

# CUADERNOS INTEMAC

Instrumentación geotécnica de una obra marítima: dique de abrigo de la  
ampliación del Puerto de Alicante

*Geotechnical instrumentation on maritime structures:  
dyke on the enlargement of Alicante Port*

Carlos Eleno Carretero  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Autoridad portuaria de Alicante  
Jefe de Departamento de Infraestructuras

M<sup>a</sup> José Ruiz Fuentes  
Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos  
INTEMAC  
Jefa de la UAT Ampliación Puerto de Alicante

Pablo Usillos Espin  
Licenciado en Ciencias Geológicas  
INTEMAC  
Jefe de la UAT Metronorte Tramo 1B



METIRE UT SCIAS

**INTEMAC**

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

**N.º 63**

**3.º TRIMESTRE '06**





METIRE UT SCIAS

## INTEMAC

### INSTITUTO TÉCNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

CONTROL DE PROYECTO

CONTROL DE OBRA

GARANTÍA DE CALIDAD

( O.C.T. ) CONTROL PARA EL SEGURO DE DAÑOS

INFORMES DE PATOLOGÍA, REHABILITACIÓN Y REFUERZOS DE CONSTRUCCIONES

OBRAS PÚBLICAS  
EDIFICACIÓN  
INSTALACIONES



**INTEMAC**  
A U D I T

### AUDITORIA TÉCNICO-ECONÓMICA DE CONSTRUCCIONES

- ASESORÍA EN EL PLANTEAMIENTO Y EN LA CONTRATACIÓN DE LA OBRA
- SEGUIMIENTO DE COSTOS Y PLAZOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN
- VALORACIONES DE TERRENOS, INMUEBLES Y CONSTRUCCIONES
- AUDITORÍAS DE TRABAJOS PARCIALES Y DE LIQUIDACIÓN DE LA OBRA



**INTEMAC**  
E C O

### AUDITORÍA TÉCNICA MEDIOAMBIENTAL

**CONTROL DE IMPACTO AMBIENTAL**

Obras Públicas  
Edificación  
Instalaciones

**CONTROL DE CALIDAD AMBIENTAL**

Aire  
Agua  
Ruido

**AUDITORÍA MEDIOAMBIENTAL**

**ASESORAMIENTO EN MATERIA DE MEDIO AMBIENTE**

---

**INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA DE UNA OBRA MARÍTIMA: DIQUE DE ABRIGO DE  
LA AMPLIACIÓN DEL PUERTO DE ALICANTE**

---

**GEOTECHNICAL INSTRUMENTACION ON MARITIME STRUCTURES:  
DYKE ON THE ENLARGEMENT OF ALICANTE PORT**

Carlos Eleno Carretero  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Autoridad portuaria de Alicante  
Jefe de Departamento de Infraestructuras

M<sup>a</sup> José Ruiz Fuentes  
Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos  
INTEMAC  
Jefa de la UAT Ampliación Puerto de Alicante

Pablo Usillos Espin  
Licenciado en Ciencias Geológicas  
INTEMAC  
Jefe de la UAT Metronorte Tramo 1B

---

Copyright © 2006, INTEMAC

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida o distribuida de ninguna manera ni por ningún medio, ni almacenada en base de datos o sistema de recuperación, sin el previo permiso escrito del editor.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a data base or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

ISSN 1133 - 9365

Depósito legal: M-49879-2004

Invoprint, s.l.



---

## CONTENTS

1. INTRODUCTION
2. GEOTECHNICAL SOUNDING DESIGN
3. GENERAL DESCRIPTION OF THE SOUNDING SYSTEM
  - 3.1. SECTIONS MONITORED
  - 3.2. INSTRUMENTATION AND SITING
    - 3.2.1. *Monitoring total pressure*
    - 3.2.2. *Settlement monitoring*
    - 3.2.3. *Monitoring interstitial pressure*
    - 3.2.4. *Monitoring horizontal displacements*
  - 3.3. WIRING AND CENTRALIZATION
  - 3.4. SYSTEM FOR COLLECTING CONTINUOUSLY RECORDED DATA
4. INSTRUMENT INSTALLATION
  - 4.1. MARITIME RESOURCES AND ANCILLARY EQUIPMENT
    - 4.1.1. *Barge*
    - 4.1.2. *Boreholes*
    - 4.1.3. *Other maritime resources*
5. RESULTS AND CONCLUSIONS
  - 5.1. PIEZOMETERS
  - 5.2. TOTAL PRESSURE CELLS
  - 5.3. SETTLEMENT CELLS
  - 5.4. INCLINOMETERS
  - 5.5. DATA ANALYSIS
  - 5.6. CONCLUSIONS

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
2. PLANTEAMIENTO DE LA AUSCULTACIÓN GEOTÉCNICA
3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN.
  - 3.1. SECCIONES DE CONTROL
  - 3.2. APARATOS DE INSTRUMENTACIÓN Y SU LOCALIZACIÓN
    - 3.2.1. *Control de presiones totales*
    - 3.2.2. *Control de asientos*
    - 3.2.3. *Control de presiones intersticiales*
    - 3.2.4. *Control de desplazamientos horizontales*
  - 3.3. CABLEADO Y CENTRALIZACIÓN
  - 3.4. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE REGISTRO CONTINUO
4. INSTALACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN
  - 4.1. MEDIOS MARÍTIMOS Y EQUIPOS AUXILIARES
    - 4.1.1. *Plataforma*
    - 4.1.2. *Perforaciones*
    - 4.1.3. *Otros Medios Marítimos*
5. RESULTADOS OBTENIDOS Y CONCLUSIONES
  - 5.1. PIEZÓMETROS
  - 5.2. CÉLULAS DE PRESIÓN TOTAL
  - 5.3. CÉLULAS DE ASIENTO
  - 5.4. INCLINÓMETROS
  - 5.5. TRATAMIENTO ANALÍTICO DE LOS DATOS OBTENIDOS
  - 5.6. CONCLUSIONES

---

## ABSTRACT

*The present paper reports on the complex process involved in planning, designing and installing a geotechnical sounding system in the foundations of a maritime structure, as well as on the results and the conclusions obtained with such instruments.*

## 1. INTRODUCTION

The enlargement of Alicante Port called, among others, for construction of a dyke, for which purpose the Port Authority decided to conduct a survey of the geomechanical parameters governing the geotechnical behaviour of such a structure during construction, commissioning and subsequent use.

