

UTILIZACION DE RELLENOS CON LIMOS COLAPSABLES COMO CIMENTACION DE TUBERIAS DE CLASE I^(*)

A. SERRANO

Laboratorio de Geotecnia (CEDEX)

E. DAPENA

Laboratorio de Geotecnia (CEDEX)

I. G.ª PAREDES

INYPSA (España)

En un importante centro de producción de energía, se utilizaron limos como material de relleno, cuyas características y puesta en obra se recogerán en el artículo, en zonas en que, posteriormente, fue necesario utilizarlos como cimentación de tuberías de clase sísmica I, con unos requerimientos estrictos en cuanto a asentos y licuefacción. Para conocer su colapsabilidad, se provocó una inundación del relleno registrando los asentos que se produjeron, e interpretando su comportamiento en el futuro.

1. INTRODUCCION

Las Torres de Refrigeración de Salvaguardia de una Central Nuclear construida en el N.E. de España, están cimentadas sobre un macizo rocoso, pero están rodeadas de un relleno de limos compactados de 20 m de espesor, procedentes de la capa que cubre algunas de las terrazas del río Ebro.

Las tuberías que enlazan estas Torres de Refrigeración con los Edificios Principales de la Central Nuclear son de Clase Sísmica I y, aunque

en un principio se había proyectado cimentarlas independientemente del relleno, posteriormente, por razones económicas, se pensó utilizar éste como apoyo de ellas, por lo que se intentó aumentar su estabilidad, en particular frente a los posibles asentos por colapso del material que constituía el relleno. Para ello se provocó la inundación de la zona, saturando el relleno y, una vez realizado, se hizo un muestreo para determinar el comportamiento futuro del material.



FIGURA 1. Sondeo de reconocimiento en el relleno.

(*) Este artículo es traducción del presentado al Fifth International Congress de la I.A.E.G., Buenos Aires, 1983

2. CARACTERISTICAS DEL MATERIAL UTILIZADO EN EL RELLENO

Según se ha mencionado, el material utilizado en el relleno procedía de las capas de los limos de origen eólico que cubren algunas de las terrazas del Ebro, en las que, además, estaba el emplazamiento de la Central Nuclear. La composición granulométrica y característica de los limos en estas capas se ha recogido en un artículo anterior de Serrano, Dapena y García Paredes (1986).

Para su estudio se realizó un sondeo entre las dos torres de refrigeración en el que se tomaron muestras cada dos metros, Figura 1, resultando que el relleno está formado por una capa superior de limos, entre 0 y 12 m de profundidad, una capa de limos con grava entre 14 y 16 m, y nuevamente una capa de limos entre 16 y 20 m.

2.1. GRANULOMETRIA DEL MATERIAL

En la figura 2 se recogen las curvas granulométricas de las muestras obtenidas en el sondeo. En las denominadas capas de limos, superior e inferior, el porcentaje de gruesos retenidos por el Tamiz ASTM nº 10, por tanto con un tamaño

superior al considerado arena, es inferior al 6%, mientras que en las capas de limos con gravas y gravillas, éstas se sitúan entre el 16 y el 20%.

El contenido en finos, pasando por el tamiz ASTM 200, varía entre el 72 y el 86% en la capas con limos, y con una proporción inferior entre el 60 y el 66% en las capas de gravas con limos. Esta proporción de finos implica que el comportamiento de todo relleno, en lo que a compresibilidad se refiere, está gobernado por ellos, de ahí que para el estudio se generalicen en toda la capa los resultados de los ensayos obtenidos con limos.

El contenido en arcilla (tamaño inferior a 2μ), es bastante uniforme en todas las muestras, figura 2, variando entre el 14 y el 18%.

En la figura 3 se recoge la situación de las muestras del relleno, en función de su contenido en arcilla, limo, y los elementos de tamaño mayor.

2.2. COMPOSICION MINERALOGICA

Se ha determinado la composición mineralógica de una serie de muestras tomadas en las capas de limos naturales de donde procedían los utilizados



FIGURA 2. Granulometría de las muestras obtenidas en el relleno.

SDM3FR

TOTAL STATION

with electronic angle sensor for auto-reduction



**INFORMESE DE LOS MODERNOS
SISTEMAS TOPOGRAFICOS
SOKKISHA**

Distribuidor exclusivo para
España:
ISIDORO SANCHEZ, S.A.
— Ventas
— Reparaciones
— Alquiler
— Servicio técnico post-venta
Ronda de Atocha, 16
Tels. 229 38 34/467 61 28
28005 Madrid

SOKKISHA



TABLESTACAS

LARSEN, RZ & ROMBAS

SACILOR

En primera línea de las grandes obras
marítimas, terrestres y fluviales



TECNICOM, S.A.

