

## SEGUIMIENTO GEOMÉTRICO DE TERRAPLENES MEDIANTE LÍNEAS CONTINUAS DE ASIENTO EN LA VEGA BAJA DEL SEGURA. ALICANTE.

Roberto Tomás Jover (1), Artemio Cuenca Payá (2), José Delgado Marchal (3), Cesar Doménech Morante (4), Irene Sentana Gadea (1)

<sup>(1)</sup>Universidad de Alicante, España

Escuela Politécnica, Departamento de Expresión Gráfica y Cartografía

Correo electrónico: [roberto.tomas@ua.es](mailto:roberto.tomas@ua.es)

<sup>(2)</sup>Laboratorio de Carreteras de la C.O.P.U.T. de Alicante.España

Correo electrónico: [artemio.cuenca@coput.m400.gva.es](mailto:artemio.cuenca@coput.m400.gva.es)

<sup>(3)</sup>Universidad de Alicante, España

Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente

Correo electrónico: [jose.delgado@ua.es](mailto:jose.delgado@ua.es)

<sup>(4)</sup>Instituto Técnico de la Construcción S.A., España

Area de Geotecnia

Correo electrónico: [geotecnia@itcsa.es](mailto:geotecnia@itcsa.es)

### RESUMEN

La Vega Baja del Segura (Alicante) se caracteriza por la baja resistencia portante de los suelos y en consecuencia por las grandes deformaciones que sufren las construcciones que sobre ellos se levantan.

La gran demanda turística de vías de comunicación con la costa sur de la provincia de Alicante ha obligado a construir diversas carreteras cuyos terraplenes alcanzan alturas superiores a los 8 m, así como deformaciones decimétricas y en algunos casos excepcionales de magnitud métrica.

Las líneas continuas de asiento es una técnica innovadora que se lleva utilizando durante algunos años en la Vega Baja y que evita los laboriosos procedimientos de auscultación topográfica, sirviendo de instrumento de seguimiento geométrico de los mismos y permitiendo la representación gráfica del terraplén original y de su deformada. Esta técnica permite además a la Administración establecer los volúmenes de tierra necesarios para compensar el hundimiento de los terraplenes de forma exacta.

Con el presente trabajo se pretende dar a conocer la metodología de las líneas continuas de asientos, así como mostrar algún ejemplo real de aplicación de las mismas, mostrando la evolución geométrica del terraplén en el tiempo y mostrando el procedimiento de cálculo de volúmenes.

**Palabras clave:** Líneas continuas de asiento, terraplenes, cubicación

### ABSTRACT

The Vega Baja of the Segura River (Alicante province) is characterized by the very low bearing capacity and the large ground settlement produced in the constructions made on this ground.

The tourist boom has produced a demand of new roads to communicate this area with the rest of the province. These embankments are usually bigger than 8 m high and they produce deformations of decimetric and sometimes metrics magnitude.

The hydrostatic profile gouge is a new technical that is being used for some years in this area to avoid the laborious techniques of topographic auscultation. This is an instrument of geometric monitoring that allows the graphic representation of the original and the deformed embankment. This technique allows calculating exactly the fill volumes necessities to compensate the sink of the embankments.

The present work pretends to explain the methodology of the hydrostatic profile gouge, showing some real example of application of it, and drawing the geometric evolution of the embankment in time, showing the volume calculus development.

**Key words:** hydrostatic profile gouge, embankments, cubications

# 1 Introducción

La Vega Baja del Segura está situada en el extremo oriental de la Cuenca del Bajo Segura (Montenat, 1977) en la provincia de Alicante. Comprende una antigua llanura de inundación por la que discurre el río Segura en su tramo final. La acumulación continuada de materiales finos a lo largo de su historia geológica ha constituido depósitos con potencias que llegan hasta más de 40 m de espesor y con unas propiedades resistentes muy bajas que ocasionan asientos de gran magnitud en las estructuras que se construyen sobre estos terrenos.

