

APARATO PARA ENSAYO «IN SITU» DE PENETRACION ESTATICA DE GRAN DIAMETRO EN SONDEO (1)

LUIS SOPEÑA MAÑAS (*)

RESUMEN. Se describe un aparato desarrollado y diseñado para llevar a cabo ensayos de penetración estática en el fondo de sondeos o perforaciones, que permite así ensayar «in situ» niveles del subsuelo que de otro modo resultaría prácticamente inviable el testificar o muestrear (en terrenos tales como paquetes de gravas, etc.). Tomando la reacción de las paredes próximas al fondo, permite llegar a elevadas cargas aplicadas, midiéndose al mismo tiempo las deformaciones verticales durante el proceso de indentación de la punta en el terreno. Sustituyendo la puntaza cónica por una circular plana, equivaldría a un ensayo de carga con placa de pequeño diámetro. Se describen algunos resultados obtenidos en un vertedero de residuos siderúrgicos.

ABSTRACT. A description is given of apparatus for carrying out static penetration tests at the bottom of borings or drillings, that allows «in situ» tests of the subsoil where sampling or coring would otherwise be unviable (in soils such as gravel strata, etc.). Study the behaviour of the walls near the bottom, makes it possible to reach considerable applied loads, the vertical strain during the process of indentation of the tip in the soil, is also measured. Replacing the conical tip with a flat circular one, would be the equivalent to a load test with small diameter plate. A description is given of some of the results obtained in a blast furnace waste dump.

1. INTRODUCCION

El caso particular en concreto para el que se diseñó el aparato y en el que se llevaron a cabo los ensayos corresponde a un gran vertedero de una factoría siderúrgica, en el que predominan los materiales que son propios de la actividad, como cenizas y sobre todo escorias.

El caracterizar geomecánicamente a ese tipo de rellenos, conlleva una serie de dificultades de variados y múltiples tipos, derivadas tanto de la propia naturaleza de los materiales que los constituyen, como de la heterogeneidad en su distribución y tipo, etc.

La determinación de sus características propias, aun de modo individualizado, resulta también harto difícil, sobre todo en el caso de las escorias, cuyo muestreo inalterado es prácticamente inviable.

Planteada, por ello, la práctica invalidez de los métodos habituales de testificación y ensayo en laboratorio, había que acudir a los ensayos «in situ» para pretender caracterizar estos materiales de vertido.

Si para la deformabilidad bajo cargas superficiales podía resultar viable el plantearse los ensayos de carga

a gran escala, para el estudio de los parámetros de resistencia al corte (que además se estimaba podrían variar sensiblemente con la profundidad-presión efectiva), se descartaban tanto los ensayos «in situ» tradicionales (como los de corte directo por la imposibilidad de tallado de las probetas) como los que normalmente se pueden realizar desde la superficie, por medio de penetrómetros, etc.

La resistencia opuesta a la hinca impide que, mediante los sistemas habituales de penetración continua, tanto dinámica como estática, pudiera haberse alcanzado una profundidad reconocida bajo la superficie del vertedero mayor a algunos escasos metros.

Además, se considera muy conveniente el resaltar la gran utilidad que también este sistema de ensayo puede representar en materiales difícilmente testificables y muestreables, como gravas, arenas, etc., y a la vez en profundidades difícilmente alcanzables desde superficie por los métodos habituales de penetración estática o dinámica.

Así, la perforación en sondeo permite alcanzar, en principio, cualquier profundidad o nivel que interese reconocer en uno de esos materiales de este tipo. Una vez alcanzado el horizonte que se desea ensayar, se baja el dispositivo, por medios simples y se procede al ensayo actuando desde superficie. El tomar la reacción en la parte del fondo de la tubería, permite evitar los problemas de una transmisión a lo largo de un posible varillaje, cuyo primer problema sería su pandeo.

(1) Artículo presentado en el Congreso de la SIMS celebrado en Río de Janeiro. Agosto 1989.

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de División de Auscultación del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX (MOPU).