In light of the technical and procedural difficulties involved, erection of this new dyke required exhaustive research, meticulous design and strict construction control. A monitoring system was therefore indispensable for ongoing examination of the geotechnical response of the terrain during and after construction.

In keeping with the above, the Alicante Port Authority included the installation of a geotechnical instrumentation system as part of the works to be performed by the service providing technical support for the site supervision and inspection team and established a series of minimum requisites. INTEMAC participated in this part of the work as a member of the joint venture awarded the contract for site supervision and inspection team support.

The present paper discusses a number of issues relating to the definition of the control variables, type of instruments chosen, data collection and transmission system and processing and interpretation of the results obtained.

## 2. GEOTECHNICAL SOUNDING DESIGN

Based on the results of mechanical probes, a series of different lithostratigraphic units were identified in the area where the dyke was to be built, as follows:

- Grey or black silt with a very soft consistency, from 2 to 4 m thick.
- More or less sandy clays, ranging from a negligible height at the beginning of the dyke to a total of 3 metres.
- Coarse and medium grain sand with variable proportions of gravel. This unit contains layers of silty sand. This formation was thicker than could be determined at the survey depth.
- The tertiary substrate consisting of loam and sandstone that constituted the base conglomerate was located at depths of over 25 m in some areas.

The estimated arrangement of these materials is shown in the following longitudinal profile.



---

## RESUMEN

*El presente estudio trata del complejo proceso de planteamiento, diseño e instalación de un sistema de auscultación geotécnica en el sustrato de cimentación de una obra marítima, así como del manejo de los resultados y de las conclusiones que se pueden obtener a partir de ellos.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Dentro de las actuaciones para la Ampliación del Puerto de Alicante se encuentra la construcción de un dique de abrigo, para el que la Autoridad Portuaria ha considerado necesario realizar un estudio de la evolución de los parámetros geomecánicos que controlan su comportamiento geotécnico, tanto en el proceso de construcción como durante la puesta en servicio y la posterior fase de explotación.

La ejecución de este nuevo dique de abrigo, por su dificultad técnica y de proceso, exige medidas de investigación, proyecto y control de ejecución muy exhaustivas. Así, se hace imprescindible un sistema de monitorización de las obras, para ir contrastando las respuestas geotécnicas del terreno durante el proceso de construcción, y posteriormente a éste.

De acuerdo con todo ello, la Autoridad Portuaria de Alicante incluyó, dentro de los trabajos de Asistencia Técnica a la Dirección e Inspección de las obras, la instalación de un Sistema de Instrumentación Geotécnica, para la cual estableció una serie de actuaciones mínimas. INTEMAC ha participado en la realización de estos trabajos como integrante de la U.T.E. adjudicataria del mencionado Contrato de Asistencia Técnica a la Dirección e Inspección de las obras.

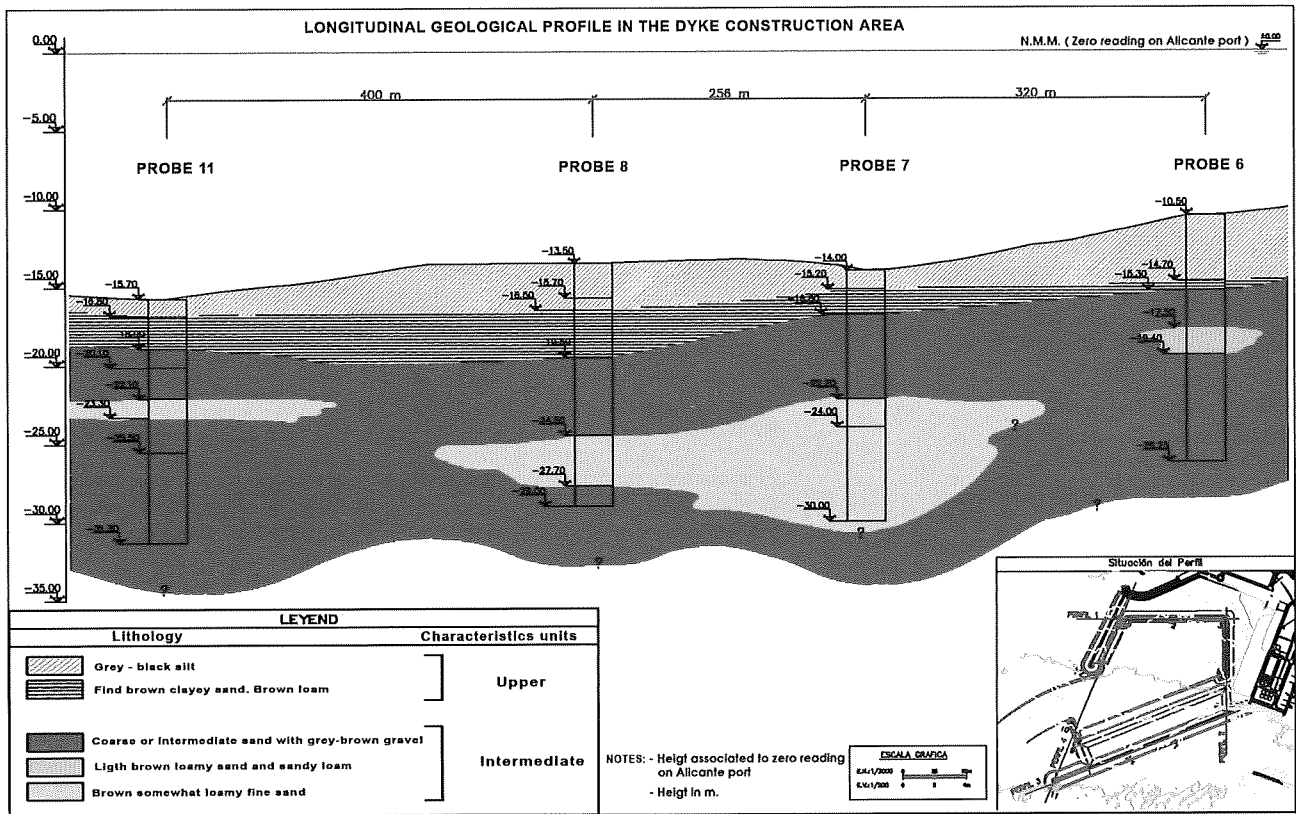
En el presente estudio se concretan cuestiones relativas a la definición de las variables de control, tipo de instrumentación escogido, sistema de adquisición y transmisión de datos y tratamiento e interpretación de resultados obtenidos.