Por otro lado, la necesidad de infraestructuras de comunicación entre las zonas turísticas del sur y del norte de la provincia ha fomentado la construcción de nuevas vías de comunicación que atraviesen estos terrenos de mala calidad.

Las líneas continuas de asiento (hydrostatic profile gauge) proporcionan una metodología para la lectura continua de asientos en elementos constructivos como terraplenes, tanques de carburantes, cimentaciones de edificios, presas de tierra, etc. Su fácil manejo hace que este sistema facilite un buen instrumento para la auscultación de terraplenes, lo que ha hecho que sea elegido como herramienta de auscultación frente a otros instrumentos habilitados para tal fin como son las células de deformación, las placas de asiento, etc.

## 2 Medición de asientos en terraplenes de la Vega Baja

Las líneas continuas de asiento (LCA) consisten básicamente en colocar perpendicularmente al eje del terraplén una manguera flexible. Esta manguera irá colocada en una pequeña zanja con arena, excavada en la misma cimentación del terraplén. El terraplén se irá construyendo sobre la línea, de manera que según se deforma el terreno por el efecto de la superestructura, la propia manguera se deformará también de forma solidaria. Si de algún modo conseguimos medir la deformación de la manguera, podremos conocer, con total precisión, la magnitud y la distribución de asientos bajo del terraplén.

El sistema tiene un alcance operativo máximo de 100 m ó 200 m si ambos extremos son accesibles. Su precisión es de  $\pm 10$  mm y los datos son fiables hasta un rango de deformación de 5 m.

A continuación veremos con más detalle cada uno de los elementos que constituyen la línea continua de asiento.

### 2.1. Manguera

La línea en sí está constituida por la manguera, destinada a quedar embebida en el terreno, en el mismo contacto relleno-cimiento. Esta debe ser lo suficientemente flexible longitudinalmente como para permitir su adaptación a la deformada del perfil del terreno, y a su vez, lo suficientemente rígida y resistente transversalmente como para impedir su aplastamiento por las presiones debidas a la sobrecarga del relleno y el efecto de la compactación. Hasta ahora, la solución perfecta ha sido la utilización de mangueras de plástico rigidizadas mediante espirales metálicas de desarrollo longitudinal.

El diámetro de estas mangueras ha de ser lo suficientemente grande como para permitir el paso del torpedo metálico rígido, aun con puntos cuya curvatura sea muy importante; además, este ha de ser lo suficientemente reducido como para que el mismo quede siempre en la misma posición dentro de la sección del tubo. En la Vega Baja, las mangueras utilizadas tienen un diámetro interior de 100 mm.

La manguera, tal y como ya se ha indicado, va alojada en el interior de una pequeña zanja rellenada con arena con el fin de proporcionar un asiento inferior y superior homogéneo. La arena deberá estar exenta de gruesos, que podrían ocasionar roturas localizadas por punzonamiento en la manguera.

La principal ventaja de las líneas continuas de asiento con respecto a otros sistemas de medida in situ, tales como las placas de asiento o el levantamiento de perfiles topográficos transversales, estriba en la mayor operatividad del sistema, ya que las máquinas pueden circular libremente por el terreno posteriormente a su colocación, haciendo innecesarias los molestos cuidados inherentes a los otros sistemas.

## 2.2. Arquetas

La misión principal de las arquetas de medida no es otra más que la de proteger los extremos de la manguera de manera que impida la manipulación del extremo de la misma y su obstrucción desde el exterior. Es por lo tanto recomendable el proceder al cierre con una tapa metálica con talle, en obras que generalmente quedan en campo abierto.