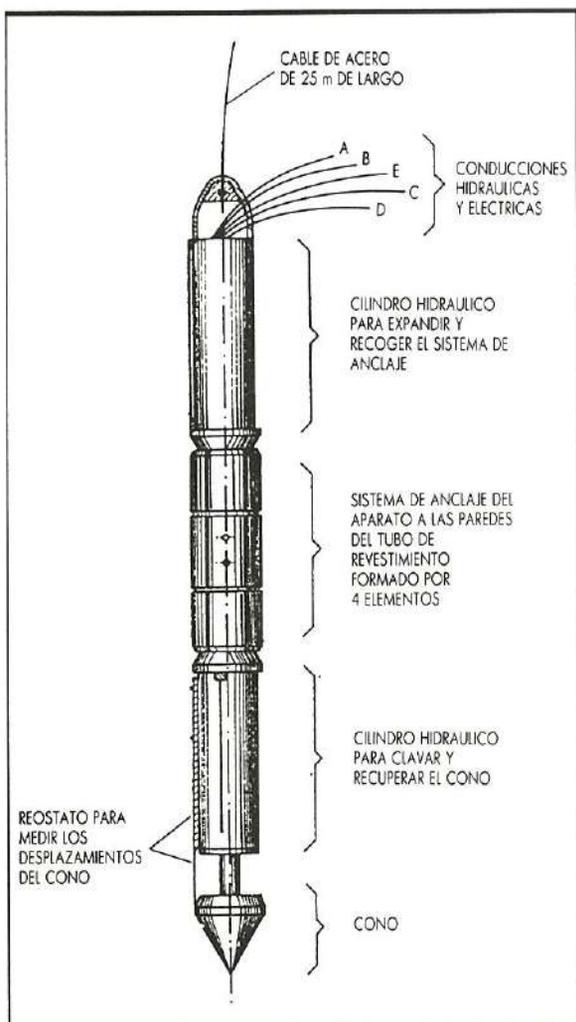


FIGURA 1. Penetrómetro. Vista general.

Se independiza la realización de los ensayos de las condiciones relativas a profundidad, sistema de reacción, etc. Permitiendo disponer de fuerte capacidad de reacción máxima (en el caso presente, hasta órdenes de magnitud próximos a las 35 T) a la profundidad requerida.

En función del «tamaño del grano» del material de que se trate, puede variar el diámetro del cuerpo del aparato y puntaza subsiguiente. Cuanto menor sea (por ejemplo, para casos de arenas) más se simplifica y economiza el sistema mecánico. Se presenta el prototipo de aparato y sistema desarrollados para realizar ensayos de penetración estática en fondo de perforación, de gran diámetro en este caso para que resultasen suficientemente representativos dado el tamaño de «grano» de los materiales a ensayar en particular (escorias).

En la actualidad, se está pensando en el desarrollo de este prototipo, mejorando los dispositivos que se han

mostrado de comportamiento menos favorable (en particular, los sistemas de medida de empuje y desplazamiento) y construyendo otros utilizables, por ejemplo, en el caso de gravas menos gruesas, arenas, etc.

2. DESCRIPCION Y FUNCIONAMIENTO DEL APARATO

El aparato está constituido por tres cuerpos bien diferenciados, como se representa en la figura 1. A la vista de la sección tipo de la figura 2, su descripción y funcionamiento son las siguientes:

1. Un cuerpo superior que consiste en un cilindro hidráulico de doble efecto, cuyo vástago es solidario al cilindro hidráulico del cuerpo inferior o sistema de hinc

