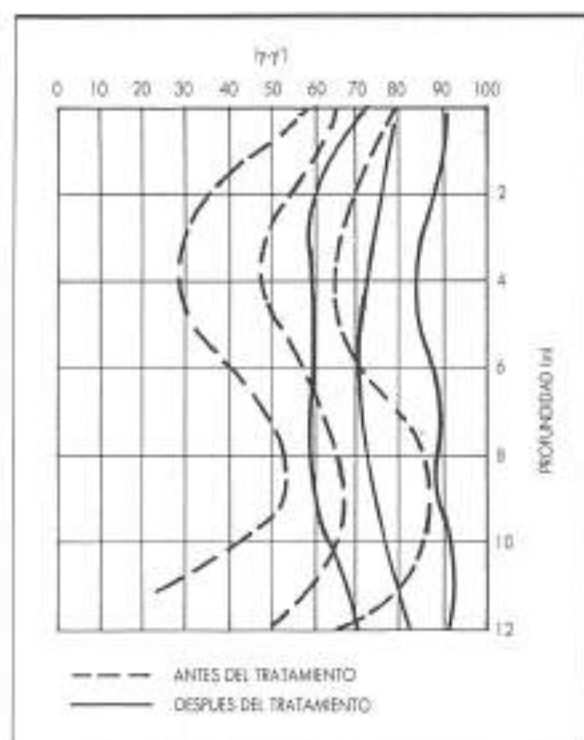


FIGURA 4. Testificación gammagráfica. Gráfica Zona A.

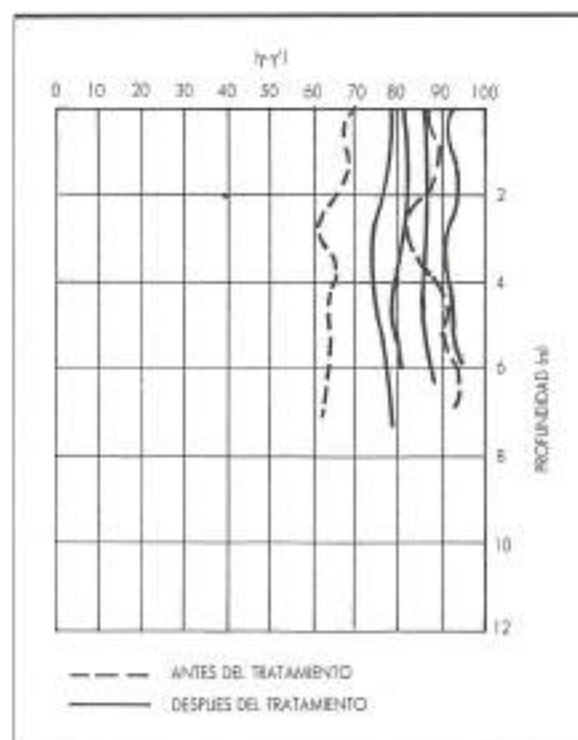


FIGURA 5. Testificación gammagráfica. Gráfica Zona C.

