

Un nuevo modelo de extensómetro amovible

MICHEL BUSTAMANTE (*)

RESUMEN Después del año 1972, año de la puesta a punto del extensómetro amovible de los LPC y de sus primeras utilizaciones, han sido realizadas centenares de pruebas de carga a escala natural sobre pilotes de todos los tipos, dotados de este aparato. El extensómetro amovible reveló rápidamente su superioridad en el campo de la economía, la facultad de adaptación a los diferentes tipos de cimentaciones profundas, la simplicidad de colocación, así como de la calidad de las mediciones. Las ventajas que aun hoy sigue ofreciendo, han incitado a mejorar algunas de sus características, tales como la velocidad de montaje y desmontaje y el número de niveles de medición. El nuevo extensómetro MVL-P50 cumple esas condiciones y resulta claramente más idóneo para la instrumentación de los pilotes de muy grandes longitudes.

A NEW MODEL OF REMOVABLE EXTENSOMETER

ABSTRACT Since 1972, when the removable extensometer of the LPC was developed and put to use for the first time, hundreds of full-scale loading tests have been carried out on piles of all kinds, using this apparatus. The removable extensometer rapidly revealed its superiority as regards economy, possibility of adaptation to the distinct types of deep foundations, ease of positioning, as well as the quality of the measurements it produces. The advantages it continues to offer nowadays have lead to some of its characteristics being enhanced, such as the speed of assembly and disassembly and the number of measurement levels it provides. The new MVL-P50 extensometer fulfils all these conditions and clearly proves to be more suitable for the implementation of piles with dimensions of considerable length.

Palabras clave: Extensómetro; Pilotes; Cimentaciones; Mediciones; Niveles.

1. INTRODUCCIÓN

El interés que ofrece la prueba de carga (o de arrancamiento) a escala natural es evidente y reconocido hoy por todos los especialistas. En la medida en que se realiza sobre una cimentación real en las condiciones de una obra correctamente dotada de instrumentos de medición y conociendo las características de resistencia de los suelos, los datos extraídos de dicha prueba constituyen una mina de informaciones. Al nivel de la obra (Ref. 1), las conclusiones y extrapolaciones ofrecidas por este tipo de pruebas no dejarán de convencer a quienes incumben la tarea de realizar la cimentación y garantizar su estabilidad. Al nivel de la investigación, facilitará los datos experimentales esenciales con miras al reajuste de los métodos de dimensionamiento (Ref. 2) existentes y, a veces también, los elementos de reflexión susceptibles de desembocar en innovaciones tecnológicas y favorecer su difusión.

Desde 1972, año de la puesta a punto del primer modelo de extensómetro amovible y de sus primeras utilizaciones (Ref. 3), centenares de pruebas de carga a escala natural han sido realizadas por los LPC sobre cimentaciones de todos los tipos dotadas de este aparato (Figs. 1a, b).



FIGURA 1a. Lisboa (Portugal, 1995). Vista general de un ensayo de carga de 2500 t., realizado sobre un pilote tubular abierto hincado, de 80 m y con un diámetro de 1200 mm, pertrechado de un extensómetro amovible LPC.

(*) Dr. Ingeniero ENPC, Directeur de Recherche, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, Francia.

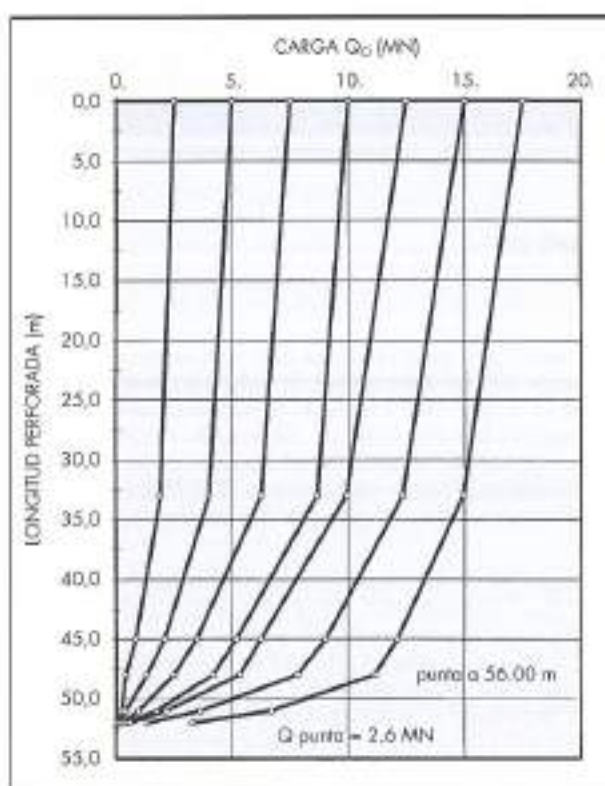


FIGURA 1b. Lisboa (Portugal, 1995). Ejemplo de distribución de la carga a lo largo del fuste de un pilote de 56 m, perforado con lado polimérico, para el futuro puente Vasco da Gama.