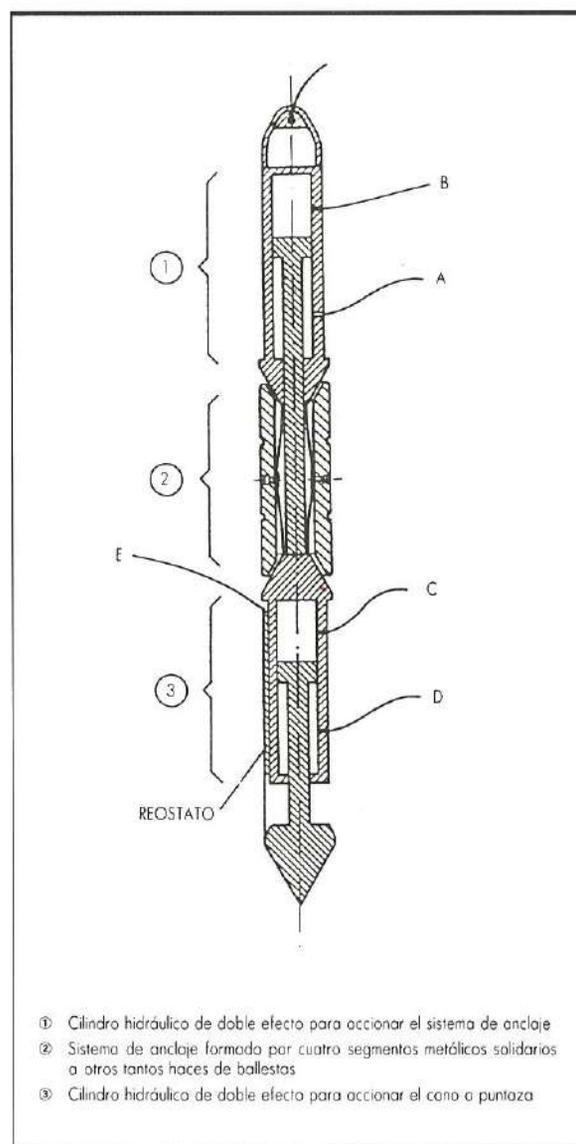


FIGURA 2. Esquema general

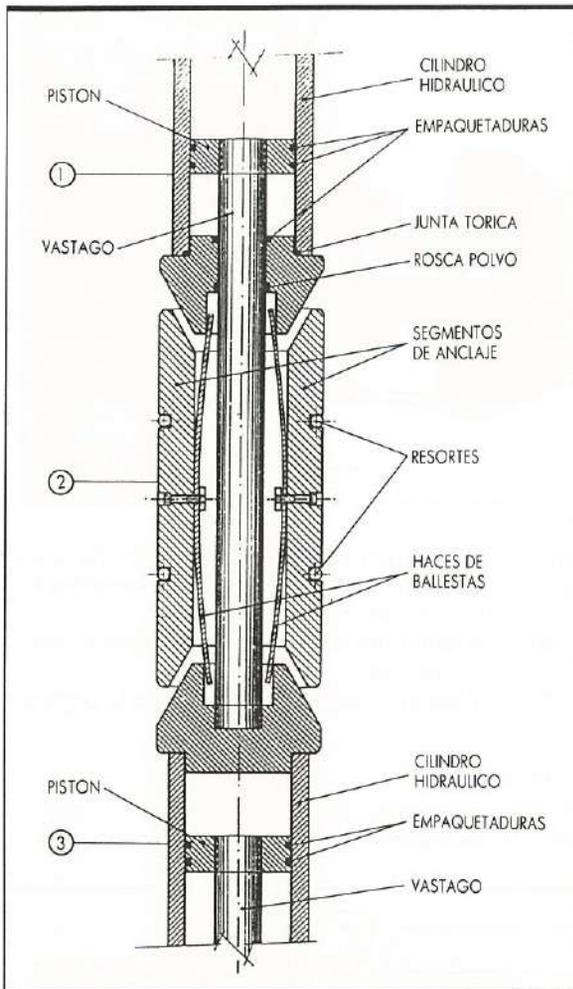


FIGURA 3. Sección parcial.

de la puntaza, y de tal manera que al ser accionado por mediación de una central hidráulica controlada por un manómetro de precisión, actúa sobre el sistema de anclaje, expandiéndolo o cerrándolo.

2. El cuerpo central es el que constituye el sistema de anclaje a las paredes, y está formado por cuatro segmentos metálicos atornillados a otros tantos haces de ballestas, sujetas mediante bulones a dos piezas tronco-cónicas iguales y opuestas solidarias al cuerpo superior e inferior del aparato. Todo este sistema queda abrochado con dos muelles o resortes.

3. El cuerpo inferior, cuya misión es la de hincar en el suelo, por empuje directo de un cilindro hidráulico de doble efecto, la puntaza o cono solidaria a la cabeza del vástago (de \varnothing 135 mm y 60° de ángulo).

En este cuerpo (3) va alojado a lo largo de la generatriz del cilindro hidráulico, por la parte externa, un sistema eléctrico, cuyo extremo móvil va sujeto mediante una fina varilla al cono o puntaza del penetrómetro formando el sistema de medida de los desplazamientos de éste, que a su vez se llevan, mediante la conexión de un cable interior, a los registradores (digital y analógico).

En la figura 3 se puede observar con más detalle la constitución de los diversos elementos mecánicos descritos. Análogamente, en las figuras 4 y 5 se presentan dos fotografías del aparato y equipos auxiliares.

El método operatorio consiste, simplificado, en introducir el aparato, suspendido de un cable de acero, hasta el fondo de la perforación, a través de la tubería de revestimiento. Una vez alcanzada la posición correcta, se procede a la fijación del sistema de anclaje a las paredes, de donde se toma la reacción necesaria para la posterior hincada vertical del cono, durante la que se va midiendo su desplazamiento y la presión aplicada, siendo debidamente registradas ambas. En la figura 6 se muestra el esquema del dispositivo general del ensayo:



FIGURA 4. Vista general del aparato y dispositivos auxiliares.



FIGURA 5. Detalle de la puntaza cónica.

Anclaje. Se efectúa por el desplazamiento del émbolo del cilindro hidráulico que forma la parte superior del aparato, lo que provoca el acercamiento de las piezas troncocónicas solidarias a los cuerpos reseñados con los números 1 y 3 en las figuras 2 y 3 y por tanto la expansión radial de los segmentos de anclaje por efecto de cuña.

Penetración del cono o puntaza. Por empuje directo del cilindro hidráulico del cuerpo inferior, reseñado con el número 3 de la figura 2.

Desanclaje. Idéntico proceso a la inversa. La recu-

peración de los segmentos de anclaje se confía a las ballestas, y el cierre total y el posicionado correcto a los dos resortes o muelles circulares.

Recuperación del cono. Proceso idéntico al anterior pero a la inversa.

Extracción al exterior del conjunto de la perforación.