Filial de DAVAL (Grupo SACILOR - FRANCIA)
Ayala, 120 - 1.º - 28006 MADRID
Tels. 435 95 80 - 435 90 37 - 435 91 06
Telex: 27378 TECOM-E

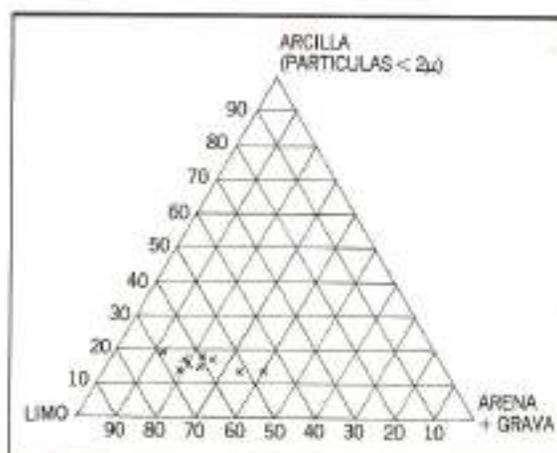


FIGURA 3. Componentes de los limos del relleno.

en el relleno, la diferencia principal con estos estaba en la proporción de grava y gravilla añadida, presentes en una zona, por tanto los datos obtenidos pueden representar la composición de las capas de limos y del material fino existente en la zona de limos con grava.

Se determinó en ellas el contenido en carbonatos, midiendo el contenido en CO_2 , y expresándolo como calcita, $CO_3 Ca$, también se determinó el contenido en sulfatos, cuantificando el contenido en SO_3 , y expresándolo luego como $SO_4 Ca + 2H_2O$, y por último, se tomó como fracción arcillosa, la constituida por partículas con tamaños inferiores a 2μ , determinada mediante análisis granulométrico por sedimentación. El

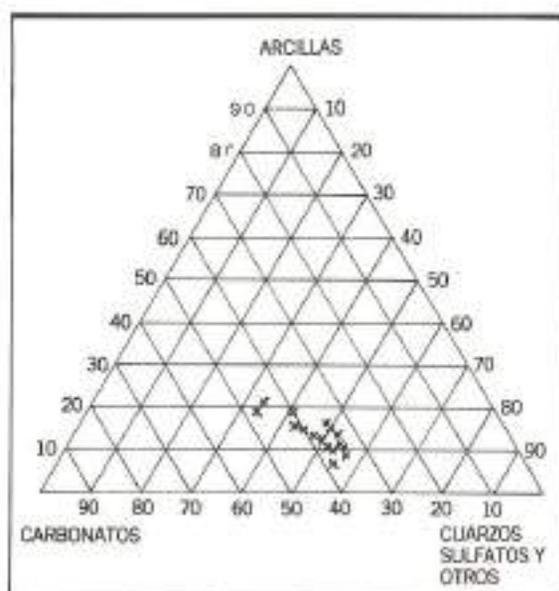


FIGURA 4. Composición mineralógica de los limos.

resto del material está constituido fundamentalmente por cuarzo.

La distribución de los resultados de los ensayos se recoge en la figura 4. La composición media, puede corresponder con una proporción de arcillas en torno al 13%, una cantidad muy baja de sulfatos, en torno al 1,6%, y una fracción limosa constituida fundamentalmente por carbonatos y cuarzo, estos en proporción superior a aquellos.

2.3. PLASTICIDAD

En la figura 5 se recogen los límites de Atterberg de las muestras analizadas, tanto las tomadas en la capa de limos naturales, como las tomadas en el relleno.