Sus cualidades lo han hecho recomendar en 1985 por la ASTM (Ref. 4), como uno de los medios posibles de medición de los esfuerzos durante las pruebas de carga. La ejecución ha sido objeto de un modo operatorio específico (Ref. 5).

Concebido en su origen para reemplazar los sistemas existentes de medición de las deformaciones tales como las cuerdas vibrantes, las bandas extensométricas pegadas (o soldadas), los hilos o varillas rígidas (*tell tales*) asociados a los comparadores, el extensómetro amovible reveló rápidamente su superioridad en varios campos: el del ahorro, la facultad de adaptación a diferentes tipos de cimentaciones profundas y configuraciones de suelos, la simplicidad de colocación, la calidad de las mediciones que permitía efectuar. Esas ventajas indujeron a concebir un nuevo modelo de extensómetro amovible, el modelo MVL-P.50, con el fin de mejorar ciertas características tales como:

- la velocidad de montaje y desmontaje,
- el número de niveles de medición para una mejor extensión de su aplicación a los pilotes de muy grandes longitudes (50 a 150 m, y mas),
- el peso que era oportuno reducir,
- la concepción general con miras a simplificar el mantenimiento y limitar la fragilidad de ciertas piezas,
- el juego y la esfera de adaptación de los bloqueadores a los diámetros de los tubos de alojamiento.

2. EVOCACIÓN DEL PRINCIPIO DEL EXTENSÓMETRO AMOVIBLE

Cualesquiera que sean las razones que indujeran a realizar una prueba de carga, sobre un pilote instrumentado, tratamos, partiendo del esfuerzo aplicado en la cabeza Q_0 , de determinar los esfuerzos Q_i que actúan sobre la altura del fuste y, particularmente, el esfuerzo en la punta Q_p (Fig. 2). Una vez conocidos esos esfuerzos para cada uno de los tramos ficticios i , se calculará el rozamiento unitario correspondiente q_{ui} , del modo siguiente:

$$q_{ui} = \frac{Q_{i-1} - Q_i}{\pi D l_i} \quad \text{en } kN / m^2$$

donde D y l_i son el diámetro y la longitud del tramo i .

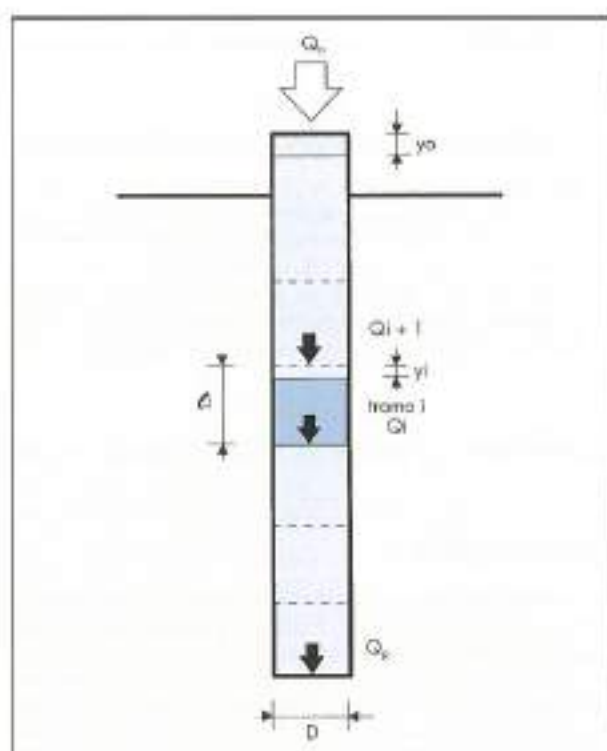


FIGURA 2. Recorte del pilote en tramos ficticios de medición.