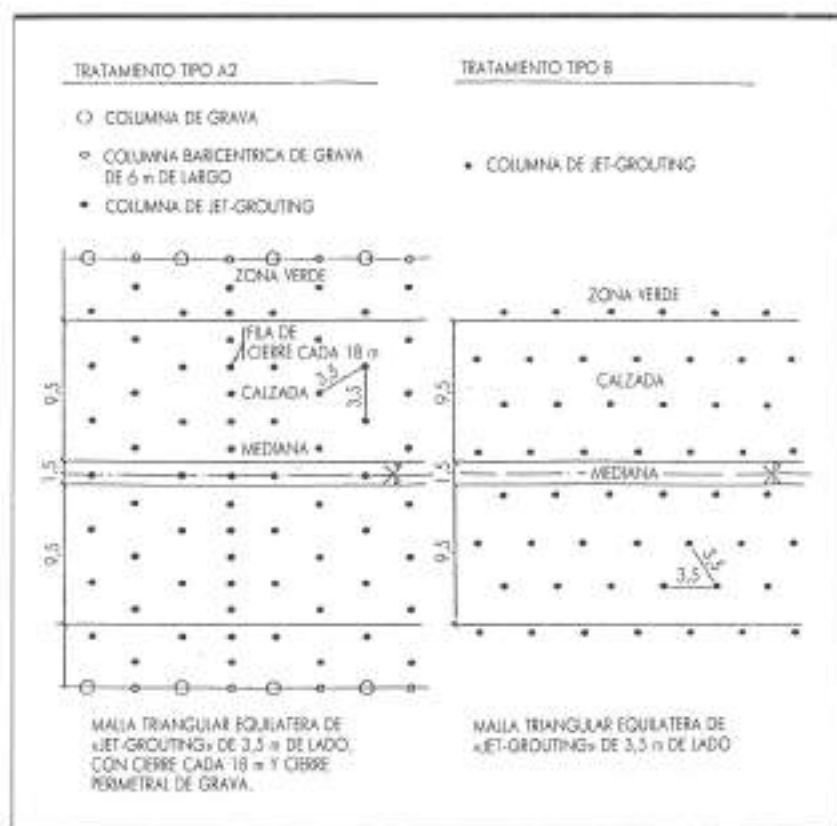


FIGURA 6.

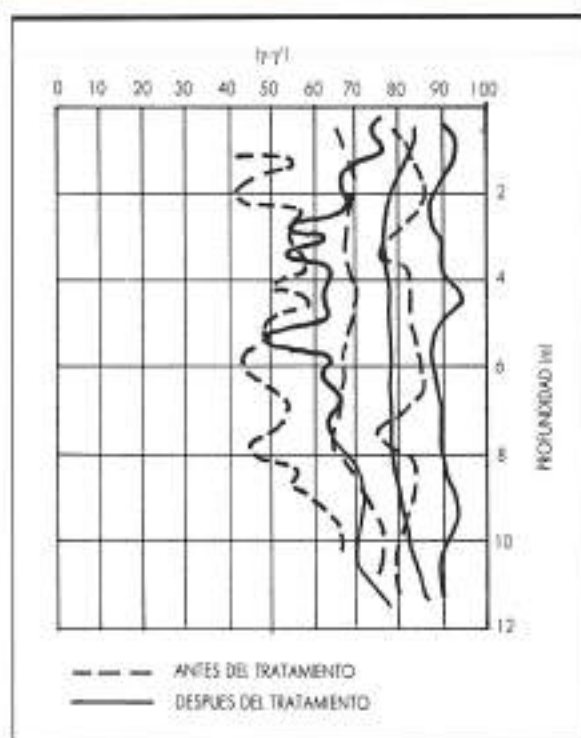


FIGURA 7. Testificación gammagráfica. Gráfica Zona B.

aumento de la densidad aparente media del terreno puede estimarse en un rango del orden del 15 %. Es conveniente señalar que en esa zona no se detectaron huecos o cavidades apreciables durante los sondeos de control

efectuados después del tratamiento. En otras zonas el aumento de densidad aparente media llegó a ser del 25 %.

En lo que se refiere a lo observado directamente en calicatas abiertas para reconocimiento visual, situadas entre columnas, pudo comprobarse cómo la lechada de inyección se apartaba de las columnas, envolvía escombros, rellena huecos, etc., gracias a la energía cinética aplicada a dicha lechada durante la operación de inyección. También se habían introducido en el contacto de capas de diferente naturaleza, como en el de pavimento-relleno (espesor del orden 3-7 cm, con longitudes de 3-4 m).

También se realizaron algunos ensayos geofísicos especiales, utilizando la técnica de las ondas superficiales tipo Rayleigh. Esta nueva técnica indicó una mejora clara en el estado de compactación del terreno, deducida de un aumento del 50-70 % en la velocidad de propagación de ondas longitudinales en la zona superior del relleno (5 m superiores), como se muestra en la figura 8.

Por todo lo anteriormente expuesto, teniendo en cuenta las limitaciones de los métodos de control utilizados, puede concluirse que el tratamiento realizado alcanzó una clara y satisfactoria mejora del relleno que tuvo como resultado una rigidización del mismo.

Los asentamientos del firme fueron controlados a lo largo de más de dos años desde el final del tratamiento, midiéndose valores del orden de 5-10 mm al final de la estabilización de los movimientos. A partir de estos datos y de los anteriores se estima que la mejora alcanzada en el módulo de deformabilidad aparente del relleno fue de unas 5 a 10 veces.