## 2. PLANTEAMIENTO DE LA AUSCULTACIÓN GEOTÉCNICA

En la zona de implantación del Dique de Abrigo se identificaron, a partir de los resultados de los sondeos mecánicos realizados, distintas unidades litoestratigráficas:

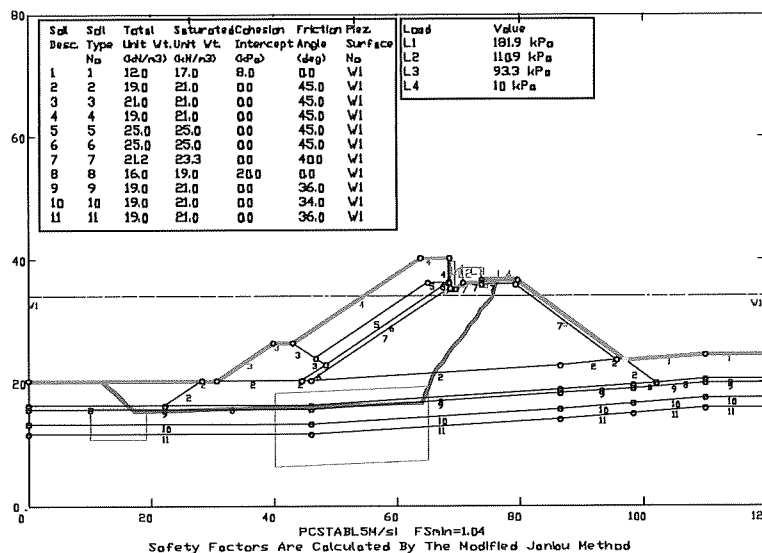
- Fangos de color gris o negro de consistencia muy blanda, con un espesor comprendido entre 2 m y 4 m.
- Arcillas algo arenosas, cuyo espesor es despreciable en el inicio del dique y llega a alcanzar espesores de hasta 3 metros.
- Arenas de granulometría gruesa y media con gravas en proporciones variables. Dentro de esta unidad aparecen niveles de arenas limosas. El espesor de esta formación supera las profundidades de los reconocimientos.
- El sustrato terciario formado por margas y areniscas constituiría la unidad basal, situada a profundidades superiores a 25 m en algunas zonas.

La disposición estimada de estos materiales puede verse en el perfil geológico longitudinal adjunto.



The impact of the upper-most layer of silt was avoided by displacement with 500-kilogram riprap fill. The foundations were consequently sunk into the sandy clay layer.