Una vez medido los asientos de la cabeza s_0 bajo la carga Q_0 , se establecerán las leyes de movilización del rozamiento unitario q_{ui} en función del asiento y_i del nivel considerado (Fig. 3):

$$y_i = y_0 - \sum \Delta l_i$$

Es pues esencial medir con el máximo de precisión los esfuerzos Q_i , los asientos y_i y las deformaciones Δl_i . Si la medición de Q_0 et y_0 , no plantea ningún problema particular en la cabeza del pilote, su determinación para todos los demás niveles resulta mas delicada y obliga a recurrir a materiales específicos. Uno de esos materiales es el extensómetro amovible. Consiste en una sucesión de cintas metálicas, dotadas de bandas extensométricas de deformaciones pegadas, que se ponen en tensión entre las extremidades de cada tramo

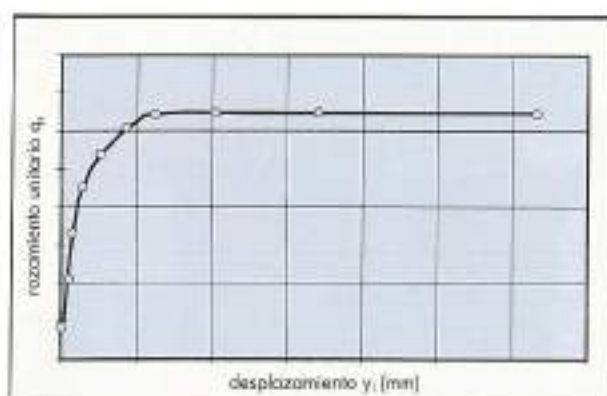


FIGURA 3. Ley general de movilización del rozamiento unitario a lo largo del fuste en el nivel analizado.

ficticio del pilote. Unos dispositivos llamados bloqueadores, aseguran la fijación de las cintas en las extremidades de los tramos, así como el mantenimiento de la tensión de las cintas durante toda la duración de la prueba de carga. Una vez montados, los bloqueadores y las cintas forman una ristra de una longitud correspondiente a la del pilote (Fig. 4).

Cuando el pilote es solicitado, la medición de los acortamientos o los alargamientos (caso del arrancamiento) soportados por cada tramo i son facilitados directamente por la banda extensométrica i . Una vez terminada la prueba, los extensómetros amovibles son distendidos y recuperados.

2.1. LA CINTA PORTADORA DE BANDA EXTENSOMÉTRICA

El soporte de la banda extensométrica lo constituye una cinta en aleación especial, cuya longitud mínima entre cada bloqueador es de 1 m. De todos modos se puede dar a este la longitud deseada, lo que ofrece la mayor libertad para la elección de los tramos de medición i . Para los tramos de gran longitud, el empalme de dos cintas se efectúa mediante un elemento especial de sujeción que impide cualquier deslizamiento.



FIGURA 4. Vista de un extensómetro de 80 m ya ensamblado (Lisboa, Portugal, 1995).

2.2. LAS BANDAS EXTENSOMÉTRICAS

Están hechas de trama metálica de constante, autocompensadas bajo temperatura. Se montan en "medio puente". Una vez dotada de su banda extensométrica, la cinta se gradúa con el fin de determinar su sensibilidad. Se trata de unas bandas extensométricas que le confieren al extensómetro su gran precisión, la cual es por lo menos igual a la de los dispositivos más clásicos (Fig. 5).

2.3. LOS BLOQUEADORES

Son las piezas esenciales del extensómetro amovible. Están constituidos por una célula central dilatada por presión de gas, la cual al actuar sobre unas láminas deformables dotadas de pernos o de superficies de frotamiento, aseguran su fijación a la pared del tubo-alojamiento a lo largo de la duración de la prueba. Generalmente, el gas es nitrógeno o CO_2 , elegido en función de las ventajas que ofrece para la utilización del aparato (limpieza, y puesta bajo presión instantánea). Existen varios modelos de bloqueadores, de manera a poderlos adaptar a las diferentes cimentaciones profundas. El modelo utilizado corrientemente es un bloqueador de diámetro 48 mm, o 34 mm en su versión miniaturizada. La concepción de los bloqueadores impide cualquier deslizamiento en relación al fuste de la cimentación, bien por traslación del conjunto, bien por desplazamientos relativos locales.

2.4. LA INSTALACIÓN EN LA CIMENTACIÓN (Figs. 6a, b)

Una vez montado, el extensómetro amovible se introduce sencillamente y se baja manualmente en su tubo-alojamiento. Este último es de acero, de un diámetro interior del orden de 51 mm, que se ha fijado a la jaula de armaduras (caso de los pilotes perforados) o soldado al fuste (caso de los pilotes metálicos hincados, tubulares, perfiles H, tablestacas). Es importante llamar la atención sobre el hecho de que la instalación del extensómetro amovible se efectúa una vez terminada la cimentación, lo cual tiene la ventaja de no crear ninguna molestia en la obra.