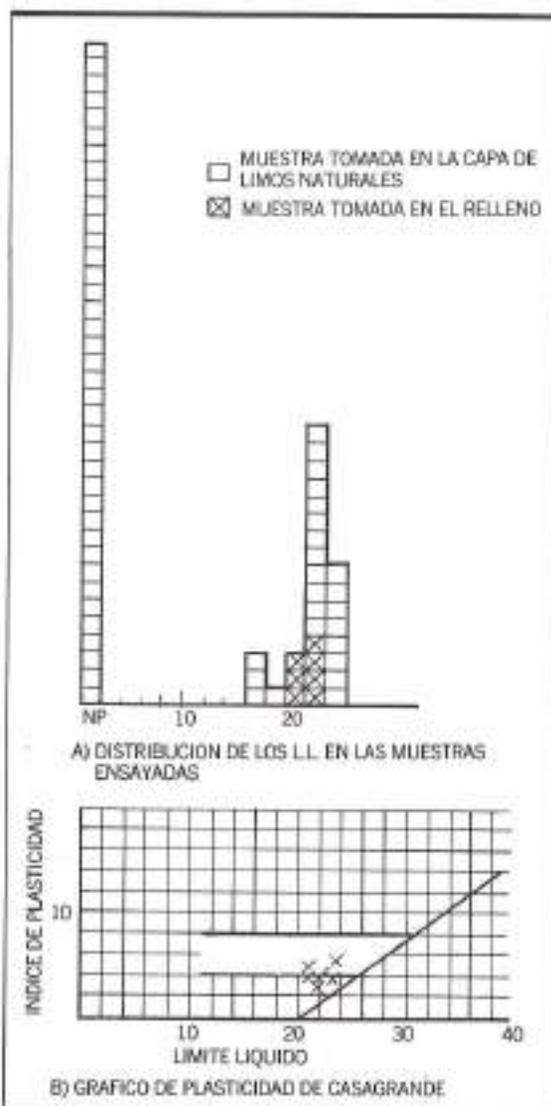


FIGURA 5. Plasticidad de las muestras del relleno de limos.

Aproximadamente la mitad de las muestras no tienen plasticidad, figura 5a y dentro de las plásticas, los límites líquidos están comprendidos, entre 19 y 26, clasificándose de acuerdo con su situación del gráfico de Casagrande, figura 5b, como limos o arcillas de baja plasticidad.

Los finos de las muestras tomadas en el relleno todas ellas son plásticas, figura 5a, obteniéndose unos límites líquidos comprendidos entre 20 y 24, denotando la influencia de la componente arcillosa que, según se había recogido anteriormente, estaba por encima de la media en la capa de limos naturales.

3. DENSIDAD DE LOS LIMOS COMPACTADOS

Con limos de características similares a las de la capa superior e inferior del relleno, se formaron con cuatro humedades diferentes 4,9, 7,9, 11 y 14,5 cuatro muestras que se compactaron con la energía del ensayo Proctor Modificado. Las densidades alcanzadas en cada una de ellas se recogen en la figura 6.

De estos resultados se deduce que la humedad óptima de compactación es de 11,4%, para la que se obtiene la densidad máxima de $\gamma_d = 1,98 \text{ gr/cm}^3$ figura 6.

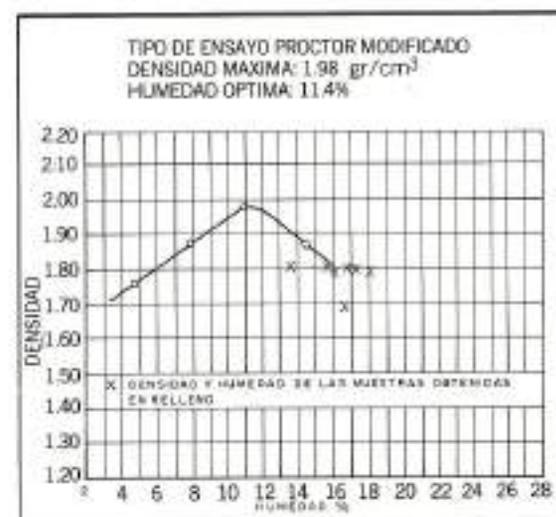


FIGURA 6. Resultados del ensayo Proctor Modificado.

4. DEFORMACIONES DE LOS LIMOS

Se hicieron ensayos edométricos sobre muestras de limos naturales, con densidades comprendidas entre el 77 y el 85% de la máxima conseguida en el ensayo Proctor Modificado, y con un grado de saturación inicial inferior al 50%. Se hicieron dos grupos de ensayos, en uno se ensayaron

muestras con su humedad inicial que se saturaron bajo una carga determinada Figura 7, comparando con el comportamiento de una muestra saturada. En el otro se ensayaron muestras con densidad superior figura 8, en estado saturado y con la humedad natural.