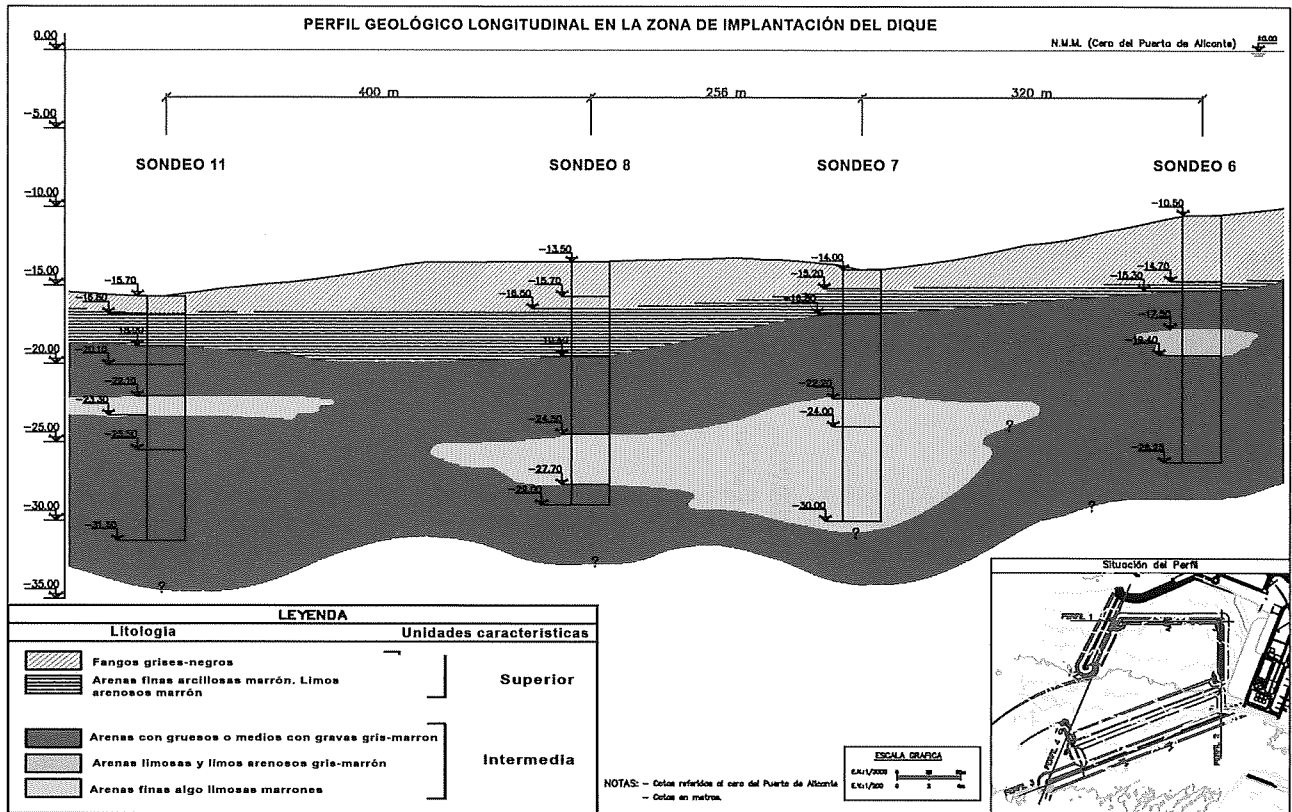
Among other characteristics, the structural engineering for the dyke checked for overall stability in the event of terrain failure under these conditions. The safety factors computed using the undrained clay strength value (see Figure below) were found to be lower than the requisite 1.1 for seaward short-term planar rupture surfaces and even lower than one in some sections.



*Seaward short-term planar rupture. Dyke springline*

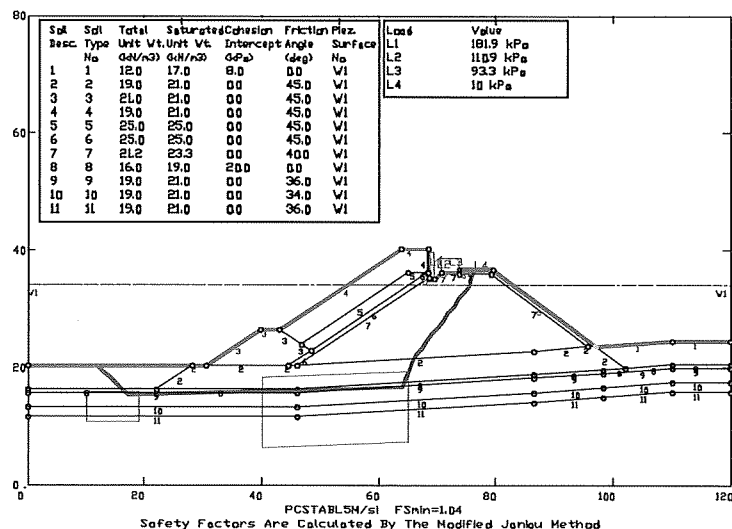
To remedy this situation, the design called for consolidating the foundation terrain, namely the clay layer, to improve the undrained shear strength. While the advantage to this solution was its small additional cost, it





Para evitar el efecto de la capa más superficial de fangos se ha previsto el vertido de una capa de escollera de peso superior a 500 kg, que logre desplazar los fangos. Por lo tanto, la cimentación se realiza sobre la capa de arcillas arenosas.

En estas condiciones, en fase de proyecto se comprobó, entre otras, la estabilidad global del dique por rotura del terreno, resultando que para superficies de rotura planas hacia el lado mar, a corto plazo considerando la resistencia sin drenaje de la arcilla (ver Figura adjunta), se obtenían coeficientes de seguridad inferiores al mínimo especificado de 1,1 e incluso inferiores a la unidad en algunas secciones.



*Rotura plana hacia mar a corto plazo. Zona arranque de dique*

Ante esta situación se planteó y seleccionó un tratamiento del terreno de cimentación, concretamente de la capa de arcillas, mediante un proceso de consolidación que condujese a una mejora de la resistencia al corte sin drenaje.

---

entailed having to interrupt the land fill for the dyke at a certain height until consolidation reached near completion.

As a result, under the work plan devised, in the first phase the dyke was built to an elevation of -7.00 (i.e., heights of from 5 to 7 m).

The structure erected in this first phase was found to be stable, exhibiting safety factors in the least favourable situation – short-term planar rupture – of over 1.1.

Fill works were suspended for as long as necessary for clay consolidation to progress to a certain percentage, with the concomitant gradual increase in shear strength. Assuming an initial strength of 0.2 kp/cm<sup>2</sup>, the increase in undrained shear strength ( $c_u$ ) can be found with the following expression:

$$C_u = 2 + 0,3 \Delta\sigma_v'(t/m^2)$$

The time that construction would have to be detained at an elevation of -7.0 m was found with the Terzaghi-Frölich Method, simplified by assuming instantaneous loading (i.e., erring on the side of safety, providing time is counted from completion of construction). The result was from one to four months in the different sections for degrees of consolidation of over 95%.

In light of these findings, a minimum consolidation time of four months was adopted.

The increase in undrained shear strength improved dyke safety against general terrain rupture, for a safety factor of 1.26 was found for the least favourable section under the theoretical worst case scenario, namely, after dyke completion and assuming short-term planar rupture surfaces.