3. DESCRIPCIÓN DEL NUEVO BLOQUEADOR

Durante la puesta a punto del modelo MVL-P.50, se trató principalmente de la mejora de las características del blo-

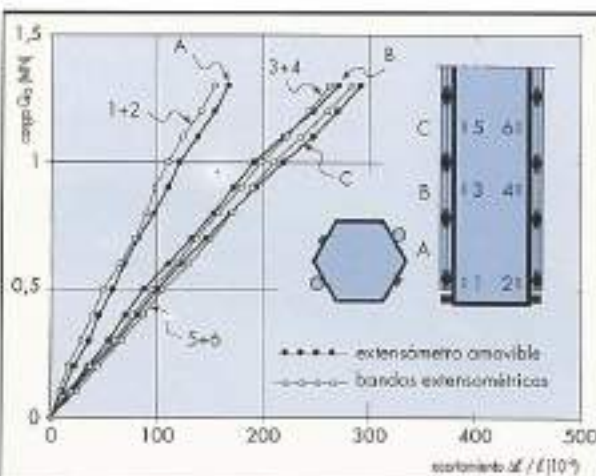


FIGURA 5. Comparación entre los acortamientos unitarios medidos con un extensómetro amovible y bandas extensométricas clásicas pegadas sobre el fuste de un pilote tubular hincado (Dunkerque, 1986).



FIGURA 6a. Inserción del extensómetro dentro de un pilote perforado de 34 m de longitud y diámetro 1000 mm (Roma, Italia, 1996).



FIGURA 6b. Inserción del extensómetro dentro del pilote hincado de 80 m, del futuro puente Vasco da Gama a Lisboa.

queador de $\varnothing 48$ mm. Este, ilustrado por la Fig. 7, comprende las partes siguientes:

- la célula central dilatante,
- dos virolas ranuradas, para recibir el cableado de 16 bandas extensométricas, así como un cable de recuperación y los "rilsan" del circuito de alimentación,
- cuatro mordazas permitiendo la adaptación a diferentes diámetros de tubos-alojamientos,
- un sistema de enclavamiento del conjunto y de enganche de la cinta portadora de la banda extensométrica.



FIGURA 7. Vista de un bloqueador de 48 mm, corrientemente usado para varios tipos de cimentaciones profundas (pilotes, micropilotes, pilas, muros colados, anclajes).

El peso del nuevo bloqueador es igual a 0,92 daN, es decir, una ganancia del 32% en relación con el antiguo modelo. Los diámetros de las mordazas en sí son los siguientes para un bloqueador no hinchado:

- 48 mm con las mordazas tipo PM,
- 54 mm con las mordazas tipo GM.

Las escalas de deformaciones asociadas van respectivamente de:

- 48 a 54 mm con las mordazas tipo PM,
- 54 a 60 mm con las mordazas tipo GM.

Se han realizado varias pruebas para asegurarse de que el enganche del nuevo bloqueador era suficiente. Los resultados han mostrado, no solamente que el enganche de los nuevos bloqueadores a las paredes de los diferentes tubos era mejor que el del antiguo modelo, sino que también resultaba muy eficaz cuando las paredes del tubo-alojamiento no estaban limpias o cuando estas eran de calidad ordinaria o del tipo utilizado para los tubos de auscultación sónica.

5. CARACTERÍSTICAS DEL NUEVO EXTENSÓMETRO

El nuevo modelo de extensómetro amovible MVL-P.50, conserva las cualidades esenciales del antiguo modelo cuales eran:

- 1) el ser recuperable una vez terminada la prueba de carga,
- 2) el poder utilizarse en todos los tipos de cimentaciones profundas hincadas, perforadas, incluidas las inyectadas,