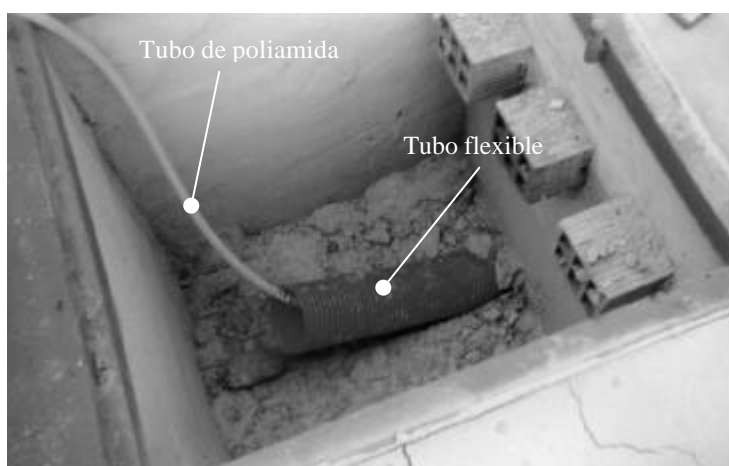


Figura 1.- Vista interior de una arqueta durante la operación de tomas de datos con la UAD.

Desde el punto de vista constructivo, las arquetas se confeccionarán de ladrillos o bloques trabados entre sí por medio de mortero y enlucidos en toda su superficie.

Las dimensiones de las arquetas dependerán de si el aparato de medida se coloca en el interior de la arqueta sobre un mismo punto de referencia, en cuyo caso deberá tener mayores dimensiones que las arquetas en las que el aparato de medida se coloque en el exterior de la misma, apoyado sobre un trípode. En el primer caso, las dimensiones aconsejables son 2 x 2 x 0.6 m como las que se construyeron en el Eje Crevillente-Torre vieja; en el segundo caso se recomienda unas dimensiones de 1 x 1 x 0.6 m, tal y como son las de la Carretera Rojas-Guardamar y la Ronda de Almoradí.

En el interior de la arqueta dispondremos de un punto de referencia con respecto al cual se realizará la medida de los asientos. Generalmente basta con disponer un ladrillo a modo de saliente, que nos servirá para apoyar el torpedo de lectura y utilizarlo siempre como punto común de referencia de toda las lecturas.

Las arquetas se situarán, a una distancia aproximada de 2 m medidos a partir de la arista del talud del terraplén. Cada arqueta se colocará a un lado del terraplén, y en ellas encontraremos los extremos de la manguera.

### 2.3. Dispositivo de medida de asientos.

Como bien sabemos por hidráulica, la presión ejercida por un líquido en reposo sobre un punto situado en su seno, dependerá únicamente de la columna de líquido (H) que posea por encima dicho punto. Por lo tanto la presión en un punto dado tendrá como valor:

$$P = \gamma H g$$

donde  $\gamma$  es la densidad del líquido, H la diferencia de cota entre el punto considerado y la superficie libre del líquido y g la gravedad.

Si lo que tenemos es un tubo cerrado por el extremo inferior y totalmente relleno de agua, esta Ecuación General de la Hidrostática seguirá cumpliéndose de manera que la presión en el extremo inferior será igual a la diferencia de cota entre ambos extremos h y multiplicado por el peso específico  $\gamma$  del líquido que rellena el tubo.