3. RESULTADOS

El resultado de cada ensayo viene dado por la relación entre el desplazamiento vertical del cono y la presión

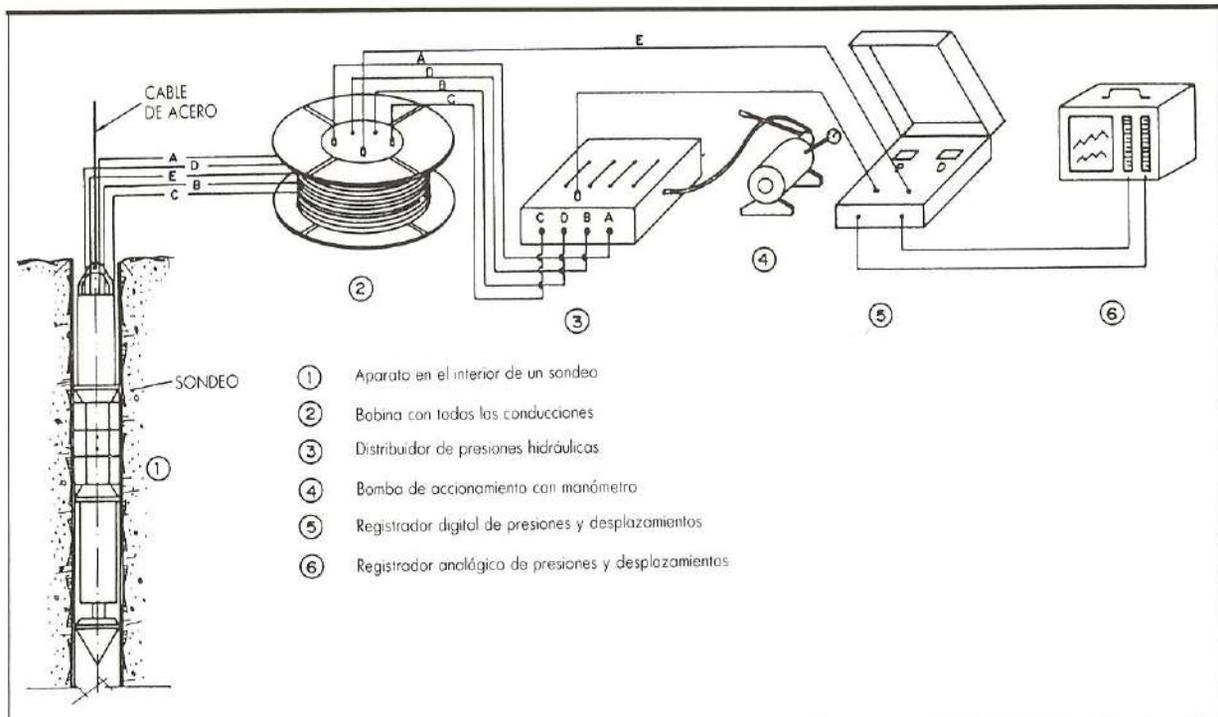


FIGURA 6. Esquema general del ensayo.

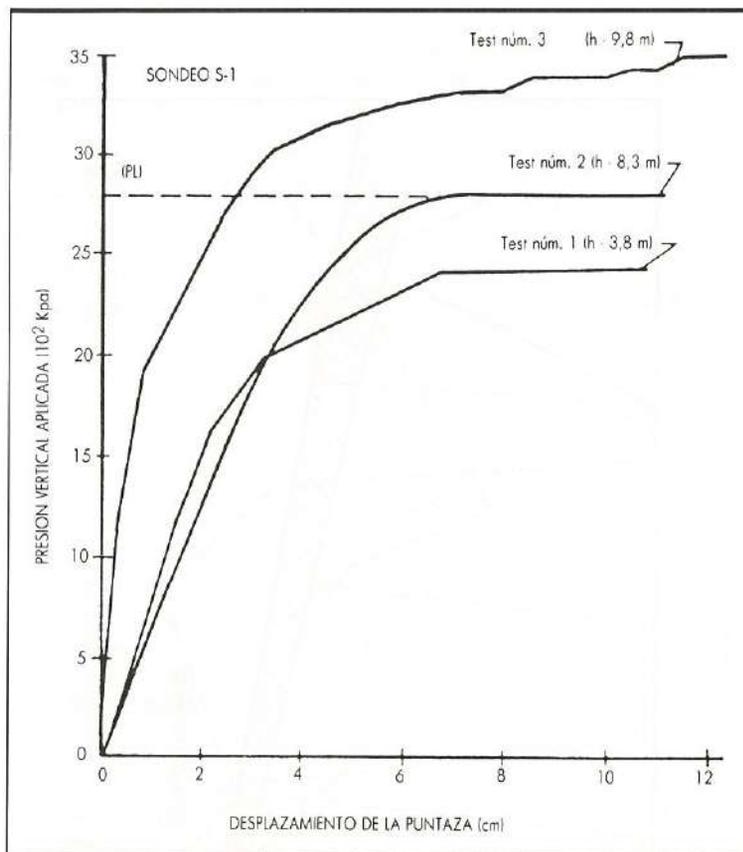


FIGURA 7. Resultados típicos de ensayos.

aplicada, correspondiente al proceso de indentación de la puntaza en el fondo de sondeo. Al ser dicha puntaza de unas dimensiones considerables, la hincada se produce a lo largo de más de 15 cm de longitud, y permite seguir su proceso.