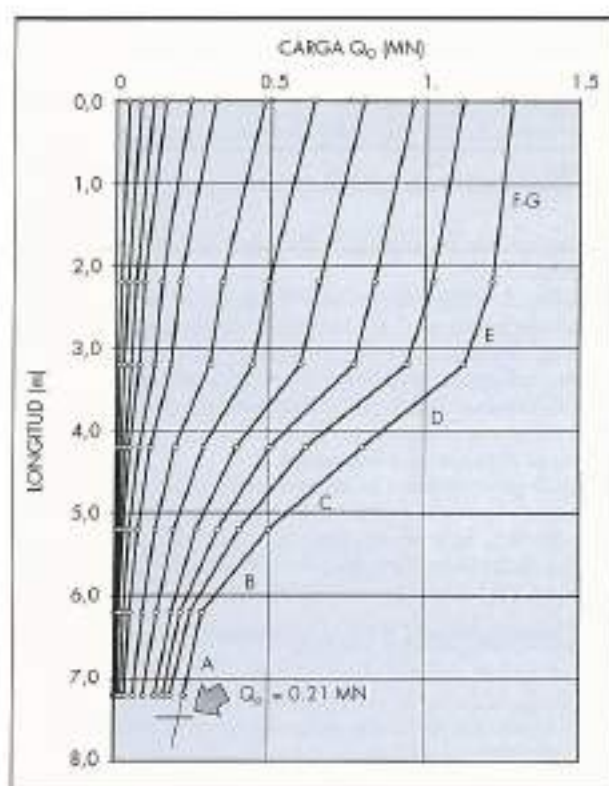


FIGURA 8a. Fuente de Levallois (Francia, 1994). Distribución de la carga a lo largo del fuste de una columna de jet-grouting.

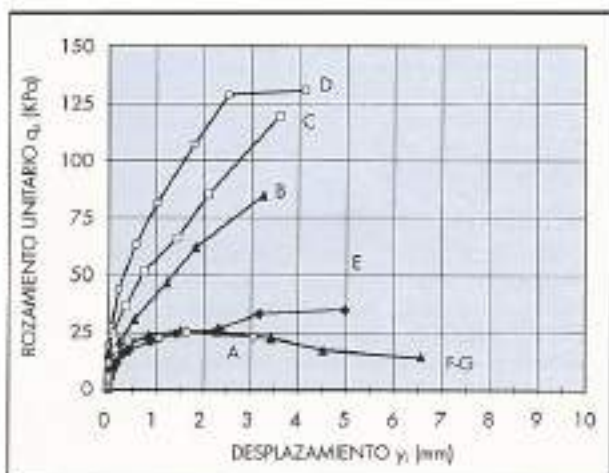


FIGURA 8b. Fuente de Levallois (Francia, 1994). Rozamiento y desplazamiento a varios niveles (columna de jet-grouting).

- 3) el tener una gran precisión al nivel de la medición,
- 4) la facilidad y rapidez de utilización en la obra.

El modelo MVL-P.50 ofrece así mismo nuevas cualidades:

- a) una duración de montaje y desmontaje que no rebasa 3 horas y unos minutos para su recuperación tras la realización de la prueba,

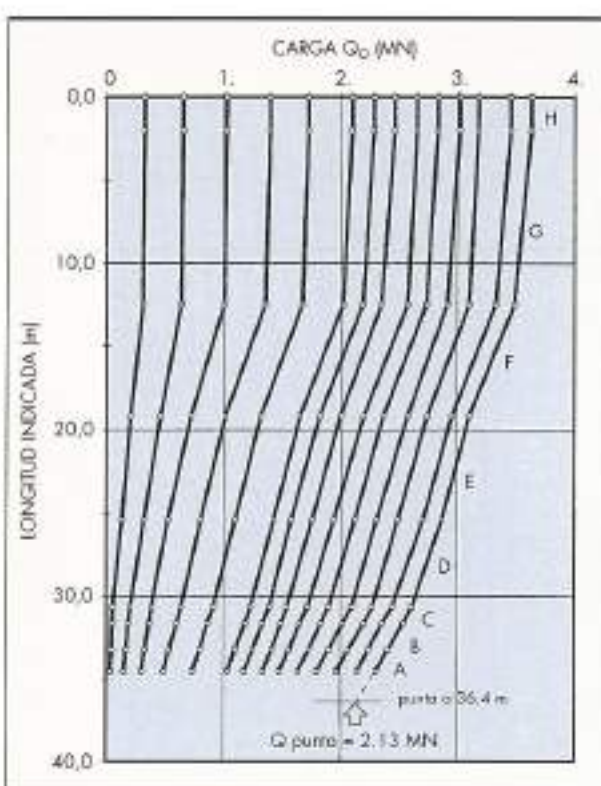


FIGURA 9a. Matanzas (Cuba, 1986). Pilote tubular abierto hincado en suelos coralianos: relación entre la carga y la profundidad.