Once the construction procedure was selected, the need was identified to monitor the consolidation process and verify that the estimated times were sufficient to reach the required degree of consolidation.

The conclusion drawn from all the foregoing was that geotechnical sounding would be needed to monitor the geotechnical parameters and variables governing behaviour and safety conditions during construction.

The specific characteristics to be monitored were:

- **Clay layer consolidation**, checking:
  - Dissipation of the increase in clay layer interstitial pressure resulting from the loading generated by the dyke.
  - Vertical terrain settlement above the clay layer.
- **Vertical pressure** and **actual foundation terrain deformation** due to dyke construction.
- Seaward side **horizontal deformation** at the beginning of the dyke.
- System to detect **terrain instability** in the initial phase.

Consequently, the parameters or data to be measured would be the increase in interstitial pressure due to loading and its dissipation in the clay layer over time, vertical settlement and stabilization in the clay layer, total settlement, horizontal displacements along a vertical line outside the dyke footprint and vertical pressure at the interface with the terrain.

### 3. GENERAL DESCRIPTION OF THE SOUNDING SYSTEM

The instrumentation and monitoring devices installed on the dyke built in connection with the enlargement of Alicante Port were hardly conventional.

Indeed, although the measuring systems proposed (sensors and ancillary devices) are commonly used in geotechnical control facilities and their assembly on land involves a well-defined procedure and the expertise of experienced technicians, instrumenting underwater structures entails a series of additional complexities (no con-



---

Esta solución tenía la ventaja de un reducido coste adicional, aunque planteaba el inconveniente de parar el relleno del dique a una determinada altura, durante el tiempo suficiente para que se completase casi en su totalidad el proceso de consolidación.

Para ello se ha previsto, y así se ha llevado a la práctica, la construcción del dique hasta la cota -7.00 (lo que supone alturas de 5 a 7 m) en una primera fase.

Se comprueba que en esta primera fase la parte construida es estable, obteniéndose en la situación más desfavorable de rotura plana a corto plazo, coeficientes de seguridad superiores a 1,1.

Posteriormente se espera el tiempo preciso para que se produzca en un porcentaje suficiente el proceso de consolidación de la arcilla, lo que lleva aparejado un aumento progresivo de la resistencia al corte de la misma. Partiendo de una resistencia inicial de 0,2 kp/cm<sup>2</sup>, se admite que el incremento de resistencia al corte sin drenaje ( $c_u$ ) viene dado por la expresión

$$C_u = 2+0,3 \Delta\sigma_v'(t/m^2)$$

El tiempo necesario en que debe permanecer la construcción a cota -7.0 metros, se ha evaluado mediante la Teoría de la Consolidación de Terzaghi – Fröhlich con la simplificación de que la carga se aplica instantáneamente (situación del lado de la seguridad siempre que contemos el tiempo desde el final de la construcción), resultando tiempos de 1 mes a 4 meses en las distintas secciones, para grados de consolidación siempre superiores al 95 %.

Con estas premisas se adoptó un tiempo mínimo para el tratamiento de consolidación de 4 meses.

Con el aumento de la resistencia al corte sin drenaje se mejoraban las condiciones de seguridad del dique frente a la rotura global del terreno, comprobándose que en la situación pésima teórica de dique terminado, considerando superficies planas de rotura, a corto plazo, se obtenían coeficientes de seguridad de 1,26 para la sección más desfavorable.

Una vez seleccionado el procedimiento constructivo, se planteó la necesidad de controlar el proceso de consolidación y verificar que los tiempos estimados eran suficientes para lograr el grado de consolidación exigido.

Todo ello derivó en la conveniencia de realizar una auscultación geotécnica para el control continuo de los parámetros y variables geotécnicas que gobiernan el comportamiento y las condiciones de seguridad durante el proceso constructivo.

En concreto se ha pretendido controlar los siguientes aspectos

- Verificación del **proceso de consolidación de la capa de arcillas** mediante la comprobación de:
  - Evolución de la disipación del incremento de presiones intersticiales producido por la aplicación de la carga del dique en la capa de arcillas.
  - Evolución de los asentos verticales del terreno por encima de la capa de arcillas.
- Comprobación de las **presiones verticales y deformaciones reales del terreno** de cimentación debidas a la construcción del dique.
- Comprobación de las **deformaciones horizontales** en la zona de inicio por el lado mar.
- Dotación de un sistema para detectar una **inestabilidad del terreno** en fase inicial.

Los parámetros o datos a medir mediante la instrumentación serían, por lo tanto, los incrementos de presión intersticial por aplicación de las cargas y su disipación en el tiempo en la capa de arcillas, los asentos verticales en la capa de arcillas y su estabilización con el tiempo, los asentos totales, los desplazamientos horizontales en una vertical exterior al dique y las presiones verticales en el contacto con el terreno.

### 3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN.

El sistema de instrumentación y monitorización realizado en el dique de abrigo de las obras de ampliación del Puerto de Alicante no se trata de un sistema de control convencional.

---

tact with the "terrain", operations conditioned by a non-fixed working platform, involvement of scuba divers, special protection for equipment and wiring against both physical and chemical aggression and so on) that must necessarily be entrusted to specialized personnel with the necessary equipment.

The monitoring scheme consisted essentially in a suite of instruments installed underwater and connected to a separate remote control system.

This scheme comprised a series of control devices (sensors) which, given project peculiarities, featured specific characteristics and design, along with the necessary wiring to carry the electrical signal from the sensors to a central receiver.

Once all the signals were centralized at a single point, the operations associated with a remote measurement system were undertaken: programmed data collection and remote transmission to a local control centre where measurements could be monitored and processed. Provision was also made for a future remote surveillance and supervision network to monitor the sounding system from authorized external terminals.