Los limos en estado natural, con un grado de saturación inferior al 50%, se comportan como terrenos sobreconsolidados, Figura 7, a pesar de

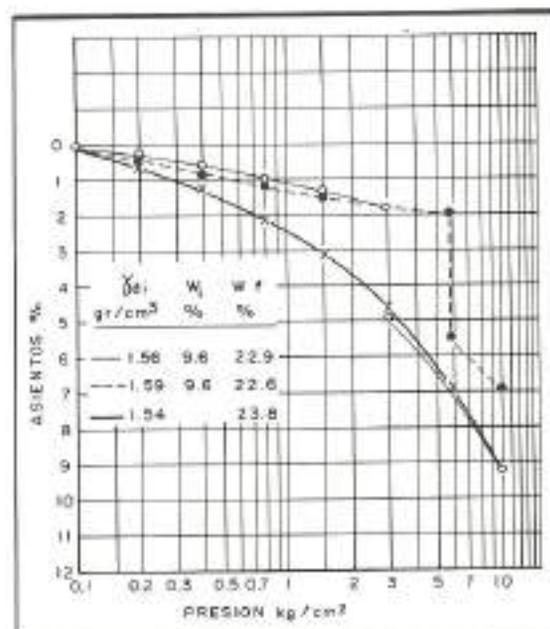


FIGURA 7. Deformabilidad de los limos y asiento por colapso.

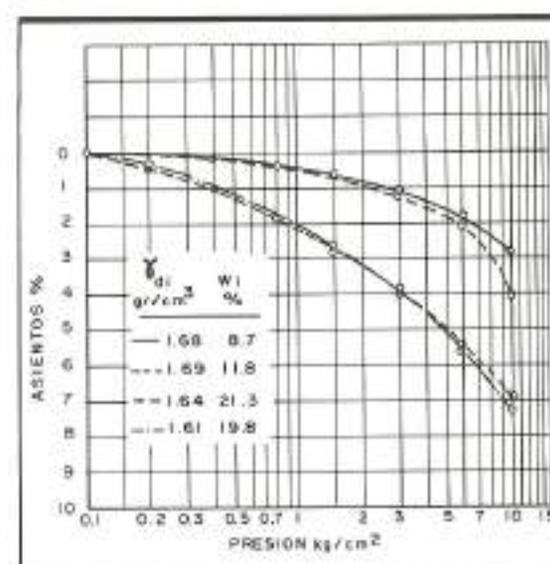


FIGURA 8. Deformabilidad de los limos en estado seco y saturado.

su baja densidad, entre el 77 y el 80% del Proctor Modificado, mostrando deformaciones, bajo una carga de 2 Kg/cm², en torno entre 0,8 y 1,7%, figuras 7 y 8.

Estos limos al saturarlos bajo carga colapsan hasta alcanzar, de forma aproximada la magnitud del asiento que tienen cuando están saturados, figura 7, incrementando el asiento por colapso, bajo una carga de 2 Kg/cm², del 1,7 al 3,7%.

5. ASIENTOS DEL RELLENO

5.1. DENSIDAD DEL RELLENO

Las densidades de las muestras obtenidas en el relleno mediante el sondeo realizado se recogen en el Cuadro 1. La densidad seca media del relleno, prescindiendo del valor más bajo obtenido en superficie, se puede considerar de $\gamma_d = 1,81 \text{ gr/cm}^3$, lo que representa un 91% de la densidad máxima conseguida en el ensayo Proctor Modificado.

PROF m	DENS. SECA gr/cm ³	HUMEDAD %	GRADO DE SATURACION %
2.60	1.69	16.8	73
4.60	1.84	16.2	98
6.60	1.80	13.8	72
8.80	1.81	16.0	90.5
10.60	1.82	17.0	92
17.60	1.82	18.7	100
20.00	1.78	17.9	97.6

CUADRO 1. Densidad, humedad de las muestras tomadas en el relleno después de la inundación.

5.2. HUMEDAD DEL RELLENO

En el Cuadro 1 se recogen también las humedades de las muestras tomadas después de la inundación del relleno, por lo tanto con un grado de saturación muy elevado, en general por encima del 90%.

Las humedades con que se colocó el relleno en obra se recoge en la figura 9, oscilando entre el 3 y el 12%, pudiéndose tomar como valor medio característico el 7% que representa aproximadamente un grado de saturación en torno al 50%.