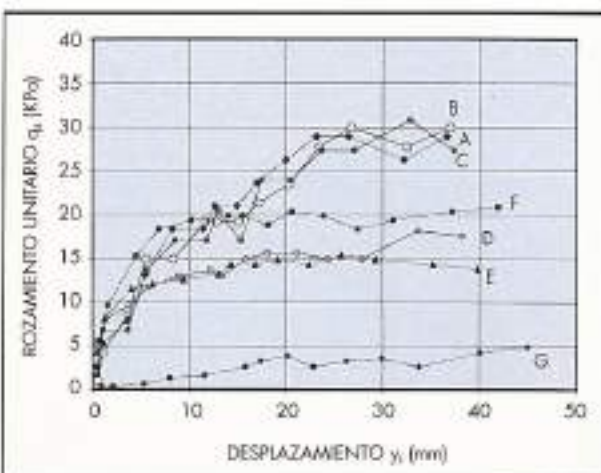


FIGURA 9b. Matanzas (Cuba, 1986). Pilote tubular abierto hincado en suelos coralianos: curvas de movilización del rozamiento unitario a varios niveles.

- b) el número de niveles de medición que puede ser igual a 16, lo cual permite extender su aplicación a los pilotes de gran o muy gran longitud,
- c) una notable reducción del peso del extensómetro que puede alcanzar del 25% al 11% para las longitudes de 15 a 150 m,
- d) una mayor simplicidad de concepción junto a un tratamiento anticorrosivo que facilitan el mantenimiento y aumentan la solidez,

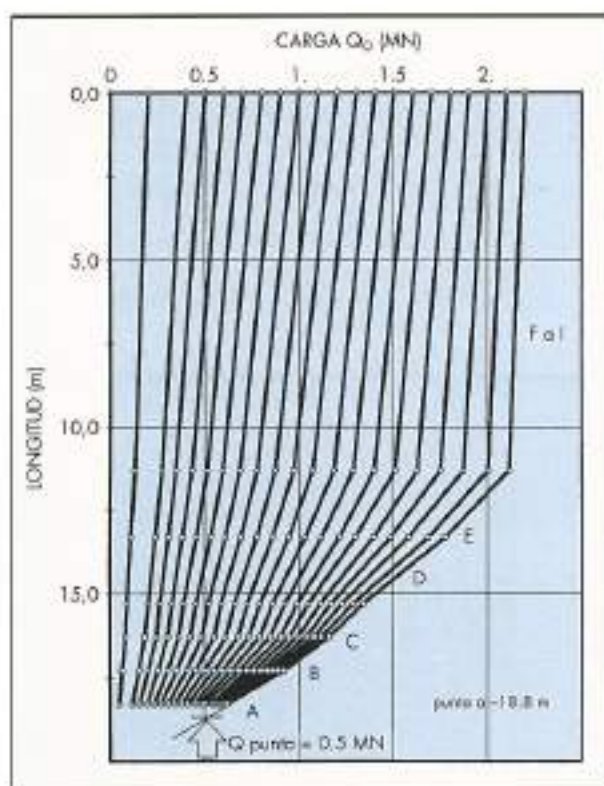


FIGURA 10a. Gauchy (Francia, 1994). Perfil H hincado e inyectado en una tiza alterada: distribución de la carga a lo largo del fuste.

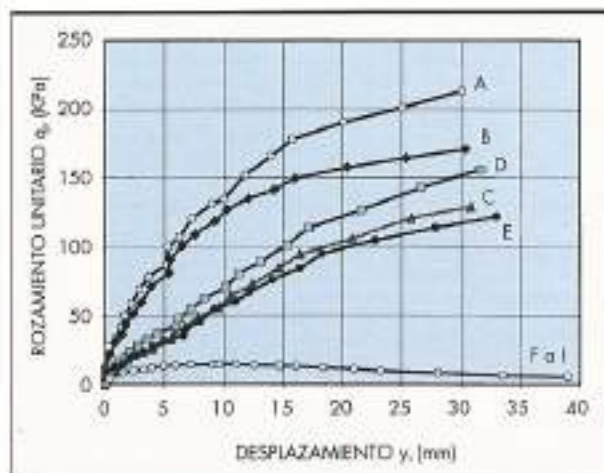


FIGURA 10b. Gauchy (Francia, 1994). Perfil H hincado e inyectado en una tiza alterada b) rozamiento q_s desplazamiento en las zonas analizadas.