Given the specific characteristics of the works, the coordinated participation of the following human and material resources was enlisted:

- Legged **jack-up barge** fitted with **probe equipment** for drilling deep boreholes and the respective specialist staff needed for barge positioning and drilling operations as well as instrumental support in deep probes.
- Material and human resources** for sea bottom assembly (positioning with differential GPS, sensor installation, wiring and so on). Professionals with long experience in all manner of underwater tasks and others relating to the sea environment also participated.
- Instrumentation experts** with proven experience. All the tasks required for due operation of the instrumentation system commissioned from the Alicante Port joint venture were performed by the Intemac Civil Works Monitoring Division, in conjunction with the company's Sounding and Geotechnical Departments. IIC, sounding device suppliers and installers, also participated in general project coordination.

### 3.1. SECTIONS MONITORED

The scheme designed to monitor the geotechnical behaviour of the dyke foundations defined two distinct instrumentation sections.

Siting of these two sections was based on the following criteria:

- Foundation terrain rupture safety factor values.
- Magnitude of expected settlement and horizontal deformation.
- Available geotechnical information for comparison with the measurements obtained for the terrain actually supporting the foundations.
- Need to wire one of the sections to the central receiver on land and to site the other offshore, centralizing sensor signals on a buoy with a remote transmission facility.

On the basis of the foregoing, the following sections were chosen:

- Section No. 1, located at about 100 m from the beginning of the dyke.
- Section No. 2, located at about 850 m from the beginning of the dyke.

Both sections, with thick silt strata (around 4.0 m in section No. 1 and around 3.0 m in section No. 2), had a fairly high likelihood of slippage during dyke construction. Such thick layers of silt also made it particularly important to verify riprap penetration in the silt and the transmission of pressure to the lower layers during consolidation.

In section No. 2, moreover, where the sandy clay layer was also very thick, the expected settlement and consol-



---

Así, aunque los sistemas de medida propuestos (equipos de sensorización y dispositivos auxiliares) se emplean comúnmente en instalaciones de control geotécnico y su montaje terrestre simplemente implica un procedimiento bien definido y la intervención de técnicos con experiencia, la instrumentación en el medio marino conlleva una serie de condicionantes añadidos (falta de contacto con el "terreno", operaciones condicionadas a una plataforma de trabajo no fija, intervención de submarinistas, necesidad de protecciones especiales en los equipos y en el cableado, tanto frente a acciones físicas como a agresiones químicas, etc.) que necesariamente deben confiarse a personal y medios suficientemente contrastados.

El sistema de monitorización realizado consiste, básicamente, en la conjunción de un sistema de instrumentación instalado en ámbito marítimo, y un sistema de telecontrol o teledatada independiente de la operación marítima.

Dicho sistema se compone de una serie de dispositivos de control (sensores) que, dadas las particularidades del proyecto, responden a unas características y diseños específicos, así como el cableado necesario para llevar la señal eléctrica de estos sensores hasta el punto de centralización.

Una vez centralizadas todas las señales de la sección de control en un mismo punto, se inician las operaciones asociadas a un sistema de teledatada, consistentes en la adquisición programada de datos y la transmisión remota de éstos hasta un centro de control local, en el que se realiza el seguimiento y tratamiento de las medidas, sin perjuicio de que se pudiera establecer en un futuro un sistema de televigilancia y supervisión que permita dirigir el sistema desde terminales externos autorizados.

Dadas las características específicas de estos trabajos, se ha requerido, para garantizar la correcta ejecución de los mismos, la participación coordinada de los siguientes medios humanos y materiales:

- Plataforma** de patas tipo Jack-up, y **equipo de sondeos** para la realización de las perforaciones profundas, y los respectivos equipos de personal especialista necesario para la ejecución de todas las funciones de movilización y posicionamientos de la plataforma, así como para las labores de perforación y apoyo a la instrumentación de los sondeos profundos.
- Medios materiales y personal** para tareas de montaje en el fondo marino (posicionamiento mediante GPS diferencial, instalación de sensores, cableado, etc.). Se ha contado con la colaboración de profesionales con amplia experiencia en la realización de todo tipo de tareas subacuáticas y relacionadas con el medio marino.
- Personal especialista en instrumentación**, con experiencia acreditada. La División de Control de Obras Civiles de Intemac, con el asesoramiento de los Departamentos tanto de Auscultación como de Geotecnia de la misma empresa, han desarrollado para la UTE Puerto de Alicante los trabajos necesarios para la puesta en marcha del sistema de instrumentación. Se ha contado con la colaboración de la empresa IIC, para el suministro y montaje de los aparatos, y la coordinación del proyecto en general.