5.3. MOVIMIENTOS DEL RELLENO

En estas condiciones, se esperaba que si aumentaba el grado de saturación se produjera el asiento debido al aumento de carga, al tener mayor densidad húmeda, pero sobre todo un fuerte asiento por colapso, que con densidades

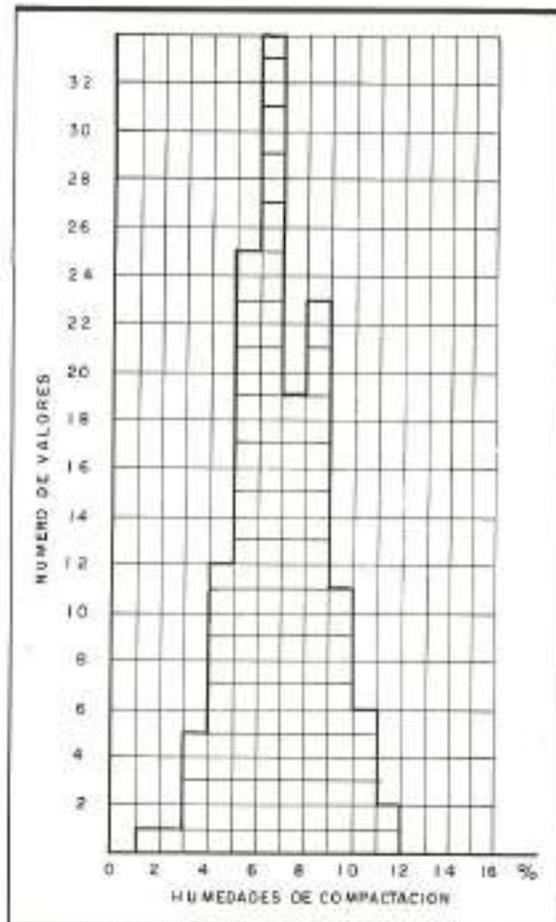


FIGURA 9. Distribución de las humedades de compactación "in situ".

bajas, en torno a 1,60 gr/cm³, podría estimarse, de acuerdo con los ensayos edométricos, que para una carga media de 2 Kg/cm² fuera aproximadamente del 2%.

Se provocó la inundación del relleno y únicamente se pudo tomar como referencia la magnitud del descenso de las escaleras apoyadas en las torres de refrigeración, asiento que podría cifrarse en torno a 20 cm, lo que representa un asiento medio por colapso del relleno, en torno al 1%. Movimiento que hubiera sido inadmisibles en el caso de estar colocadas las bases de las tuberías, pudiendo darse la paradoja de llegar a haber estado colgadas de ellas en lugar de ser soporte.

Después de saturar el terreno, y provocar el colapso, se realizaron medidas de los movimientos que todavía podían producirse, para determinar cuándo estaban estabilizados y proceder a colocar los apoyos.

Los puntos de medida se recogen en las figuras 10 y 11, así como los movimientos registrados

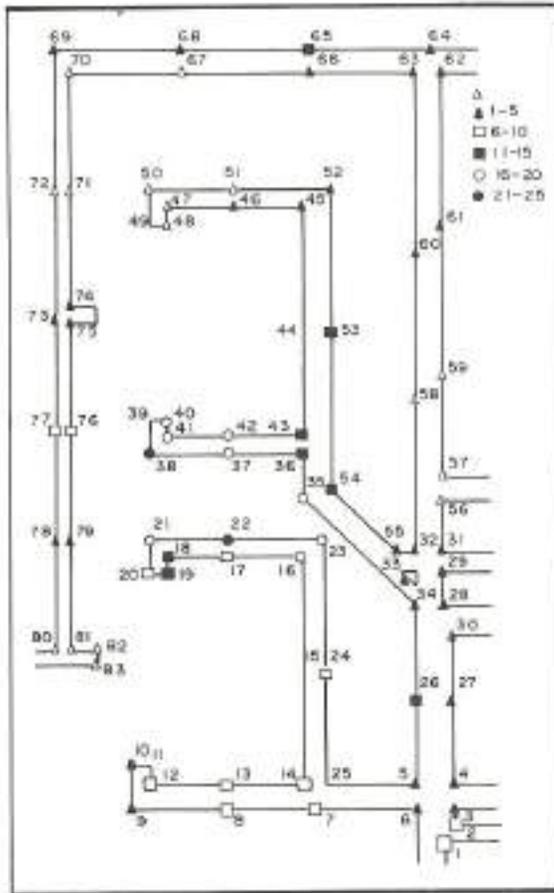


FIGURA 10. Resultados de las nivelaciones realizadas sobre puntos situados en las zanjas colocadas en el relleno de limos compactados.

en el terreno ya saturado. Los movimientos máximos en seis meses se produjeron en la zona entre las dos torres, midiéndose entre 16 y 25 mm, lo que sitúa el asiento en torno al 1 por mil.