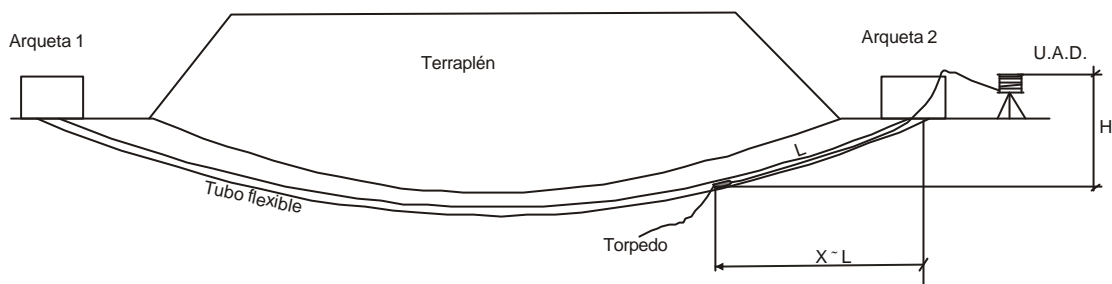


Figura 2.- Elementos de una línea continua de asiento

El dispositivo utilizado para medir los movimientos verticales de la manguera debido al asiento del terraplén consta básicamente de tres partes bien diferenciadas. En primer lugar tenemos un tubo de poliamida de unos 14 mm de diámetro exterior, relleno de agua y con una longitud suficiente como para atravesar transversalmente el terraplén de arqueta a arqueta. El tubo tiene acoplado en uno de sus extremos un detector piezométrico con un sistema de cuerda vibrante cuya misión es emitir una señal eléctrica que indique la presión existente en ese extremo del tubo por el efecto del agua. Esta señal es recibida en el otro extremo por el tercer elemento, la unidad de adquisición de datos (UAD) que es capaz de traducir dicha señal o impulso eléctrico en un valor numérico de presión, generalmente en mm de columna de agua.

En resumen, el dispositivo de medida de asientos se fundamenta en el principio básico de la Hidrostática, y para ello mide la diferencia de presión entre el extremo del tubo denominado torpedo, donde se encuentra alojado el sensor piezométrico, y un pequeño nivel situado en la UAD.

Si medimos diferencias de nivel entre un punto fijo exterior y puntos interiores a la línea de asiento podremos obtener el perfil de la deformada del perfil del terraplén, pues en definitiva, las lecturas de presión pueden traducirse fácilmente en valores de altura de carga o simplemente de diferencia de nivel.

El tubo de poliamida que se introduce por la manguera de la línea de asiento posee unas marcas situadas cada metro de longitud con el fin de poder obtener la ordenada ( $\delta = \gamma H g$ ) correspondiente a cada abscisa (x) y así poder obtener la deformada de la base del terraplén ( $\delta = f(x)$ ).

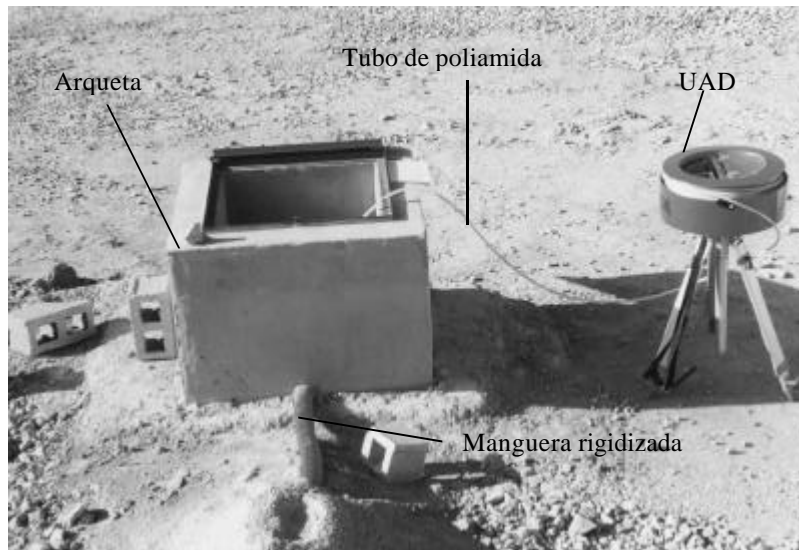


Figura 3.- Dispositivo de medida en posición de trabajo. Puede observarse la manguera flexible y la arqueta por la que se introduce el tubo de poliamida en cuyo extremo se sitúa el sensor piezométrico.