### 3.1. SECCIONES DE CONTROL

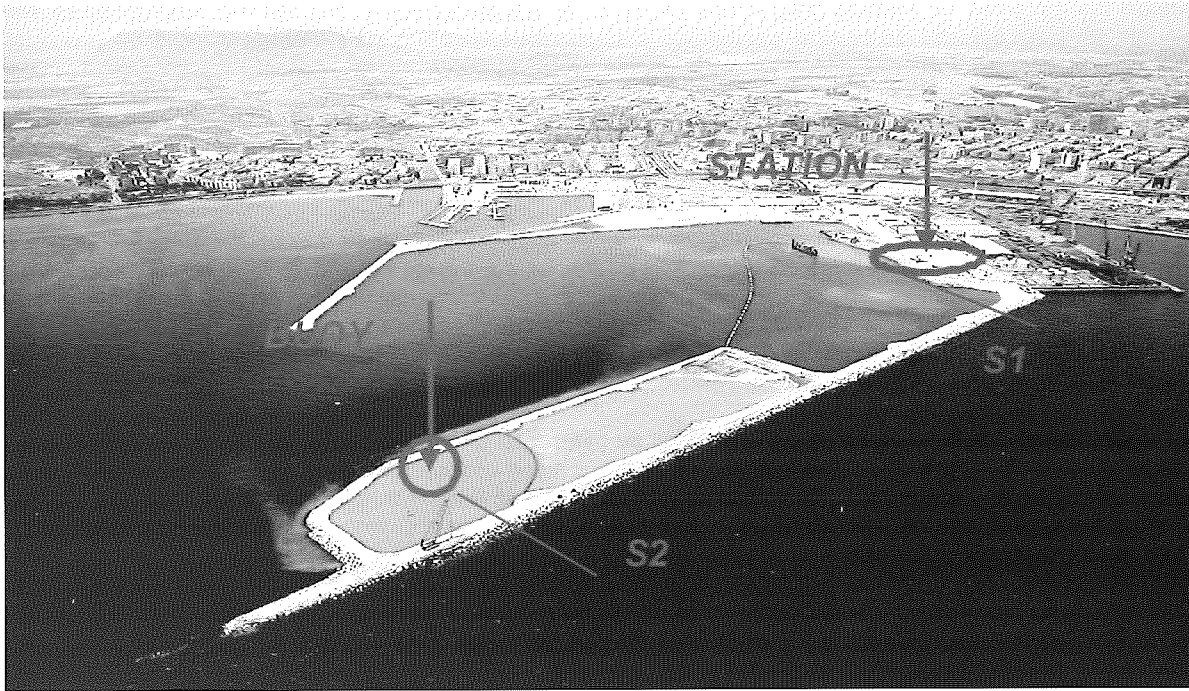
Para el control del comportamiento geotécnico del cimiento del dique de abrigo se definió un sistema de monitorización compuesto por dos secciones de control.

La ubicación de las mismas se ha determinado teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Valores de los coeficientes de seguridad frente a la rotura del terreno de cimentación.
- Magnitud de los valores de asiento y deformaciones horizontales esperables.
- Información geotécnica disponible, con el objeto de poder relacionar las medidas que se obtengan con el terreno real existente en el cimiento.
- Necesidad de ubicar una de las secciones con cableado hasta el punto de centralización en tierra firme, y situar la otra sección mar adentro, centralizando los sensores en una boya con transmisión remota.

Atendiendo a esos cuatro criterios se han seleccionado las siguientes secciones:

- Sección nº 1, situada a unos 100 m del inicio del dique de abrigo.
- Sección nº 2, situada a unos 850 m del inicio del dique de abrigo.



idation times were longer than in other areas.

Lastly, the sections were chosen so that the sensors could be positioned in the vicinity of the probes taken during the preliminary geotechnical survey. In both cases, this would afford the most reliable and sufficient information possible on the foundations constituting the object of the study.

Once the sections to be monitored were determined, the following construction design information was obtained:

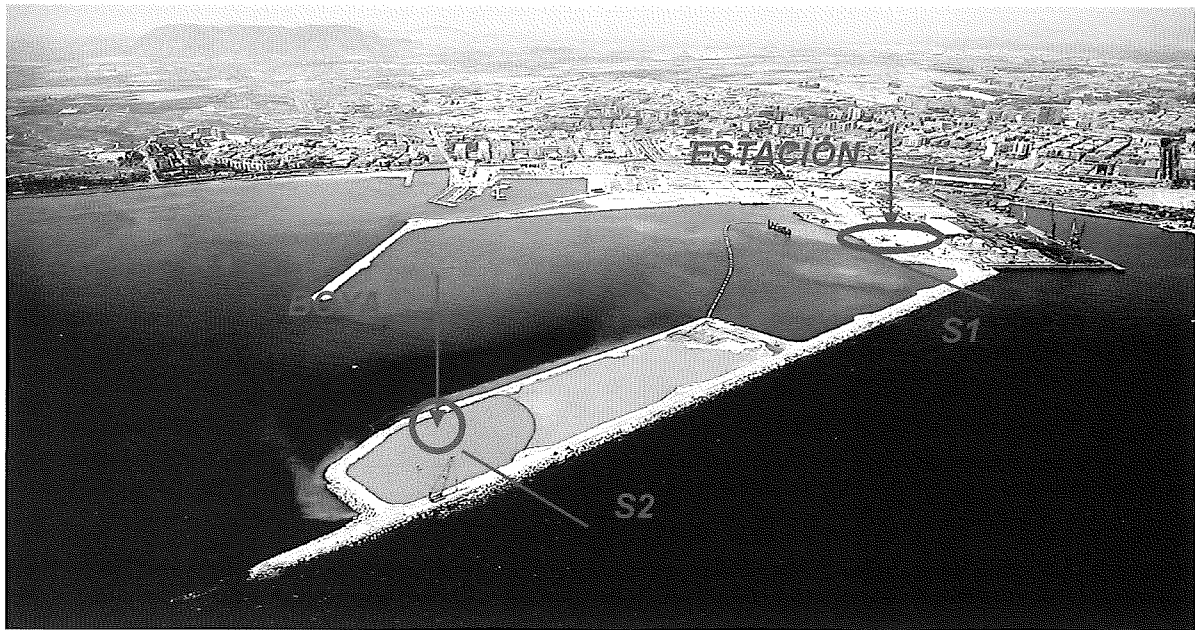
□ **Section No. 1:**

➤ Foundation characterization:

Layer	Depth at top of layer (m)	Thickness (m)	Primary settlement (design)	Secondary settlement (design)
Silt	-14	4	-	-
Sandy clay	-18	1	Consolidation	Cohesive soils
Sand with gravel	-19	28	Elastic	Schmertmann
Loam	-	-	Non-deformable	-

□ **Section No. 2:**

➤ Foundation characterization:



En ambos casos se trata de secciones en las que el espesor de la capa de fangos es importante (unos 4,0 m en la sección nº 1 y unos 3,0 m en la sección nº 2), con lo que la posibilidad de deslizamientos durante la construcción del dique es mayor. Además, también debido al espesor de los fangos, el control del proceso de consolidación es especialmente importante, para verificar la penetración de la escollera en éstos y la transmisión de presiones a las capas inferiores.