La evolución del movimiento en estos puntos se recoge en la figura 12, observándose un asentamiento continuado durante seis meses, y un descenso brusco en febrero, del orden el 0,5 por mil en los puntos máximos, coincidiendo con inundaciones provocadas por las lluvias. Es después de estas inundaciones cuando se tomaron las muestras del relleno que se estudian.

6. EVOLUCION POSIBLE DE LOS ASIENTOS EN EL RELLENO

6.1. ANALISIS DEL ASIENTO

El asiento puede expresarse por la siguiente ecuación:

$$a = a^r + a (S_f - S_0) \cdot [1 + \alpha]$$

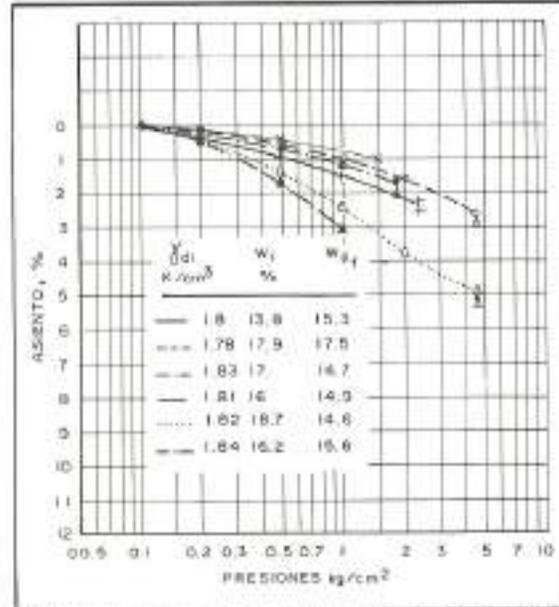


FIGURA 11. Asiento de las muestras tomadas en el terreno después de la inundación. Deformación con la saturación bajo presión.

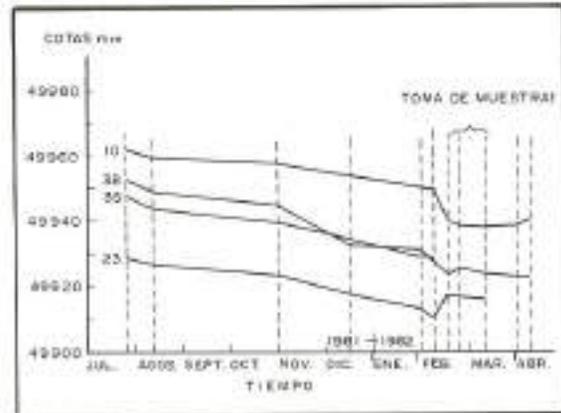


FIGURA 12. Evolución de los asentamientos de cuatro puntos, situados en los muros de las zanjas, de la zona entre torres.

en donde:

a_r = asiento residual que queda por producirse debido a:

- Consolidación del relleno (si queda algo).
- Asiento residual de carácter viscoso debido a los cambios de humedad que ha sufrido el relleno en el pasado.

$a (S_f - S_0)$ = Asiento de colapso instantáneo que se producirá si el grado de saturación actual S_0 pasa a ser mayor (S_f).

α = Relación entre el asiento retardado de carácter viscoso y el asiento instantáneo en el fenómeno de colapso.

REF. CAMPO	REF. LAB.	PROF. m.	CARGA INUND. Kg/cm ²	γ_s gr/cm ³	γ_d gr/cm ³	W _i %	W _f %	e _i	e _{fd}	e _w	$\frac{e_{fo} - e_{w\%}}{1 + e_{fd}}$ %
M-1	98058	2.60	0.50	2.80	1.69	16.8	20.9	0.656	0.643	0.639	2.43
M-2	98059	4.60	1.0	2.81	1.79	16.3	18.3	0.571	0.558	0.555	1.92
M-3	98060	6.60	1.5	2.79	1.80	13.8	15.3	0.550	0.532	0.527	3.26
M-4	98061	8.60	1.9	2.745	1.81	15.9	14.8	0.518	0.486	0.477	6.10
M-5	98062	10.60	2.4	2.78	1.82	16.9	14.5	0.531	0.465	0.464	0.78
M-9	98065	17.60	4.0	2.76	1.82	17.1	15.5	0.519	0.431	0.428	2.09
M-10	98066	20.00	4.5	2.766	1.78	17.9	17.5	0.552	0.508	0.507	0.6

CUADRO 2. Resultado de los ensayos edométricos sobre muestras de relleno.