En la figura 7 se recogen varios resultados de los ensayos realizados en el sondeo número 1, correspondientes a diversas profundidades (*h*) bajo la superficie del terreno. Aunque también se cuenta con diversas lecturas digitales realizadas a lo largo del ensayo, lo más operativo y práctico es el registro continuo de las curvas carga-deformación en forma gráfica.

Ello permite, aparte de otras posibles aplicaciones, observar el momento del contacto de la punta externa con el terreno, y definir el instante en que se produce la rotura, dada por la que se ha denominado como presión límite (*PL*).

La figura 8 recoge el conjunto de resultados (*PL*) en función de la profundidad, correspondientes a varias de las perforaciones realizadas (S-1, 2 y 3). Como se observa, a veces se producen caídas bruscas de la resistencia, debido a las capas intercaladas de materiales blandos, como cenizas, fangos, etc. Como resumen, se ha dibujado el huso medio que se estimó correspondía a los ensayos en los que la penetración se realizaba en las escorias.

Como se dijo, el objetivo del estudio para el que se diseñó el aparato residía en la caracterización resistente de los materiales escoriáceos presentes en los grandes taludes del vertedero (hasta de más de 50 m de altura). A la vez, se consideraba la hipótesis de que con la profundidad (o la presión efectiva de tierras, en definitiva) variaban los parámetros de resistencia al corte (disminución de la componente de rozamiento y aumento de la cohesión).

Para ese caso particular en estudio, se aplicó una ley lineal de variación de la presión límite:

$$PL(H) \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 30 + 0,8 \times H \text{ (m)}$$

En la interpretación y análisis subsiguiente, se pretendió seguir un método que tuviera en cuenta las deformaciones, tales como los basados en la teoría de expansión de una cavidad esférica. Se adoptó un modelo cohesivo y friccional del material y las ecuaciones desarrolladas por Carter *et al.*, (1986). Al margen de las diversas simplificaciones que fue necesario introducir para llegar a unos resultados de un modo rápido, así como la dificultad añadida de tener que contar con las características tensodeformacionales (*E*, γ) del material, puede estimarse que los resultados finales obtenidos fueron satisfactorios en relación a los objetivos buscados.

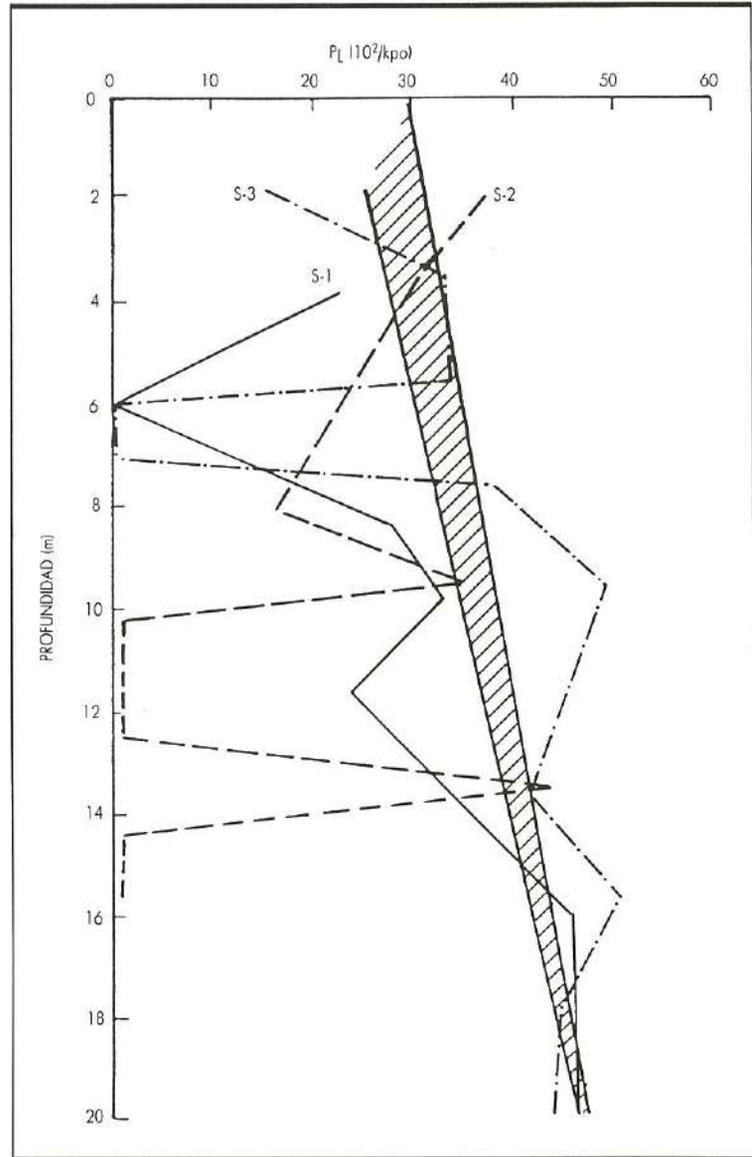


FIGURA 8. Conjunto general de los resultados obtenidos.