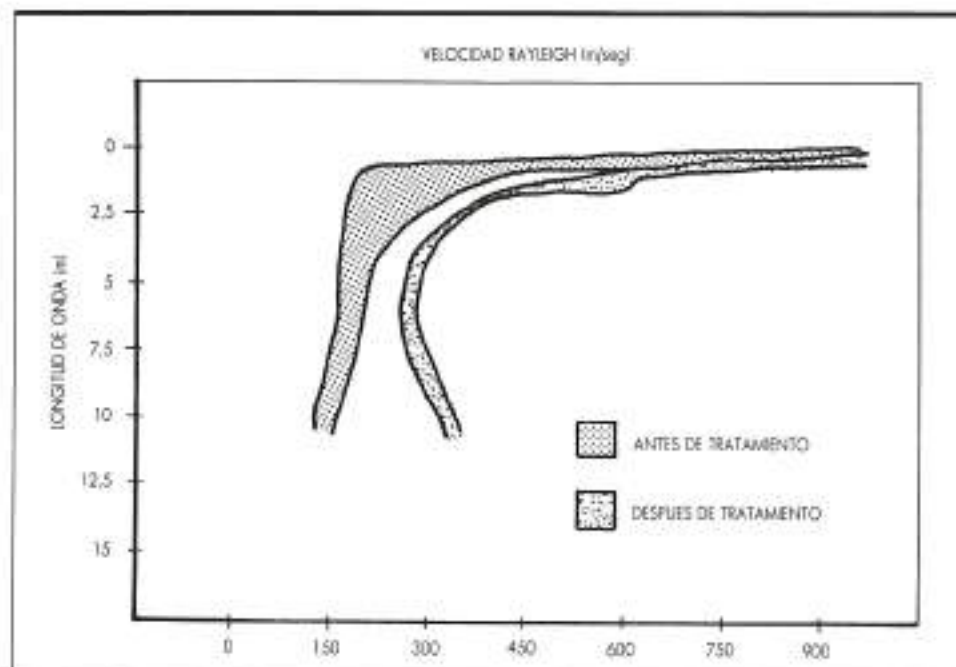


FIGURA 8. Curvas de dispersión en Zona A.

6. CONCLUSIONES

- El método de jet-grouting se ha mostrado como un buen procedimiento para mejorar rellenos incontralados bajo infraestructuras viarias urbanas.
- El pavimento existente sobre el relleno no tuvo que ser removido y pudo entrar en servicio con sólo ligeras reparaciones.
- Las técnicas de control utilizadas se consideran aceptables para la evaluación global del efecto del tratamiento. También puede decirse que la técnica de las ondas Rayleigh constituyen un método muy válido y adecuado para estos efectos.
- Las mallas triangulares que fueron más efectivas tenían de lado de 3 a 4 m. El gasto de cemento durante la inyección fue de 500-600 kg/ml.
- El efecto de este método de mejora incluye tres aspectos básicos: creación de columnas de suelo-lechada; compresión lateral y vertical debida a la penetración de la lechada y la fracturación hidráulica; relleno de huecos a gran distancia desde las verticales de los puntos de tratamiento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento a la Dirección General de Carreteras (MOPT) por su permiso para publicar estos resultados y la financiación de los tratamientos, así como a las empresas encargadas de su realización: Terratest, Rodio, Geocisa y Geoteyco. También quieren agradecer su colaboración a todos aquellos técnicos del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX que intervinieron (señores Delgado, Nicolás y Quero), así como al señor Maldonado (UPM).

BIBLIOGRAFIA

- ESPINACE, R., y OTEO, C. (1984). «Influencia del grado de compactación de rellenos arenosos en su deformabilidad bajo cargas estáticas y cíclicas». Cuadernos de Investigación, C-10, CEDEX.
- HALKOLA, H. A. (1983). «In-situ Investigations of Deep Stabilized Soil». Proc. VIII ECSMFE, vol. 1, 33-37. Helsinki.
- MITCHELL, J. K. (1986). «Practical problems from surprising soil behaviour». Journal of Geotechnical Engineering, vol. 112, núm. 3, ASCE.

GPS

SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL
POR SATELITE

- ★ Obtención instantánea de coordenadas geográficas.
- ★ Georeferenciación para obra civil.
- ★ Actualización rápida y precisa de cartografía.
- ★ Proyectos y realización de trabajos topográficos.