Como se ha comentado anteriormente, la arqueta presenta un ladrillo saliente donde se apoya el torpedo inicialmente con el fin de establecer una cota de referencia a la cual irán referidas todas las lecturas posteriores. Sin embargo, las arquetas, generalmente, suelen sufrir desplazamientos verticales como consecuencia del hinchamiento del terreno anexo al terraplén, por esta razón, las lecturas suelen tomarse respecto a otra referencia externa, lo suficientemente alejada del terraplén como para que no se vea sometida a la influencia de este, de manera que nos proporcione un punto de cota constante a lo largo del tiempo.

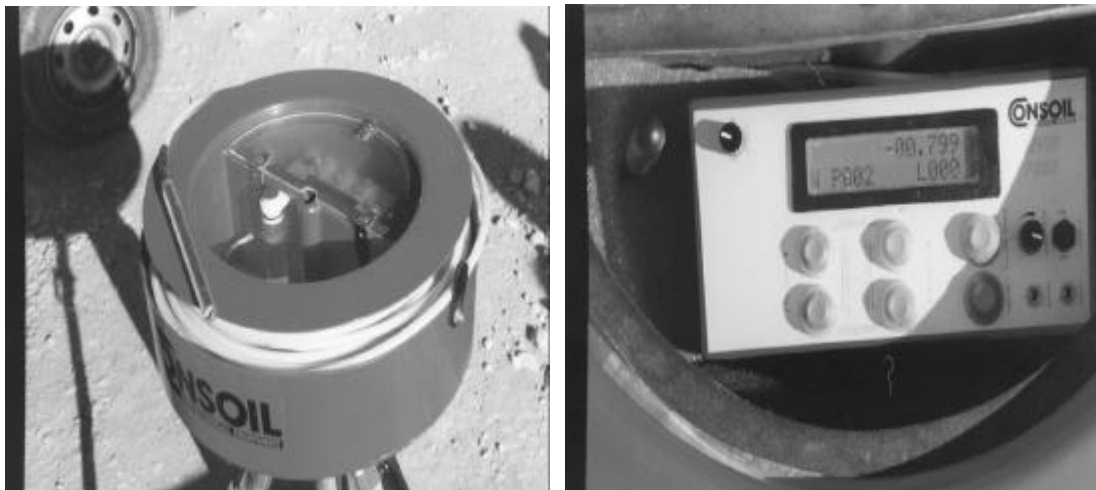


Figura 4.- Detalle de la unidad de adquisición de datos (UAD). En la imagen de la izda. Puede también observarse el sensor piezométrico y el nivel de agua de referencia.

Otra solución consiste en efectuar nivelaciones topográficas de la arqueta cada vez que se vaya a efectuar una lectura de la línea de asiento, con el fin de detectar estos posibles movimientos y poderlos corregir, en el cálculo de la deformada. Es evidente, que este método, aún siendo totalmente preciso supone un coste adicional importante.

### 3 Obtención de la deformada del terraplén

A partir de las lecturas de los asientos medidas a lo largo del tiempo mediante las LCA podemos representar, llevando a cabo las correcciones oportunas, la deformada del terraplén (Fig. 5) que expresa la deformación vertical  $\delta$  para cada distancia horizontal  $x$ , donde  $x \leq L$ .