4. CONCLUSIONES

En relación con el planteamiento y objetivos perseguidos y los resultados obtenidos, anteriormente descritos, cabe considerar, a modo de resumen, las siguientes conclusiones:

- A. Se ha desarrollado un prototipo de aparato para ensayo de penetración estática realizado en el fondo de perforaciones o sondeos, cuya idea básica es poder acometer el ensayo de horizontes de materiales difícilmente testificables o muestreables por los sistemas habituales. La reacción vertical necesaria para la hincas se toma de las paredes del revestimiento, en la zona próxima al fondo.
- B. Además de poder conseguir así unas grandes reac-

ciones, prácticamente inviables de transmitir desde la boca de perforación (pandeo) se ha instrumentado el aparato para medir el proceso de indentación en el terreno, registrando la relación presión aplicada-desplazamiento vertical. Se obtienen así las curvas tensión-deformación de cada ensayo.

- C. El prototipo concreto desarrollado fue del tipo designable como «pesado» dado el tamaño del «grano» del material a ensayar (escorias). El diámetro de la base del cono era de 135 mm, y 60° de ángulo en el vértice. Para otros casos en que pueda resultar también de utilidad el sistema (gravas, arenas, etc.) podría disminuirse el tamaño en función de la granulometría, pasando a otros aparatos más ligeros, de menor complicación hidráulica y mecánica y más económicos. También, cambiando la

puntaza por una placa circular se puede obtener una especie de ensayo de carga.

D. La interpretación puede realizarse basándose desde los clásicos sistemas de rotura, hasta los que tienen en cuenta las deformaciones. En este sentido, se estiman muy convenientes los métodos basados en las teorías de expansión de cavidades, adaptando convenientemente la geometría a las condiciones de contorno más reales. En esa línea, se debe pretender aprovechar al máximo posible la información obtenida por la relación tensión-deformación en los ensayos.

E. Independientemente de las simplificaciones que se realizaron, y del margen de incertidumbre añadida por la necesidad de introducir en las ecuaciones utilizadas otros parámetros como los de deformabilidad (E, γ) y dilatación (ψ), puede concluirse con que los resultados finales obtenidos para el caso concreto en que se utilizó fueron suficientemente satisfactorios. En todo caso, deben de mejorarse ciertos aspectos, tales como los de medida de las deformaciones verticales, así como las bases de interpretación, en los que deberá de trabajarse en el futuro.

NOVEDADES EDITORIALES



**Librería
Ciencia-Industria, S. L.**

Plaza de San Juan de la Cruz, 3
Teléfonos: 534 85 56 y 533 75 43
28003 Madrid

PEDIDOS: Contra reembolso — „Cheque adjunto

BUILDING ENGINEERING AND SYSTEMS DESIGN. 2.^a ed.

Merritt, F. S. —6747—
1990 ed. 697 págs. 10.070 pts.

CONTENIDO: New directions in building design. Basic building elements and their representation. Systems design method. Application of systems design to buildings. Contract documents and construction methods. Life safety concerns. Building sites and foundations. Structural systems. Plumbing. Heating, ventilation, and air conditioning. Lighting. Sound and vibration control. Electrical systems. Vertical circulation. Systems for enclosing buildings.

APPLIED HYDRAULIC TRANSIENTS. 2.^a ed.

Hanif, M. —17809—
1987 ed. 521 págs. 11.872 pts.

CONTENIDO: Closed-conduit transient-flow equations. Methods of characteristics and finite-difference methods. Transients caused by pumps. Transients in hydroelectric power plants. Transients in cooling-water systems. Transients in long oil pipelines. Resonance in pressurized piping systems. Etc.

ADVANCED DAM ENGINEERING: For design, Construction, and Rehabilitation.

Jansen, R. B. —12758—
1988 ed. 809 págs. 17.888 pts.

CONTENIDO: Lessons from notable events. Hydrology. Geology. Seismology. Materials. Cofferdams. Earthquake response analysis of embankments. Earthfill dam design and analysis. Earthfill dam construction and foundation treatment. Earthfill dam performance and remedial measures. Rockfill dam design and analysis. Rockfill dam construction and foundation treatment. Rockfill dam performance and remedial measures.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. 17.^a ed.

Clesceri, L. S. —18323—
1989 ed. 1400 págs. 22.895 pts.

CONTENIDO: General information. Physical and aggregate properties. Determination of metals. Determination of inorganic nonmetallic constituents. Determination of organic constituents. Automated laboratory analyses. Examination of water and waste water for radioactivity. Toxicity test methods for aquatic organism. Microbiological examination of water. Biological examination of water.

PAINTING OF STEEL BRIDGES AND OTHER STRUCTURES

Hare, C. H. —6861—
1990 ed. 303 págs. 9.010 pts.

CONTENIDO: Corrosion control by coatings. Surface preparation. Coating systems for steel bridges. Coating system selection and specification design. Job execution. Quality assurance and quality control. In-service monitoring of system performance. Costs. Trends, directions, and ongoing research.

