

FUERZAS LATERALES INDUCIDAS EN UNA PILA DEL VIADUCTO DE CANALEJAS POR UN RELLENO ESTABILIZADOR ⁽¹⁾

V. ESCARIO

A. URIEL

Laboratorio de Geotecnia (CEDEX)

RESUMEN. El Viaducto de Canalejas tiene una longitud de 170 m y sus pilas alcanzan los 50 m de altura. El tablero está formado por una viga metálica en celosía. La inestabilidad de la ladera izquierda del valle en las proximidades del estribo correspondiente recomendó la construcción de un relleno estabilizador apoyado sobre la misma. Las lecturas del equipo de auscultación instalado mostraron que el efecto estabilizador era insuficiente. Al mismo tiempo el relleno estaba originando esfuerzos laterales sobre la pila correspondiente y, como consecuencia, movimientos hacia el cauce del río. La solución adoptada ha consistido en la construcción de una pantalla anclada de pilotes de gran diámetro atravesando las limolitas superiores, hasta alcanzar las margas del Mioceno. Los 11 m superiores del relleno se han excavado, disminuyendo así los esfuerzos laterales sobre la pila.

1. INTRODUCCION

El Viaducto de Canalejas, cuya planta y alzado se representan en la figura 1, se construyó a principios de este siglo para atravesar el estrecho valle con fuertes laderas que bordea por uno de sus lados a la ciudad de Alcoy (Alicante). Tiene una longitud de 170 m y su estructura consiste en tres pilas de mampostería de hasta 50 m de altura, los estribos y un tablero formado por una viga metálica en celosía simplemente apoyada, con desplazamientos horizontales libres en cada uno de los apoyos menos en el central.

Se han observado fenómenos de inestabilidad frecuentes en los taludes del valle, que originan fuertes agrietamientos en las construcciones vecinas. Los estribos del Viaducto han asentado unos 20 cm, así como desplazamientos similares hacia el cauce del río. Las cabezas de las pilas también muestran movimientos horizontales en la misma dirección.

Para evitar la progresión de la erosión en el pie de las laderas, se procedió a su canalización. Como solución para aumentar la estabilidad global de la ladera izquierda del valle en el emplazamiento del Viaducto, se construyó un relleno estabilizador contra el talud (figura 1). El relleno dejó enterrada una gran parte de la pila izquierda y la zona baja de la central. A pesar de estas medidas, continuaron los movimientos hasta entonces observados y,

como consecuencia de los desplazamientos del relleno, se originaron presiones laterales hacia el valle en la pila izquierda. Se ha llevado a cabo un reconocimiento adicional del terreno y se han instalado diversos tipos de elementos de auscultación para tratar de definir y resolver el problema.

2. INFORMES ANTERIORES, OBSERVACIONES Y TRABAJOS REALIZADOS

Durante los últimos 60 años se han estado recogiendo informaciones sobre los fenómenos de inestabilidad del valle a lo largo del río. Se han efectuado varios reconocimientos del terreno con los correspondientes informes sobre el tema; uno de ellos por el bien conocido ingeniero Clemente Sáez García en 1948.

En 1975 se llevó a cabo un estudio sobre la estabilidad de la ladera izquierda en la zona del Viaducto, ejecutándose más sondeos. Los coeficientes de seguridad obtenidos fueron inferiores a la unidad, lo que explicaba los movimientos y agrietamientos observados. Con objeto de aumentar el coeficiente de seguridad, se analizaron diversas soluciones; la recomendación final consistía en suavizar el talud hasta un valor medio de 25°, construyendo para ello el correspondiente relleno.

En 1978 se instalaron cuatro inclinómetros, tres de ellos en el lado izquierdo del valle y el cuarto en el derecho y se acometió un control sistemá-

(1) Comunicación presentada al Simposio Internacional «Interacción Suelo-Estructura», París, 1987.