Por otra parte, se puede expresar:

$$a(S_r - S_o) = a(100 - S_o) \cdot \left[1 - \frac{a(100 - S_r)}{a(100 - S_o)} \right]$$

$$a(S_r - S_o) = \beta \frac{S_r}{S_o} \cdot a(100 - S_o)$$

$$\text{con } \beta \frac{S_r}{S_o} = 1 - \frac{a(100 - S_r)}{a(100 - S_o)}$$

Se tiene finalmente:

$$a = a_r + a(100 - S_o) \cdot \beta \frac{S_r}{S_o} (1 + \alpha)$$

en donde $a(100 - S_o)$ es el asiento instantáneo que se produce cuando se satura totalmente la muestra en el laboratorio.

$\beta \frac{S_r}{S_o}$ es un coeficiente reductor ≤ 1 , ya que supone que el relleno sólo se satura hasta un $S_r\%$.

En primera aproximación se sugiere

$$\beta \frac{S_r}{S_o} = \frac{S_r - S_o}{100 - S_o}$$

6.2. ASIENTO RESIDUAL a_r

Las curvas de asientos que se obtienen de las mediciones "in situ", reflejan la variación de a_r . Al cabo de nueve meses parece que este asiento está estabilizado.

6.3. ASIENTO DE COLAPSO INSTANTANEO PARA SATURACION TOTAL, $A(100 - S_o)$

Los asientos por colapso registrados en las muestras ensayadas, cuyas características se recogen en el Cuadro 1, y que en general tenían un grado de saturación superior al 90%, oscilan entre 0,66 por mil y 6,1 por mil, Cuadro 2, pudiendo tener como valor característico 2 por mil. El valor menor, 0,60 por mil, se ha obtenido en la muestra tomada a mayor profundidad, por debajo de la capa freática, con un grado de saturación próximo al 100%, Cuadro 1.

6.4. FACTOR α

No se sabe prácticamente nada del valor de α . Algunas experiencias con limos muy yesíferos indican que α es en estos casos del orden de 1.

Para los limos aquí estudiados en que el contenido de yeso es muy bajo, el factor α debe serlo también.

7. CONCLUSIONES

Se ha estudiado el comportamiento como relleno, de limos que tienen aproximadamente entre un 14 y un 18% de partículas inferiores a 2μ , un bajo contenido en sulfatos, menor del 2% y un contenido en finos de calcita en torno al 38%.

Es un material plástico, con un límite líquido entre 20 y 24. Con la energía del Proctor Modificado se obtiene la densidad máxima, $\alpha_d = 1,98$ gr/cm³, para una humedad óptima del 11,4%.

Estos limos son colapsibles. Con densidades del orden del 80% del P.M. al pasar de un grado de saturación del 50 al 100%, bajo una carga de 2 Kg/cm², el asiento aumenta de 1,7% a 3,7%.

Como relleno, con densidades en torno al 90% del ensayo P.M., 1,81 gr/cm³, colapsan al pasar el grado de saturación del 50 al 90%, registrándose asientos en torno al 1%.

El asiento futuro, después de una saturación casi completa, se puede considerar formado por dos sumandos, un asiento residual y un asiento por incremento de la humedad hasta la saturación total.

El asiento residual, por las mediciones realizadas, se habría estabilizado al cabo de nueve meses, alcanzando una magnitud máxima del 1%.

El asiento por incremento del grado de saturación determinado en laboratorio, podría alcanzar todavía una magnitud del 2%.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a la empresa eléctrica FECSA, por su colaboración en el trabajo y por permitir su publicación.

REFERENCIAS

SERRANO, A., DAPENA, J.E., G^a PAREDES, I., 1986. "Limos de las Terrazas del Ebro como Material de Terrapienes". Simposio sobre Terrapienes, Pedrapienes y otros rellenos. Madrid 4 y 5 de Marzo.



PEDIDOS: Contra reembolso — Cheque adjunto

COMPUTERS IN CONSTRUCTION PLANNING AND CONTROL.