LABORATORY QUALITY ASSURANCE SYSTEM. A manual of quality procedures with related forms

Ratliff, T. A. —6881—
1990 ed. 224 págs. 7.208 pts.

CONTENIDO: Laboratory quality system elements. Title page. Letter of promulgation. Quality goals and objectives. Quality policies. Organization for quality. Management of the quality manual. Quality planning. Quality in procurement. Sample handling, identification, storage, and shipping. Chain of custody procedures. Laboratory testing and analysis control (Intrazand interlaboratory testing). Quality documentation and records.

ENGINEERING HYDROLOGY TECHNIQUES IN PRACTICE

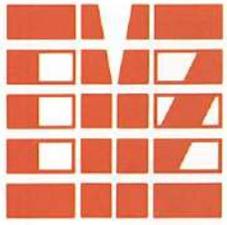
Shaw, E. M. —22072—
1989 ed. 349 págs. 13.250 pts.

CONTENIDO: Hydrometric schemes. Agricultural drainage. Urban drainage. Transport drainage. Flood mitigation. Reservoir spillways. Water resources. Reservoir yield. River basin development. Irrigation. Water resource-river management.

PRACTICAL EXPERIENCE IN BUILDING EXPERT SYSTEMS

Bramer, M. —5249—
1990 ed. 230 págs. 5.618 pts.

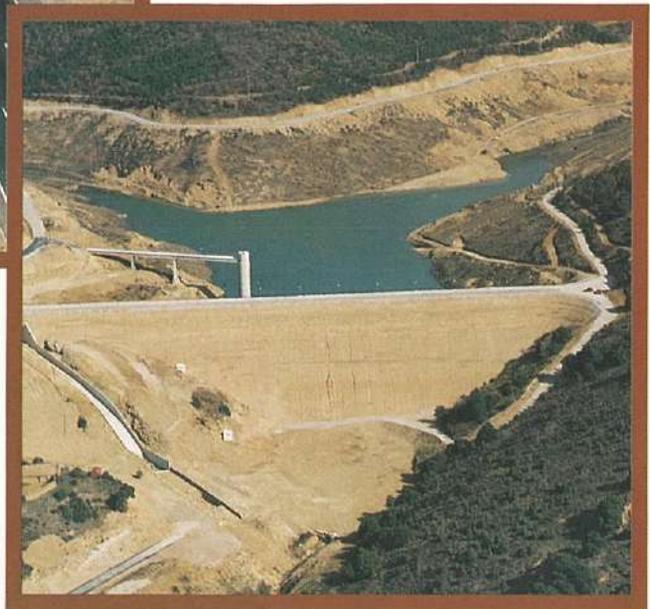
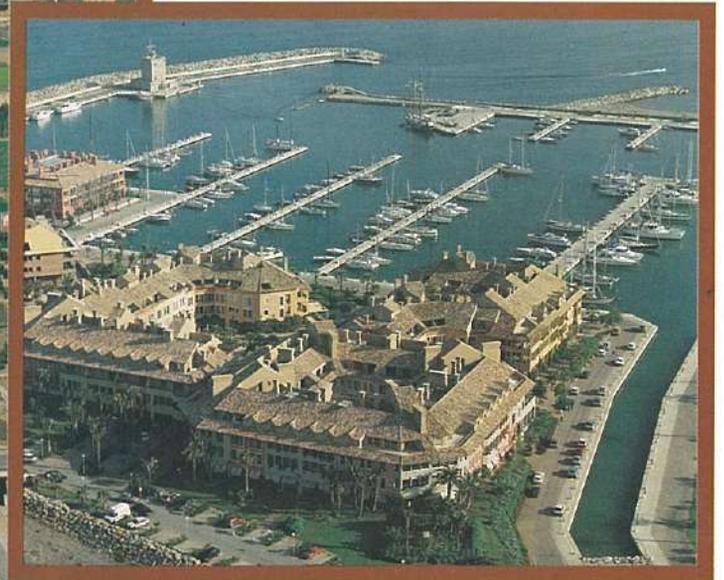
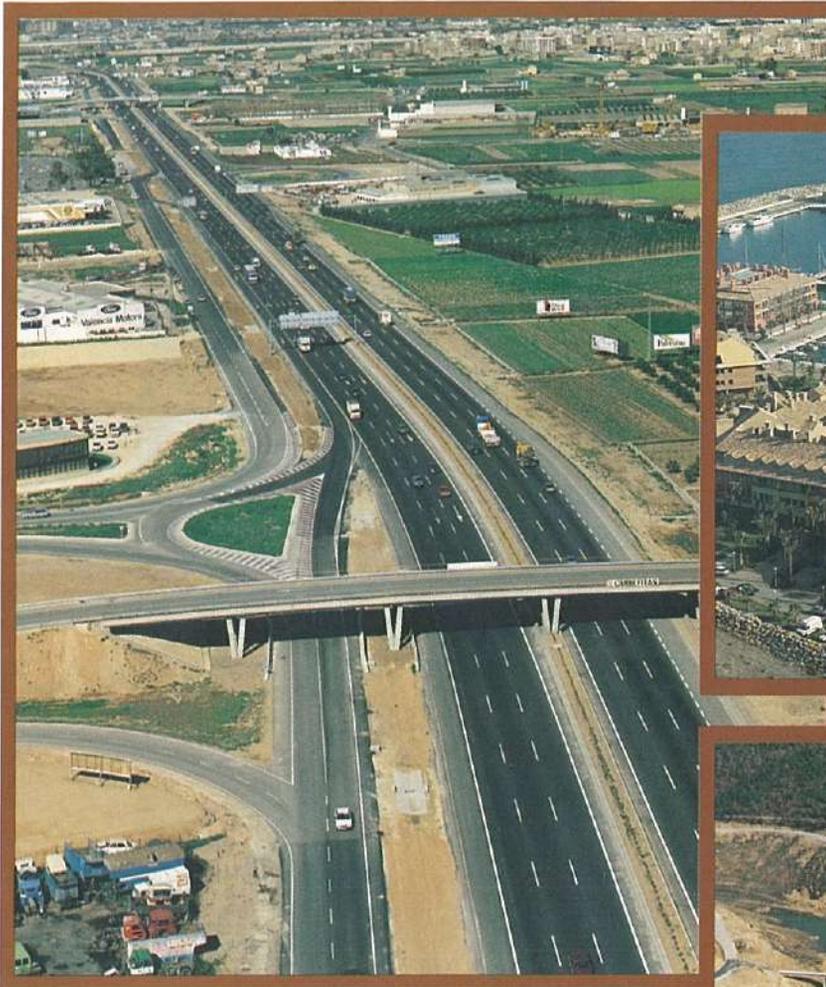
CONTENIDO: The leukaemia diagnosis project. OCEX-order clearing expert system. Tracker-lessons from a first expert system. Expert systems in clarifying employment law. Intelligent data interpretation. RBest: an expert system for disk failure diagnosis during manufacturing. Kant: an expert system for telediagnosis. Aries club case history. Kardio: an expert system for ECG interpretation. Sarts autotest-2.