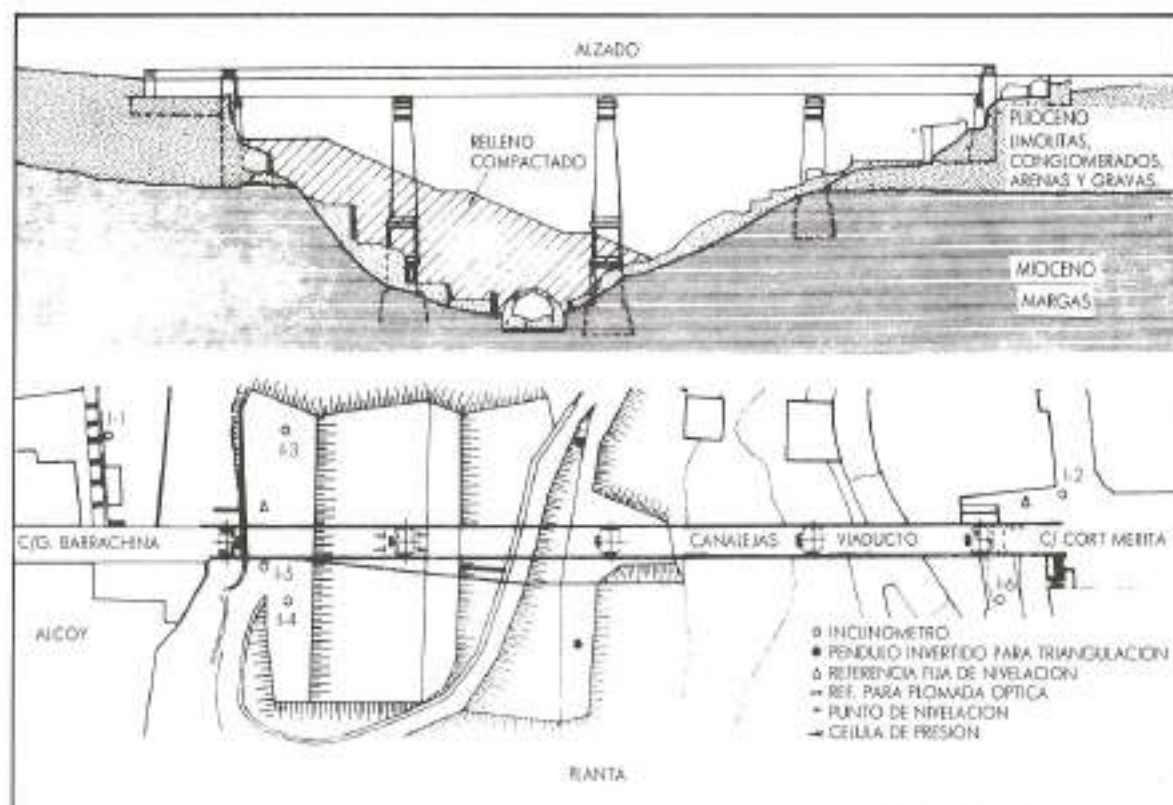


FIGURA 1. Planta y alzado del Viaducto de Canalejas, con descripción general del terreno y disposición de la instrumentación.

tico de los movimientos de las laderas y el puente, así como de la apertura de las grietas. La estabilidad de la ladera izquierda se consideró precaria y urgente la adopción de las oportunas medidas. Los trabajos se iniciaron en 1980.

Se decidió también realizar un nuevo estudio del terreno incluyendo sondeos y la instalación de varios instrumentos tales como inclinómetros, extensómetros, células de medida de presión y monolitos para observaciones topográficas. Había serios temores referentes a la influencia del relleno estabilizador en la estructura del Viaducto, especialmente en lo relativo a empujes laterales y fricción negativa en las pilas parcialmente enterradas, con los consiguientes asentamientos, basculamientos, incrementos de presión sobre las cimentaciones, etc. La pila izquierda fue recubierta lateralmente con 20 cm de poliuretano expandido antes de construir el relleno y se limitó su compactación alrededor de la misma.

3. RECONOCIMIENTO Y DESCRIPCION DEL TERRENO

Con objeto de clarificar la situación, la Dirección General de Carreteras encargó un informe al La-

boratorio de Carreteras y Geotecnia «José Luis Escario», que fue llevado a cabo por los autores. Se ejecutaron diez nuevos sondeos con toma de muestras inalteradas y ensayos de penetración SPT, así como once ensayos de penetración dinámica durante el año 1981.