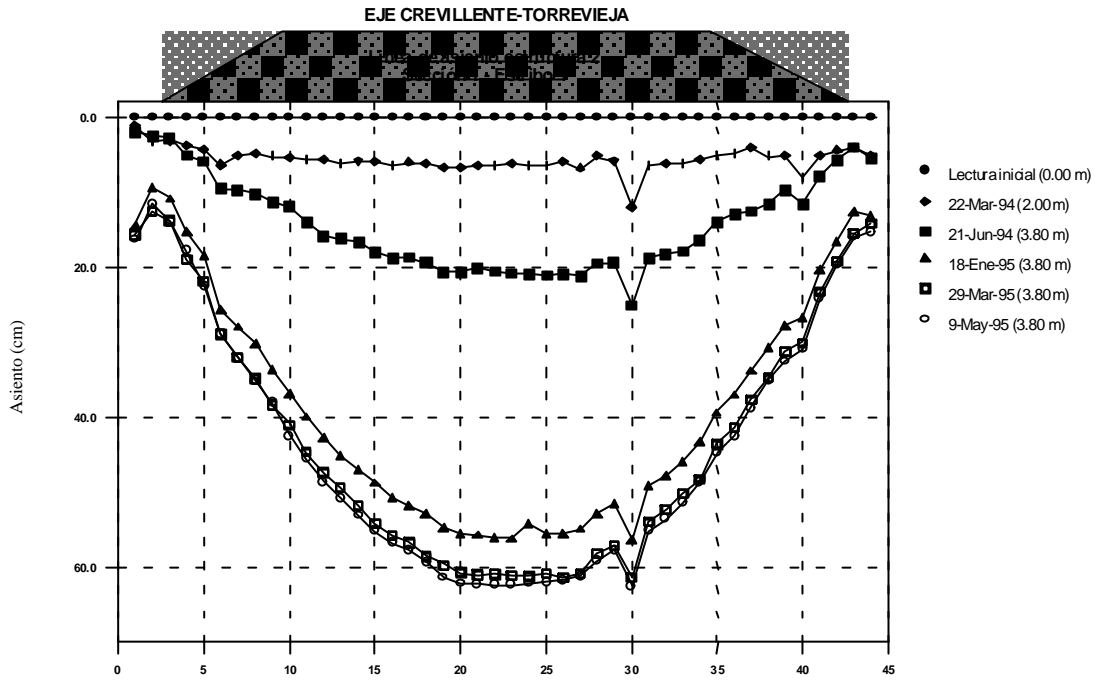


Figura 5.- Ejemplo de serie de lecturas realizado en un terraplén de la Vega Baja del Segura (asientos en centímetros).

Además, las LCA permiten llevar a cabo un control de los asientos producidos en la base del terraplén a lo largo del tiempo debido a procesos de consolidación del terreno bajo el relleno.

Los diferentes terraplenes instrumentados hasta el momento muestran asientos que varían desde una decena de centímetros hasta más de medio metro.

### 4 Determinación del perfil deformado del terraplén.

El perfil transversal del terraplén en un instante dado puede determinarse restando a cada punto de la superficie del terraplén la deformación o desplazamiento vertical medido en la LCA. Este procedimiento no es del todo exacto ya que se prescinde de los reajustes horizontales que se producen en el cuerpo del terraplén por deformación del mismo.

La secuencia temporal de asientos se utiliza para estimar la evolución de los asientos y los tiempos de espera en carga. Además, el perfil transversal definitivo interesa al ingeniero civil para determinar el estado en el que ha quedado el terraplén tras su asentamiento, así como para estimar los volúmenes de tierra adicionales que serán precisos verter para llevar el relleno a la cota de proyecto.

## 5 Determinación de los volúmenes adicionales.

El asiento del terraplén supone un descenso de la cota de su coronación que debe compensarse con un aporte adicional de material hasta alcanzar la altura de proyecto, ya que de lo contrario se producirían escalones inadmisibles en la unión terraplén estructura además de irregularidades en las pendientes del relleno por asientos diferenciales.

Este volumen adicional de tierras puede calcularse a partir de las lecturas de las LCA que nos permiten conocer la deformada de la base del terraplén (Fig. 5).

Si tomamos dos secciones de deformación contiguas (Fig. 6) y calculamos las respectivas secciones de deformación, es decir el área de terraplén que se encuentra por debajo de la línea del cimientado del propio terraplén, conocida la distancia que separa ambas secciones transversales se puede proceder de igual forma a como se trabaja en el cálculo de desmontes y terraplenes, considerando el volumen de deformación como un prismaoide cuyo volumen viene dado por:

$$V = \frac{S_{1\delta} + S_{2\delta}}{2} \times L$$

donde:

$S_{1\delta}$  es el área de la deformada correspondiente a la primera sección considerada