CUBIERTAS Y MZOV, S.A.

COMPañA GENERAL DE CONSTRUCCIONES

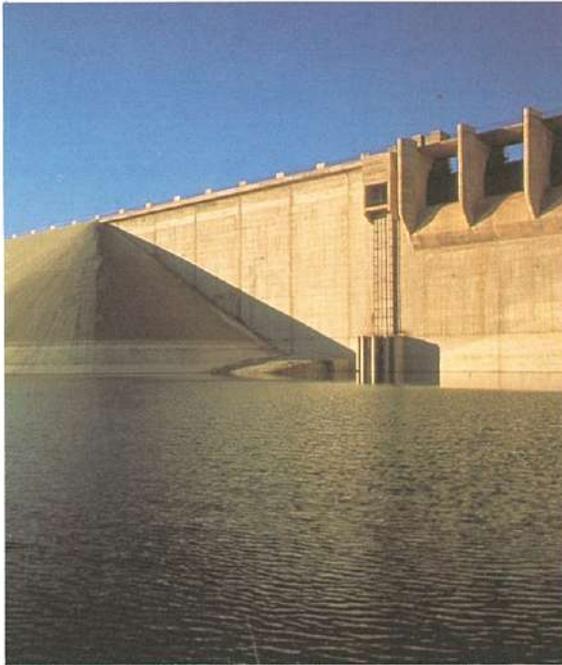
CUALQUIER TIPO
DE OBRA...



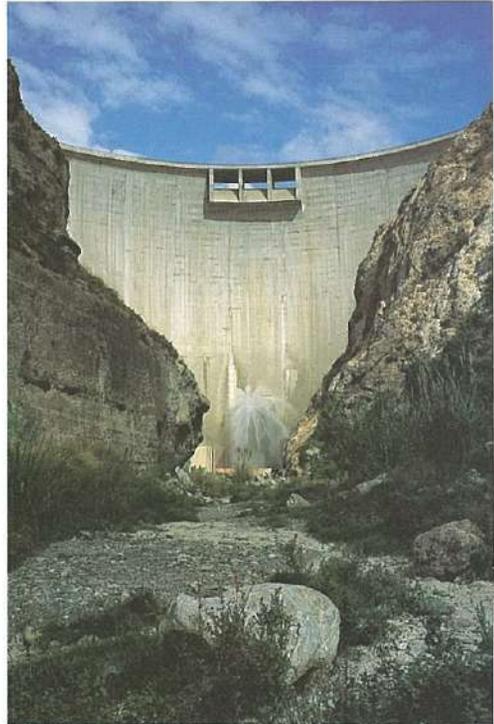
EN CUALQUIER
LUGAR DEL
MUNDO.



PRESA DE YEGUAS



PRESA DE NEGRATIN



PRESA DE BEZNAR

OCISA

OBRAS Y CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES, S.A.