La parte inferior del terreno consiste, como puede verse en la figura 1, en margas de duras a firmes, de color marrón rojizo, así como en margas limosas grises y blancas del Mioceno, con niveles elásticos esporádicos de gravas. Pasa por el tamiz 200 más del 80 %; w_L , 30 a 70; PI , 15 a 45; w , 13 a 35 %; índice de consistencia, 0,75 a 1,25; γ_{sat} , 1,5 a 1,8; e , 0,5 a 0,8; q_u , 0,1 a 1,8 MPa (media 0,6; sin incremento claro con la profundidad); θ_v medio = 24° , c_{eu} = 0,07 MPa; θ' medio de pico = $41,5^\circ$, $c' = 0$; carbonato cálcico, 32 a 78 %.

Descansando sobre las margas hay una formación pliocena consistente en areniscas y limolitas arcillosas calcáreas de colores gris, marrón y rojizo. Son heterogéneas y están cementadas de manera irregular y contienen lentejones de conglomerados así como arenas, gravas y algunos bolos. Su espesor en los alrededores del Viaducto es de unos 25 m. En las proximidades se mantienen con pen-

dientes casi verticales de considerable altura. Pasa por el tamiz 200, de 40 a 70 %, plasticidad baja a media; w, 15 a 35 %; índice de consistencia, 0,5 a 1; γ_d , 1,4 a 1,85; ϕ' 28 a 35°; carbonato cálcico, 50 %.

Las laderas del valle están cubiertas por rellenos heterogéneos con una altura máxima de unos 10 m, limitados por muros de mampostería. Sus características geotécnicas son irrelevantes.

El relleno se construyó con arcilla arenosa de plasticidad media. Su resistencia al esfuerzo cortante es muy variable. En el reconocimiento se han atravesado zonas amplias de baja resistencia, incluyendo niveles de resistencia muy baja (a profundidades entre 4 y 7 m bajo la plataforma superior). La resistencia a compresión simple ha variado desde 0 a 0,3 MPa. Los resultados de los ensayos triaxiales CU dieron $\phi_{cu} = 23^\circ$, $\phi' = 31^\circ$, $c_{cu} = c' = 0$.

No se han detectado aguas freáticas al ejecutar los sondeos, sin embargo, tienen que existir algunos niveles colgados en el Plioceno dentro de los horizontes clásicos y en el contacto con el Mioceno, puesto que se han excavado galerías de captación durante siglos.

Las cimentaciones de las pilas son sobre zapatas (apoyadas en las margas miocenas, excepto la del estribo derecho) como se muestra en la figura 1.

4. EQUIPO DE AUSCULTACION

Durante un período de año y medio se han tomado los siguientes tipos de medidas para controlar el comportamiento del Viaducto y trabajos de estabilización:

- Asientos de pilas y estribos.
- Desplazamientos horizontales absolutos de las cabezas de las pilas y estribos.
- Movimientos horizontales de las cabezas de las pilas y estribos con relación al tablero de acero.
- Basculamiento de pilas y estribos utilizando plomada óptica y clinómetros.
- Apertura y desplazamientos tangenciales de una serie de grietas, tanto en el Viaducto como en los edificios y calles próximas.
- Desplazamientos horizontales del terreno a lo largo de líneas verticales (clinómetros) en seis emplazamientos.
- Empujes de tierras en el estribo izquierdo.

Los emplazamientos de los distintos elementos de medida se muestran en la figura 1.

Los asientos se midieron mediante nivelaciones de alta precisión. Para el estudio de cada uno de

los estribos se instalaron tres referencias fijas formadas por redondos de acero de 32 mm de diámetro anclados profundamente en las margas y rodeados por una tubería de polietileno y una mezcla plástica de bentonita-cemento en los anillos circulares que quedaban interior y exteriormente a la misma.

Los movimientos horizontales se siguieron por triangulación topográfica. El problema principal consistía en disponer de dos puntos realmente fijos para la base. Con este fin se instalaron dos péndulos invertidos anclados a 30 m de profundidad en las margas a través de perforaciones entubadas de 300 mm de diámetro. Por este procedimiento se pudo crear una base perpendicular al Viaducto de 43 m de longitud con sus extremos no afectados por los movimientos del terreno; el teodolito se emplazaba con mucha precisión utilizando su plomada óptica justo en la vertical de un punto especialmente señalado en el centro del flotador del péndulo.