M.J. Jackson —15350—
1986 185 págs. 7.950 IVA INCLUIDO

CONTENIDO: Planning and control in the construction industry. The desing of projejc plans. The Network model. Graphics as an aid to interaction. Some non - graphical planning aids. Programming the graphics. The control of projects.

COMPUTER TECHNOLOGY IN COSNTRUCTION

I.C.E. —9774—
1986 308 págs. 5.936 IVA INCLUIDO

CONTENIDO: The Structure of the Industry Growing complexity of design and construction. Information Management. Office systems. Computers and the profession. Education of the computer user. Guidelines for evaluation. Advances and application.

MICROESTIMATING FOR CIVIL ENGINEERS

R.D. Stewart —13005—
1986 385 págs. 8.895 IVA INCLUIDO

CONTENIDO: Microcomputers in civil engineering. Estimating fundamentals. Integrated applications for estimating. The work structure in estimating. Spreadsheet based estimating. Choosing the right systems.

NUMERICAL METHODS. (For computer science, engineering mathe)

MAHEWS, J.H. —17838—
1986 Ed. 507 págs. 7.738 IVA INCLUIDO

CONTENIDO: mathematical preliminaries. The solution of non linear equations $f(x) = 0$. Direct methods for solving linear systems. Numerical interpolation and extrapolation. Curve fitting. Numerical diferentiation and optimization. ETC.

MICROCOMPUTER-AIDED ENGINEERING. Structural Dynamics.

Paz, M. —14634—
1986 Ed. 321 págs. 11.660 IVA INCLUIDO

CONTENIDO: Preface. - Programs for Structures Modeled as a One-Degree-of-Freedom System by the Simple Oscillator. - Programs for Modeling structures as Multidegrees-of-Freedom System. - Programs for Structures Modeled as Multidegree-or-Freedom Systems. - Index.

A STRUCTURED APPROACH TO BUILDING PROGRAMS: Cobol.

WELLS. —15792—
1986 342 págs. 4.963 IVA INCLUIDO

COMPUTER ANALYSIS METHODS POWER SYSTEMS.

Heydt, G.T. —12866—
1986 Ed. 359 págs. 10.388 IVA INCLUIDO

CONTENIDO: Introduction. - Power System Matrices. - Programing considerations. - Power Flow Studies. - Approximate, FAST, and SPECIAL PURPOSE POWER flow studies. - Optimal Dispatch. - Fault studies. - Power system Stability. - Stochastic Methods in Power Systems Analysis. - Appendices. - Index.

COMPUTATIONAL NUMERICLA METHODS.

Phillips, C.—15325—
1.986 Ed. 375 págs. 12.932 IVA INCLUIDO

CONTENIDO: Introduction. Non-Linear algebraic equations. Linear simultaneous equations. Approximation of continuous functions. Approximation of numerically defined functions. Numerical integration. Ordinary differential equations, etc.

FUNDAMENTALS OF INFORMATIONS TECHNOLOGY. (PP)

Wilkinsor, g.g. —20122—
CONTENIDO: Computer Systems. - Software engineering. - Information Management Systems. - Intelligert Systems. - The man Machine Interface. - Referencie. - Index.

INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE BASES DE DATOS.

Dats, C.J. —14238—
1986 Ed. 648 págs. 4.579 IVA INCLUIDO

CONTENIDO: Arquitectura de los sistemas de bases de datos. El enfoque relacional. El enfoque jerárquico. El enfoque de redes. Revisión de los tres enfoques.

FRACTURE FATIGUE CONTROL STRUCTURES

Barsom, J.M. —17818—
1987 Ed. 628 págs. 12.084 IVA INCLUIDO

CONTENIDO: Overview of the Problem of Fracture and Fatigue in Structures. - Stress Analysis for Members with Cracks. - Experimental Determination of K and Other K Values. - Effect of Temperature, Loading Rate, and Plate Thickness on Fracture Toughness. - Correlations Between Fracture Mechanics Design. - Introduction To Fatigue. - Fatigue-Crack Initiation. - Fatigue-Crack Propagation under Constant-Amplitude Load Fluctuation. - Fatigue-Crack Propagation under Variable-Amplitude Load Fluctuation. - Stress-Corrosion Cracking. - Corrosion-Fatigue-Crack Initiation. - Corrosion-Fatigue-Crack Propagation. - Fatigue and Fracture Behavior of Welded Components. Fracture Criteria, etc..