... consulte a n/ Departamento Técnico



GERMAN WEBER, S.A.

HERNÁNDEZ, 102 - TEL: (91) 575 89 57 / 575 88 90 - FAX: (91) 577 98 13 - TELEX: 40208 - 28009 MADRID



RILEM TC-119 TCE

Avoidance of Thermal Cracking in Concrete at Early Ages

MÜNICH - OCTUBRE 1994

DISTRIBUTION LIST

Rilem Secretariat General.

All members of RILEM TC-119 TCE.

Rilem delegates (please take care for publishing):

Mr. Julio C. Caballero / Argentina.

Mr. D. C. Gibson / Australia.

Dr.-Ing. H. Sommer / Austria.

M. J. M. Rigo / Belgium.

Prof. Hern. S. Sobral / Brazil.

Dr. F. R. Clark / Canada.

Prof. Dr.-Ing. P. Schiessl / Germany.

Dr. Karoly Kovacs / Hungary.

Mr. A. V. Lagoda / Russia.

Dr. R. E. Oberholster / South Africa.

M. J. M. Galligo Estévez / Spain.

Dr. F. H. Wittmann / Switzerland.

Dr. I. Dunstan / United Kingdom.

Dr. R. N. Wright / USA.

Chapman & Hall Ltd.

Journals (direct by the chairman).

ACI-Journal.

Beton

Beton- und Stahlbetonbau.

Betonwerk + Fertigteiltechnik.

Cement and Concrete Research.

Materials and Structures.

Österr. Ingenieur und Architekten-Zeitschrift

ÖIAZ.

Zement und Beton.

Zement Kalp Gips.

CALL FOR PAPERS

In the past many problems in concrete constructions have arisen from thermal cracking due to the heat of hydration. Much research work is being carried out in various countries. Thus considerable progress is being made in the

measurement and estimation of thermal stresses in concrete.

An International Symposium on «Thermal Cracking in Concrete at Early Ages» sponsored by RILEM will be organized by the RILEM TC-119 «Avoidance of Thermal Cracking in Concrete at Early Ages» in Munich, Germany, October, 10-12th, 1994.

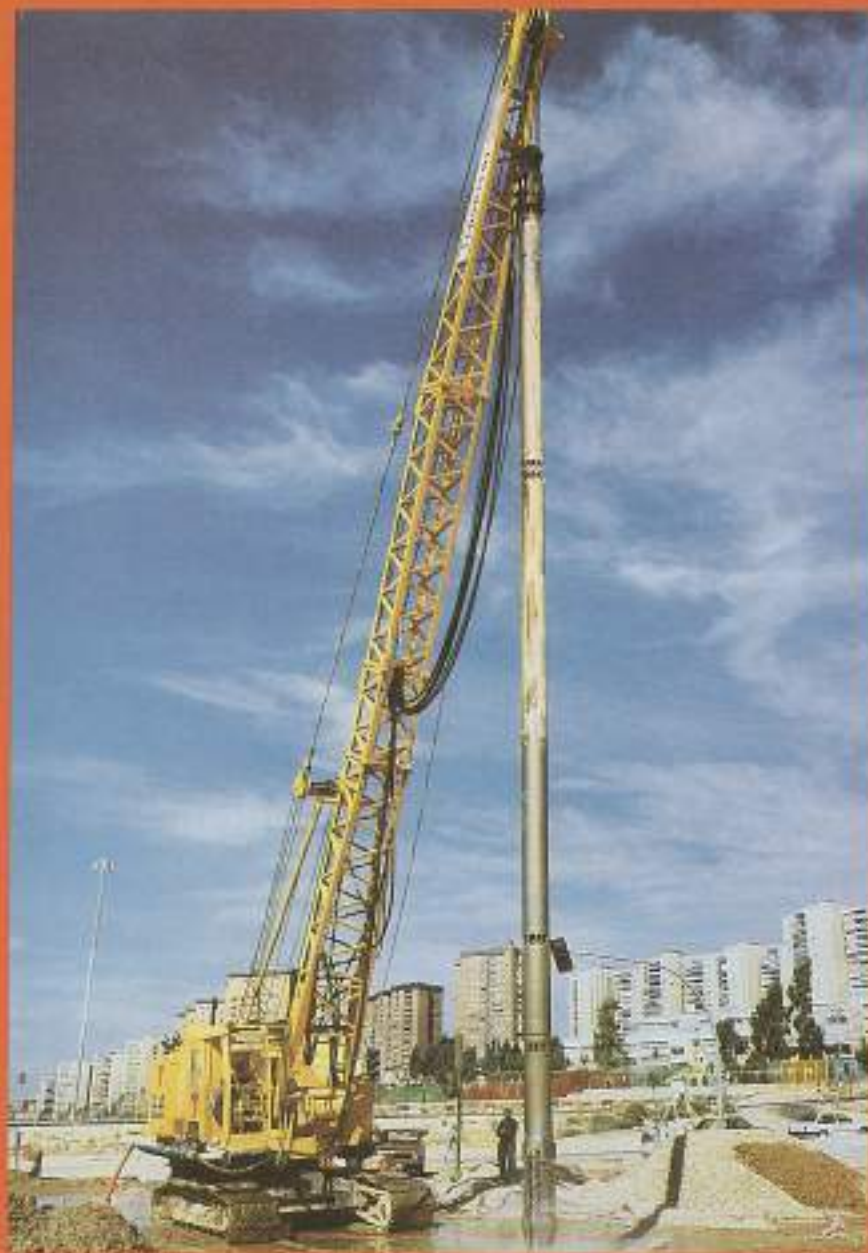
The topics to be covered at this conference are:

- Prediction and in situ measurement of temperature development.
- Concrete properties at early ages:
 - Methods of determination.
 - Modelling.
- Influence of concrete constituents, mix proportions and temperature on cracking tendency of concrete.
- Determination of thermal stresses at early ages:
 - Laboratory methods.
 - In situ measurement.
- Thermal stress generation at early ages (axial-, flexural-, inherent-stresses):
 - Restraint/Boundary conditions.
 - Calculation of stresses.
 - Estimation of cracking risk.
- Practical measures for avoidance of thermal cracking.
- Case records demonstrating new technologies.

Authors are invited to submit abstracts (maximum 300 words) for papers on these topics by July 31st, 1993. The authors will be notified of acceptance by November 1st, 1993, and the full text is due by February 1st, 1994. The language of the Symposium is English. Please submit abstracts to:
Prof. R. Springenschmid, Technical University Munich, Baumbachstraße 7, D 8000 Munich 60, Germany, Tel. (089) 8895 310, Fax (089) 8895 347.



GRUPO
TERRATEST



Tratamiento de mejora del terreno en la Avenida de la Ilustración de Madrid, mediante Vibrosustitución.



TERRATEST, S.A.

- Pilotes prefabricados e "in situ".
- Pantallas continuas.
- Vibroflotación.
- Jet Grouting.
- Técnicas especiales.
- Sondeos geotécnicos.

OFICINAS CENTRALES
Alcala, 86 - 4º. 28014 Madrid
Teléfs.: 577 71 40 - 577 71 50
Telex: 22038 GROUT E
Telefax: 576 98 58



Calle Alejandro Morán, 55
28025 MADRID
Tel. 525 11 87
Fax 525 11 24

Mayor precisión
en longitudes
mayores de
20,00 metros.
Por utilización
de sistemas
hidráulicos.

PERFORACIONES HORIZONTALES EN
SUELOS DUROS Y DIFÍCILES.

PECSA perforaciones

PERFORACIONES Y EXCAVACIONES CASTELLANAS, S. A.

Pídanos presupuesto o
estudio de viabilidad sin
compromiso.

GRUPO IGASPE, S. A.



DOMINIO PÚBLICO



Canal de Payuelos. Realizado con Aditivos para
Hormigón y Desencofrantes BETTOR.

Túnel de Monrepós. Impermeabilizado
con Láminas Delta.

Puente R.E.N.F.E., sobre el río Manzanares.
Reparado con Sistemas BETTOR.

Es ya de **dominio** público la eficacia de los sistemas BETTOR en
un amplio campo de aplicaciones para **Obra Pública**. Nuestra dilatada experiencia
y afán de superación nos otorgan el **dominio** de las más avanzadas tecnologías en Aditivos para
Hormigón y Mortero, Sistemas de Reparación de Hormigón, Láminas Drenantes, Impermeabilización,
y un largo etc. La confianza depositada por los profesionales de **Obra Pública** en
nuestros sistemas nos ha permitido alcanzar el **dominio** en este campo.



BETTOR