El basculamiento de pilas y estribos se midió con una plomada óptica que permitía visar desde el terreno a reglillas graduadas situadas en posición horizontal que habían sido fuertemente adheridas en diferentes niveles del elemento estructural correspondiente. La precisión obtenida de esta forma fue mucho mejor que con el clinómetro comercial utilizado, resultando además el procedimiento muy rápido y de sencilla aplicación.

Los inclinómetros eran del tipo de acelerómetro, con un torpedo que se hace descender a lo largo de una tubería de guía.

Los empujes de tierra en el estribo izquierdo se midieron por medio de células de presión del tipo Glöetz. Como surgieron algunas dudas sobre parte de las lecturas realizadas, se recurrió también a otro procedimiento. Como se indicó anteriormente, la pila izquierda se había rodeado con varias capas de poliuretano expandido para disminuir la fricción negativa. La curva carga-deformación de este material tiene una forma muy típica, con un punto de fluencia bastante pronunciado, según puede verse en la figura 2, donde se representan unos ensayos realizados en el edómetro con muestras de 2 cm de espesor del material realmente utilizadas en este lugar. Cada punto de la curva se obtuvo con una muestra diferente, hasta que se llegó a la estabilización; después se descargaba para obtener los puntos de la curva superior. A intervalos de 2 m se extrajeron muestras del poliuretano que rodeaba a la pila y se midieron los correspondientes espesores, lo que permitió una estimación indirecta aproximada a los empujes de tierra que realmente actuaron.

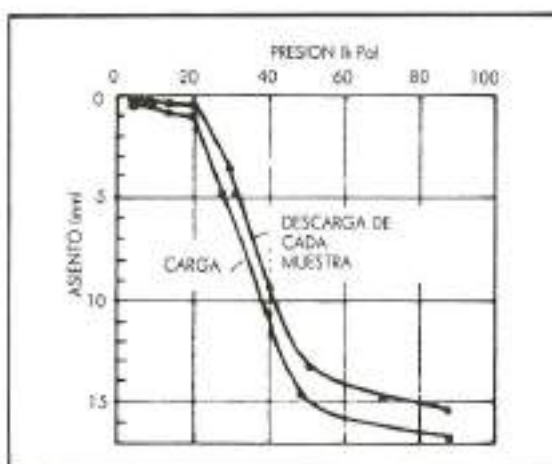


FIGURA 2. Ensayos edométricos con poliuretano expandido. Cada ensayo con muestra nueva. Curva superior resultados después de cada descarga.

5. ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LA AUSCULTACION

En la figura 3 se representa la variación de la presión de tierras con la profundidad en la pila izquierda. Los puntos llenos corresponden a medidas confiables de las células de presión, mientras que el vacío no es completamente confiable. La línea continua da los valores de las presiones de tierra estimadas a partir de las muestras tomadas de poliuretano. La concordancia entre ambos tipos de medidas es muy razonable. La presión a nivel de la plataforma parece ser superior a cero y aumenta linealmente con la profundidad hasta 10,5 m, tendiendo después a disminuir. El valor máximo es del orden de 36 kPa, mucho menor que el del empuje al reposo.

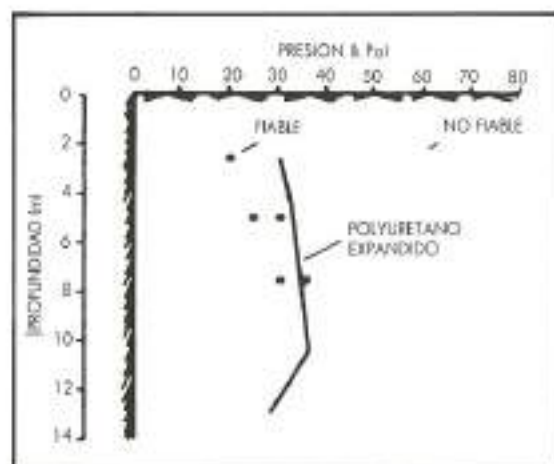


FIGURA 3. Presiones laterales en la pila izquierda medidas con células de presión y con poliuretano expandido.