- e) una mayor esfera de adaptación a los diámetros de los tubos-alojamientos y a la calidad de las paredes de los mismos;
f) finalmente, un notable incremento del tiempo de utilización durante las pruebas.

Una vez montado, el nuevo extensómetro se presenta siempre bajo el aspecto de una ristra que puede bajarse gravitatoriamente dentro del pilote. El cuadro 1 da una idea del peso aproximativo de dicha ristra en función de la longitud de empotramiento de la cimentación en el suelo L , y en el

L (m)	25	50	75	100	150
PESO (kgN)					
9 tramos	15	19	24	28	36
15 tramos	23	29	36	41	51

CUADRO 1.

caso en que se ha convenido disponer de 9 o 15 tramos de medidas.

Sobre el terreno, el montaje de una ristra para 12 tramos puede efectuarse en 3 o 4 horas por un equipo de dos técnicos experimentados. De ese modo, aun conservando las cualidades del primer modelo para la instrumentación de las cimentaciones de longitudes corrientes, el nuevo bloqueador permite su mejor y aun mas facil utilización en las cimentaciones de muy grandes longitudes.

En lo que respecta a la interpretación de las mediciones, lo esencial de la misma puede ser facilitada inmediatamente despues del final de la prueba. En cuanto a la puesta en forma definitiva, esta puede efectuarse en 1 o 2 jornadas de trabajo si se recurre a unos programas informatizados (Ref. 6) específicos.

6. OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

El conjunto de pruebas de carga o de arrancamiento realizadas hasta la fecha, es decir mas de 400 pruebas repartidas sobre 125 sitios, han confirmado el interés de los extensómetros amovibles, tanto en lo que respecta a la calidad de la medición y la facilidad de aplicación, como en cuanto al costo. La mayoría de los tipos de cimentaciones profundas existentes, verticales o inclinadas, tales como los pilotes hincados abiertos o cerrados, tablestacas o cajones de tablestacas, pilotes perforados, pilotes inyectados, columnas de jet-grouting (Ref. 7), anclajes o micropilotes han sido dotados con éxito de extensómetros amovibles (Figs. 8, 9, 10).

El nuevo extensómetro, modelo MVL-P50, permite disponer de un material que aun conservando las cualidades del primer modelo, es mas idoneo para la instrumentación de cimentaciones de muy gran longitud, rebasando los 50 m, o del tipo de la que se instala corrientemente en el terreno portuario o del offshore.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- R.1. MEY, R.; OTEO, C.; SÁNCHEZ DEL RÍO, J.; SORIANO, A. Ensayos de carga de grandes pilotes hincados. Boletín de la Soc. Espan. de MSC. sept. oct. nov. diciem. 1989, n° 83-84.
- R.2. BUSTAMANTE, M.; GIANESELLI, L. Previsión de la capacidad de carga de los pilotes aislados bajo carga vertical - Reglas presiométricas y penetrométricas. Bull. liaison Labo. P. et Ch. 113, mai-juin 1981 (en frances).
- R.3. BUSTAMANTE, M.; JEZEQUEL, J. F. Medición de las elongaciones en los pilotes y anclajes mediante extensómetros amovibles. Revue TRAVAUX n° 489, diciem. 1975 (en frances).
- R.4. Axial Pile Loading Test-Part 1: Static loading, American Society for Testing Journal, june, 1985.
- R.5. BUSTAMANTE, M.; GIANESELLI, L.; JEZEQUEL, J. F. La medición de las deformaciones mediante los extensómetros amovibles LPC. Metodo de prueba LPC n° 34, 1991 (en frances).
- R.6. BUSTAMANTE, M.; GIANESELLI, L.; MOREAU, M. Dépouillement de l'essai de chargement statique de pieu par application de la visualisation interactive, Programme PELAGI, Bull. liaison Labo. P. et Ch. n° 121, sept.-oct. 1982.
- R.7. BUSTAMANTE M., GIANESELLI L., THIRIAT D. Strengthening of a viaduct built at the beginning of the 20th century, by jet-grouting, Intern. Symposium on Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments, Napoli 3-4 october 1996.