$S_{2\delta}$  es el área de la deformada correspondiente a la segunda sección considerada

y  $L$  es la distancia entre ambas secciones del terraplén

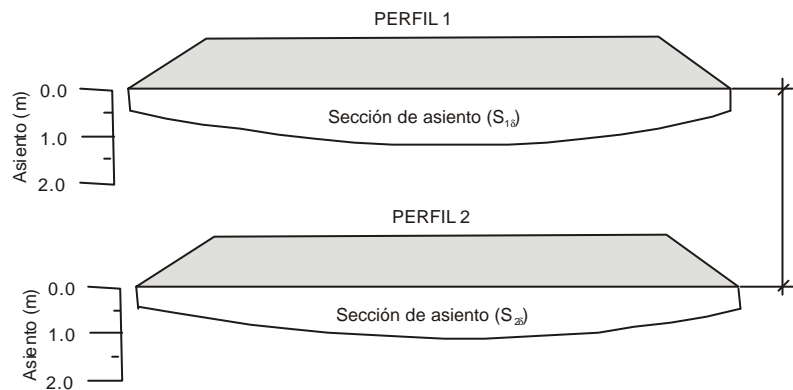


Figura 6.- Perfiles transversales de deformación.

## 6 Conclusiones

Las LCA proporcionan pues una metodología sencilla y de gran precisión que permite evaluar los excesos de material que es preciso aportar en los terraplenes situados bajo suelos muy deformables como los de la Vega Baja del Segura (Alicante) para compensar el “hundimiento” del propio terraplén en el terreno.

Las LCA permiten además conocer la evolución de los asientos así como estimar los tiempos de espera en carga de los terraplenes.

Además proporcionan datos de asiento que permiten el contraste de las hipótesis iniciales de deformación del terreno calculadas mediante métodos numéricos y analíticos para determinados estados de carga con el comportamiento real del terreno, colaborando así en un mejor conocimiento del comportamiento de los suelos blandos situados en la zona de estudio y aportando mejoras en el conocimiento científico del comportamiento reológico de estos suelos.

Sin embargo, la principal característica de este método es que evita el uso de procedimientos clásicos de auscultación topográfica sucesivas veces a lo largo de la evolución del terraplén.

## Referencias Bibliográficas

- 1) CELMA J., ROMANA M., (1997). II Curso sobre mejora del terreno. Valencia del 2 al 4 de Junio de 1997.
- 2) CUENCA PAYÁ A., DELGADO MARCHAL J., DOMENECH MORANTE C. Y TOMÁS JOVER R., (2000). Itinerarios Geológicos por la Provincia de Alicante y limítrofes. “El Cuaternario reciente de la Vega Baja del Segura: Problemática geotécnica”. Alicante.
- 3) DELGADO J., LÓPEZ CASADO C., ESTEVEZ A., GINER J., CUENCA A., MOLINA S., (2000). Mapping soft soil in the Segura River valley (SE Spain): A case of study of microtremors as an exploration tool. *Journal of App. Geophysics*.
- 4) DELGADO MARCHAL, J. (1997). Zonificación sísmica de la Vega Baja del Río Segura: Análisis de la respuesta del suelo. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante.
- 5) MONTENAT C. (1977). Les bassins neogenes et quaternaires du Levant d’Alicante a Murcie (Cordilleres Betiques orientales, Espagne). *Deoc. Lab. Geol., Universidad de Lyon n°69*, 345 p.
- 6) OTEO MAZO C., (1997). Jornadas técnicas de Ingeniería Geológica y Geotécnica de Infraestructuras Lineales. Problemáticas especiales en terrenos blandos. Técnicas de tratamiento y mejora. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, octubre 1997.
- 7) TOMÁS JOVER R., (1998). Estudio sobre los asentamientos producidos en los suelos blandos de la Vega Baja del Segura. Roberto Tomás Jover. T.F.C. Escuela Politécnica Superior de Alicante.