Todos los inclinómetros del lado izquierdo del valle han mostrado desplazamientos hacia el río. Los más importantes se detectaron entre noviembre y diciembre de 1981 (figura 4), con un movimiento horizontal de unos 20 mm en los 14 m superiores del emplazamiento del inclinómetro n.º 1. La apertura de las grietas principales en los edificios y en la calle que conduce al Viaducto mostraron también un apreciable incremento durante dicho período de tiempo. De estas observaciones y de los valores de las presiones en la pila izquierda se dedujo que el relleno no era estable y no había servido para cumplir el propósito de estabilizar el talud. Se puede suponer la existencia de una línea de deslizamiento como la mostrada en la figura 4. Sin embargo, el poliuretano expandido parece haber sido muy útil para reducir las presiones laterales en la pila.

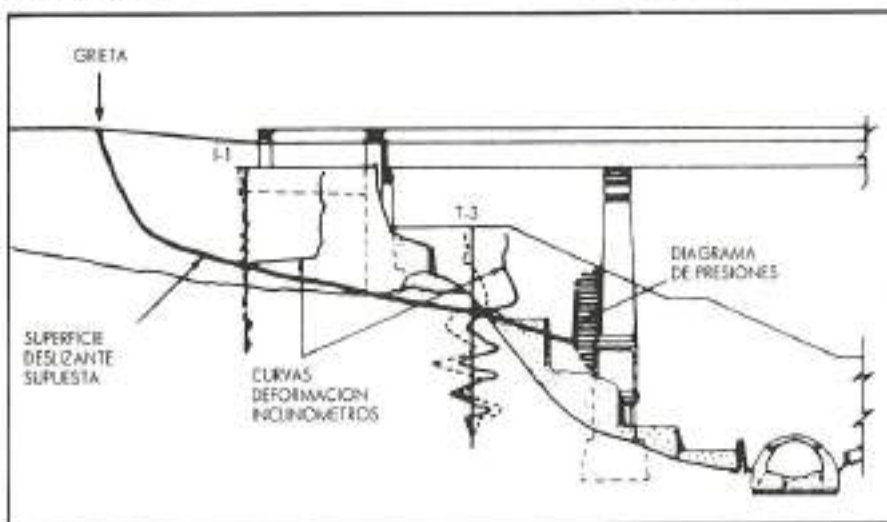


FIGURA 4. Deformaciones medidas con los inclinómetros y superficie de deslizamiento supuesta. Presiones laterales en la pila izquierda.

Las lecturas de los inclinómetros en el lado derecho del valle mostraron una estabilidad casi absoluta en las dos direcciones (paralela y perpendicular al cauce).

Con la plomada óptica se efectuaron las siguientes observaciones:

- El estribo izquierdo estaba girando en el sentido de las agujas de un reloj (mirando desde el cauce) con respecto a un eje paralelo al Viaducto; la velocidad media era de 3 segundos/mes, aunque se observó un aumento brusco entre noviembre y diciembre de 1981.
- La pila izquierda estaba girando en el sentido de las agujas de un reloj (mirando desde aguas arriba) con respecto a un eje perpendicular al Viaducto, a una velocidad media de 3,7 segundos/mes. La misma tendencia se observó en la pila central (velocidad media, 2 segundos/mes). El estribo derecho estaba girando en el sentido contrario de las agujas de un reloj (velocidad media 2 segundos/mes, con un máximo de 40 segundos/mes en julio de 1981).

En cuanto a las nivelaciones de alta precisión se hicieron las siguientes observaciones:

- El estribo izquierdo asentaba a una velocidad en 1 mm/año, siendo la velocidad aguas arriba ligeramente inferior a la de aguas abajo y el asiento bastante uniforme en la dirección paralela al Viaducto.
- El borde superior izquierdo de la pila izquierda se movía hacia arriba a una velocidad de 0,5 mm/año. Este movimiento es concordante con el basculamiento originado por las presiones del relleno.
- El estribo derecho asentaba a una velocidad casi constante de 3 mm/año.

De los movimientos relativos entre el tablero y las pilas y estribos se sacaron las siguientes conclusiones:

- El estribo izquierdo se movió hacia el cauce unos 10 mm durante el período de observación.
- La parte superior de la pila izquierda se movía hacia el cauce a una velocidad media de 17,5 mm/año. La parte superior de la pila derecha también se movía hacia el cauce (velocidad media 4 mm/año).