Dragados

Acceso Norte a Buenos Aires. Autopista Panamericana



Ampliación Dársena Sur.
Puerto de Valencia

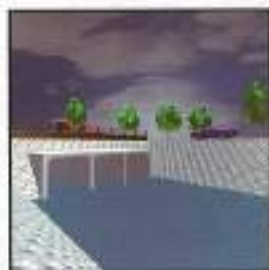
Presa de Vadomojón.
Baena, Córdoba



CALIDAD Dragados

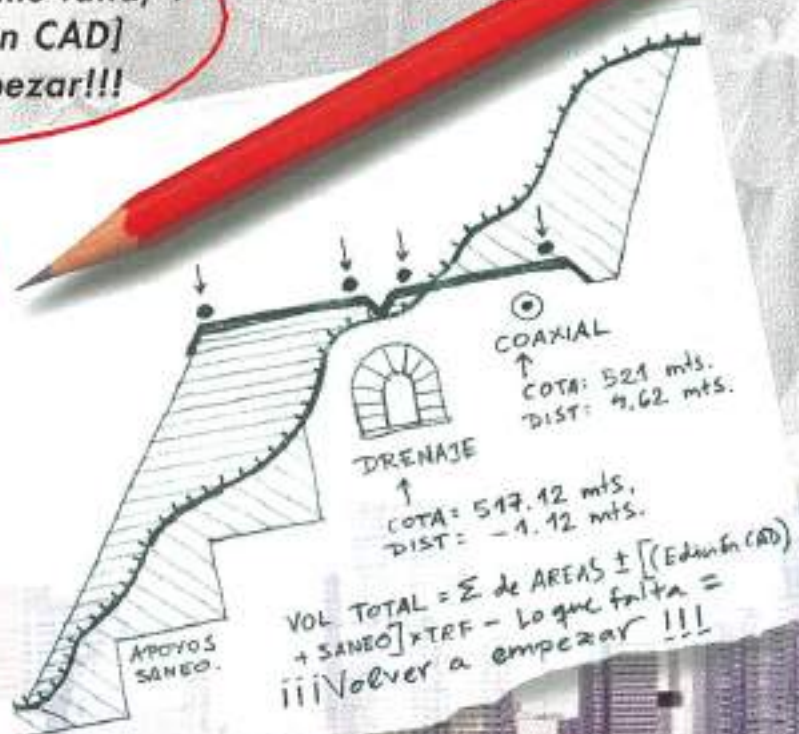
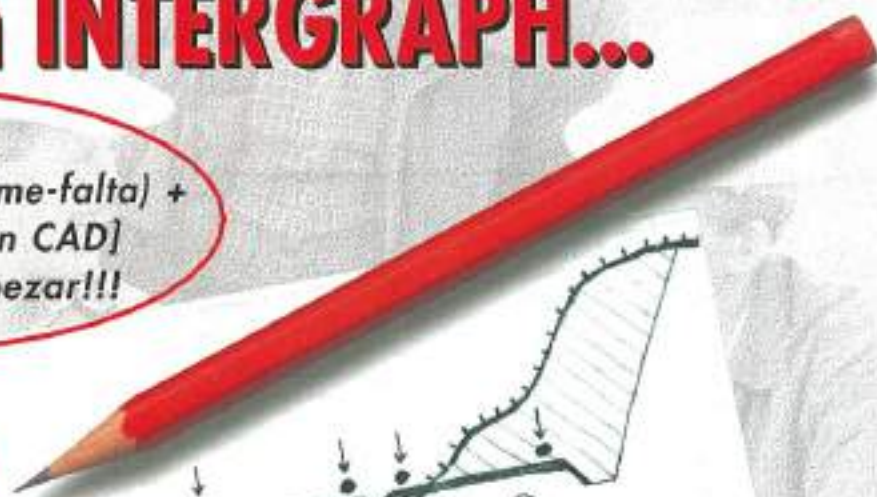
Pº Alameda de Osuna 50, 28042 Madrid Tfno. 91/583 30 00 Fax. 742 77 53

OBRAS PÚBLICAS - TOPOGRAFÍA - DISEÑO - CONSTRUCCIÓN
SiteWorks • InRoads • InRail



Con INTERGRAPH...

Volumen =
 $f [\sum (\text{perfil} \pm \text{lo-que-me-falta}) + \Delta(\text{saneamiento}) \pm \text{edición CAD}]$
= ¡¡¡Volver-a-empezar!!!



...usted ya estaría en el siguiente proyecto!

(91) 372 80 17
(93) 200 52 99
(94) 463 40 66

¡Llámenos hoy mismo!

INTERGRAPH

REF. OCI1079

Intergraph, InRoads y el logotipo Intergraph son marcas registradas e InRoads y SiteWorks son marcas de Intergraph Corporation.
Otros nombres y denominaciones de productos pertenecen a sus respectivos propietarios. Copyright 1997 Intergraph España.