No se detectaron desplazamientos significativos en la pila central y estribo derecho.

La mayoría de las grietas observadas permanecieron prácticamente estabilizadas. Las grietas situadas en los edificios y en la calle de acceso al

Viaducto desde el lado izquierdo del valle, situadas a unos 45 m del estribo izquierdo, mostraron una tendencia a abrirse a una velocidad media de 1,5 mm/año.

Del análisis de toda la información se sacaron las siguientes conclusiones:

- El lado derecho del valle se consideró suficientemente estable.
- Los asientos del estribo derecho se atribuyeron a pérdidas de material sólido del terreno causadas por procesos de disolución y de erosión interna. Se habían observado en efecto pérdidas frecuentes de agua del abastecimiento y alcantarillado en las proximidades.
- La ladera izquierda era inestable antes y después de la construcción del relleno estabilizador. El mecanismo de deslizamiento más probable era del tipo de traslación, a lo largo del contacto entre las formaciones miocena y pliocena, con una resistencia al esfuerzo cortante movilizadas de unos 18°. Se estima que el relleno interrumpió o dificultó el drenaje natural de la ladera.
- Los asientos del estribo izquierdo son concordantes con los desplazamientos horizontales y el mecanismo de traslación descrito.
- Las pilas no asentaban pero giraban. La carga máxima estimada sobre la base de la cimentación de la pila izquierda era de 0,7 MPa. Todas las secciones horizontales estaban comprimidas.

6. MEDIDAS ADOPTADAS PARA LA ESTABILIZACION

Los problemas de la ladera derecha del Viaducto están principalmente relacionados a asientos lentos pero permanentes. A causa del origen supuesto, junto a las condiciones existentes del terreno, la solución parece difícil y muy cara. Se desechó la posible solución de tipo inyección por considerarse de eficacia dudosa y poder ser causa de nuevas inestabilidades al poder originar presiones de agua como consecuencia de las alteraciones en el drenaje. La solución de recalce con micropilotes se consideró excesivamente costosa. Puesto que este problema no afecta a la seguridad de la ladera y del Viaducto, se decidió simplemente adoptar las medidas adecuadas para recuperar los asientos de cuando en cuando.

Para estabilizar totalmente la ladera izquierda y el correspondiente estribo, así como para eliminar el empuje asimétrico en la pila izquierda, se consideraron diversas soluciones con los correspondientes análisis. En la figura 5 se muestra la

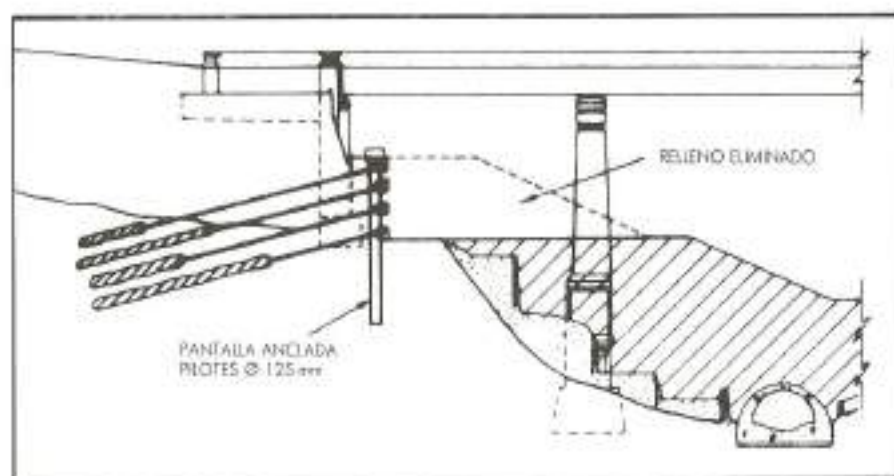


FIGURA 5. Solución adoptada.

finalmente adoptada. Consiste básicamente en disminuir el empuje horizontal originado por el relleno en la pila izquierda excavando los 11 m superiores del mismo.

El efecto estabilizador correspondiente se sustituye por una pantalla de pilotes in situ anclada, que al mismo tiempo aumenta la estabilidad general de la ladera.

Los pilotes son de 1,25 m de diámetro y están separados entre sí 0,25 m con objeto de permitir el drenaje natural del terreno. Su longitud es de 23,5 m en la mayor parte de la pantalla, que tiene una anchura total de 100 m.

Los anclajes pretensados en el tercio central de toda la anchura de la pantalla (ver figura 5) se han colocado en cuatro líneas horizontales, habiéndose situado en los espacios entre pilotes, quedando separados 2,6 m en dirección vertical y 3,0 m en la horizontal. Su longitud es en la mayoría de los casos de 44 m con un mínimo de 35 m. Han sido pretensados entre 73 y 105 t. El número

de anclajes disminuye hacia los extremos. Su instalación se fue efectuando en niveles sucesivos, según avanzaba la excavación de la parte superior del relleno.

Se continúa la auscultación después de terminada la construcción, pero los resultados no son aún concluyentes, ya que solamente se han tomado unas pocas medidas después de renovar parte del equipo dañado durante la ejecución de los trabajos.

7. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido promovido por la Dirección General de Carreteras del M.O.P.U. y queremos agradecerle el permiso para publicar estos resultados. Los ingenieros del C.E.A.T. de Valencia, C. Toro y M. Chuliá han efectuado el proyecto final de la pantalla de pilotes anclada y han dirigido su construcción, que ha sido ejecutada por Dragados y Construcciones, S. A.

OLLEARIS

**Alta tecnología en fabricación por "Filament Winding"
de Tuberías en Poliéster/Vidrio
para abastecimientos y saneamiento**

HOMOLOGADA POR EL MOPU
15-9-86 BOE n.º 228 de 23-9-86

Ventajas:

- Excelentes propiedades hidráulicas que se traduce en la reducción del diámetro con relación a los materiales convencionales.
- Ligereza de peso, del orden de 5 veces inferior al de las tuberías tradicionales, lo que facilita su instalación.
- Alta resistencia mecánica, similar a la del acero según sea la dirección de la carga.
- Gran resistencia química, incluso en su superficie exterior, lo que permite su utilización en terrenos salinos o contaminados.
- Buen comportamiento al aplastamiento y frente a los asentamientos diferenciales.

Aplicaciones:

CANALIZACIONES PARA:

- Saneamiento o alcantarillado
- Agua potable o de mar.
- Efluentes industriales.
- Industrias químicas (para química y del petróleo).

- Redes contra incendio.
- Circuitos de refrigeración.
- Sistemas de riego.
- Tratamiento de aguas y desalinización.
- Centrales hidroeléctricas.



Nuestros productos:

- Tuberías y accesorios • Tanques y depósitos
- Sistemas y contenedores de transporte homologados ADR • Torres de lavado
- Chimeneas • Recubrimientos • Juntas y fuelles
- Pavimentos

Materiales:

- Poliéster reforzado con fibra de vidrio
- Termoplásticos (PVC, PP, PVDF, etc.)
- Termoplásticos reforzados con políester-vidrio
- Plomo puro y aleado
- PTFE (Politetrafluoretileno)



Calle Mollet, s/n.
Pol. Ind. Rocas
Tel: 925 522 22 00
Tele: 97425 ALLE
Fax: 593 35 18
Mantecillas del Vallès
(Barcelona-España)
Apart. 146 de Mollet del Vallès

Fábricas en: SEVILLA y MARRUECOS

OLLEARIS, S.A.

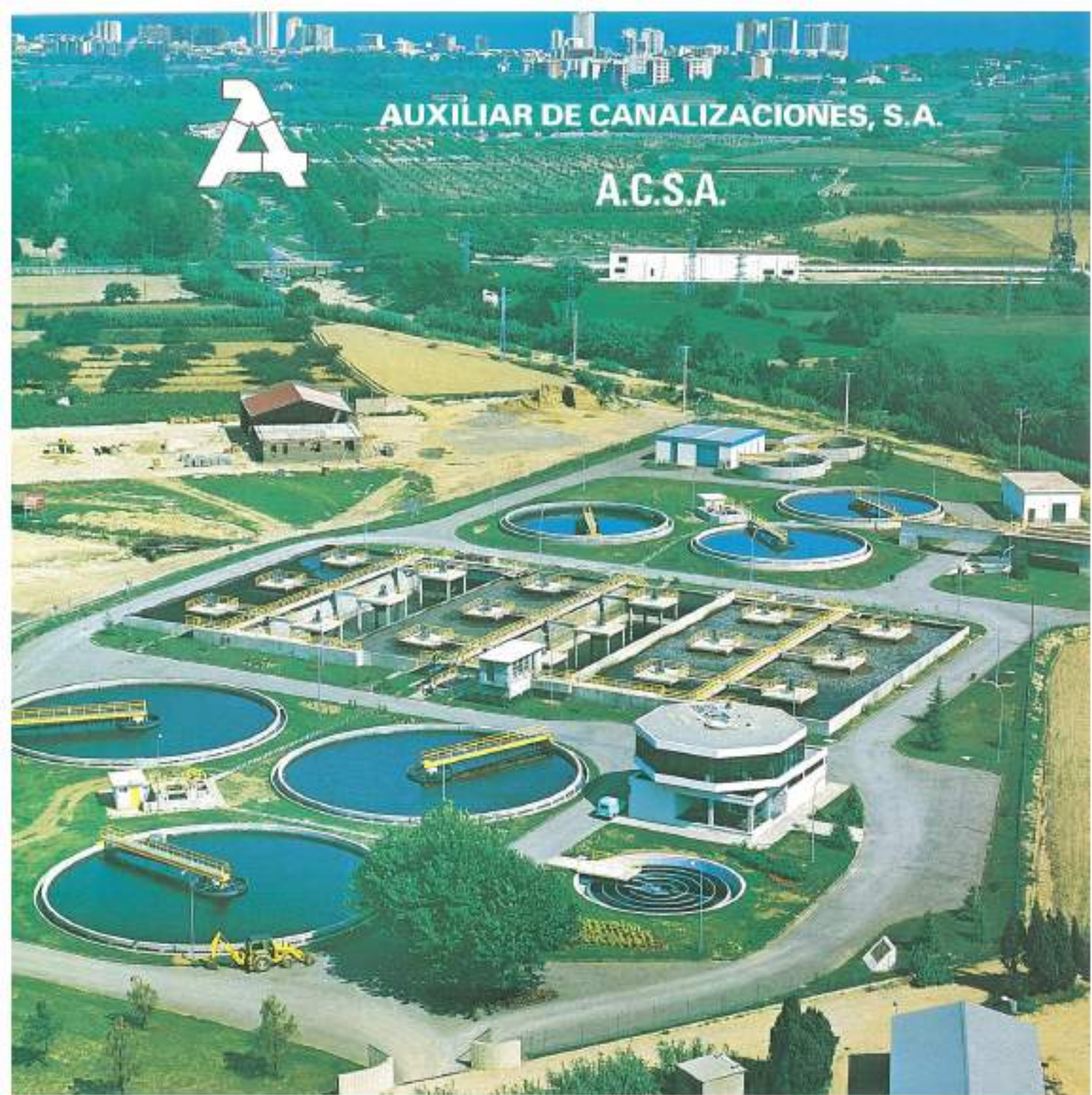
50 años de experiencia nos avalan

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE:
EQUIPOS, DEPÓSITOS Y TUBERÍAS EN:
POLÍESTERES REFORZADOS, TERMOPLÁSTICOS (PVC, PP, PTFE)



AUXILIAR DE CANALIZACIONES, S.A.

A.C.S.A.



Abastecimientos de agua, Depósitos
Estaciones depuradoras, Redes de saneamiento
Emisarios submarinos
Gasoductos
Conservación de redes
Galerías, defensas de cauces, muros de contención
Instalaciones de bombeo y pavimentaciones

Central:

Manso Casanovas, s/n.
Tel.: 236 87 00 - 08026 BARCELONA

Oficina:

Marqués de la Ensenada, 14
Tel.: 410 15 50 - 28004 MADRID

Delegaciones:

Brasil, 19 - Tel.: 70 52 16
46003 VALENCIA
Escultor Galmes, 2 - Tel.: 29 25 24
07004 PALMA DE MALLORCA
Camino de Purchill, s/n.
(Fte. Molino La Torrecilla)
Tel.: 257 56 62 - GRANADA