En el caso de la sección nº 2, además, el espesor de los materiales arcillo-arenosos es elevado, con lo que tanto los asentamientos como los tiempos esperados para lograr el proceso de consolidación son superiores a los que se prevén en otras zonas.

Por último, se han hecho coincidir las secciones con las proximidades de los sondeos realizados durante la campaña de reconocimientos geotécnicos del proyecto. De esta forma, en ambos casos se dispone de información lo más fiable y suficiente posible del cimiento, cuyo comportamiento está siendo objeto de estudio.

Una vez determinadas las secciones de control, se puede extraer la siguiente información del proyecto de construcción:

□ **Sección nº 1:**

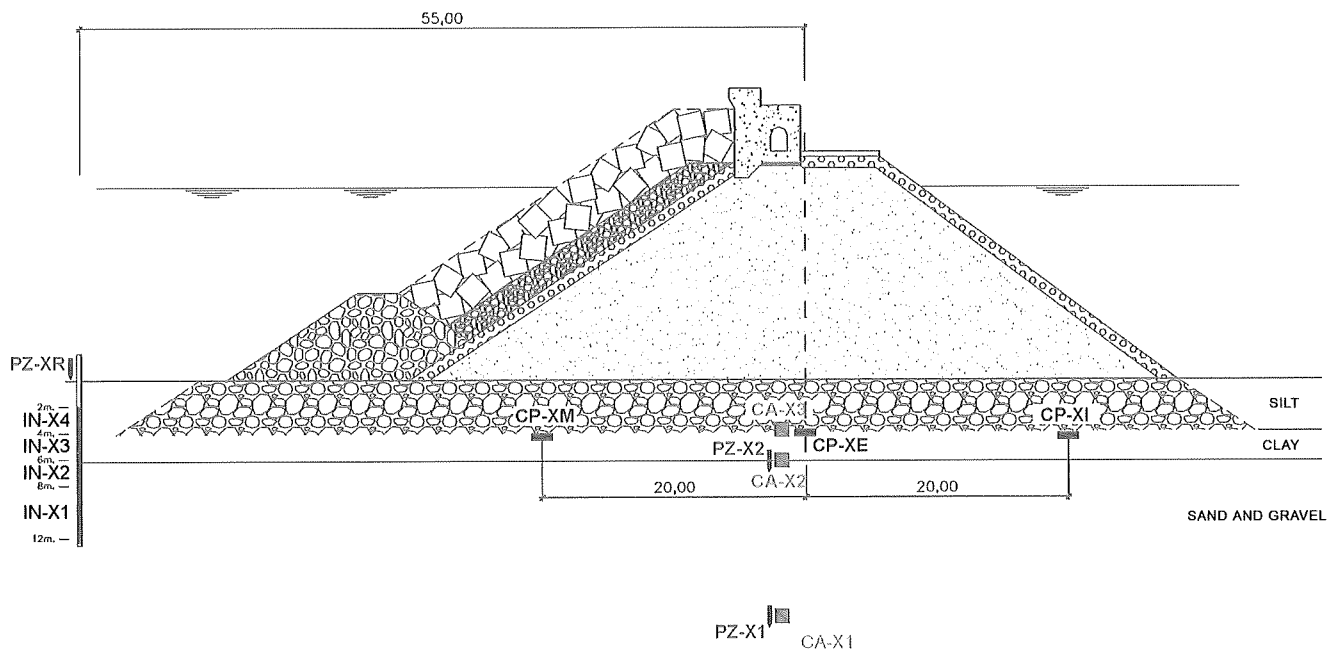
➤ Caracterización del cimiento:

Estrato	Profundidad del contacto superior (m)	Espesor (m)	Cálculo asentamientos primarios	Cálculo asentamientos secundarios
Fangos	-14	4	-	-
Arcillas arenosas	-18	1	Consolidación	Suelos cohesivos
Arenas con gravas	-19	28	Elástico	Schmertmann
Margas	-	-	Indeformable	-

Layer	Depth at top of layer (m)	Thickness (m)	Primary settlement (design)	Secondary settlement (design)
Silt	-14	3	-	-
Sandy clay	-17	3	Consolidation	Cohesive soils
Sand with gravel	-20	28	Elastic	Schmertmann
Loam	-	-	Non-deformable	-

Further to the above data and given the advisability of covering all the areas where displacement or pressure variations were most likely, the following monitoring points were defined for each of the sections instrumented:

- **Three points for monitoring total pressure** located at the interface between clay and silt and distributed horizontally as follows: one located on the dyke centreline and the other two 20 m off-centre on either side. With this arrangement both the point withstanding the theoretically highest stress and the horizontal distribution of that force could be monitored and any differences between the theoretical and real distribution indicative of possible instability could be detected.
- **Three points for monitoring settlement**, vertically aligned along the dyke centreline. The depths at which the settlement sensors were positioned depended on stratum thickness; one was installed at the silt-clay interface, another at the clay-sand interface and the third at a depth of 18 to 20 m from the top of the probe. Under this arrangement settlement could be detected for the dyke as a whole as well as in each of the materials constituting the foundations: the clay and sand strata, the latter divided into two layers of approx-



Standard instrumentation section

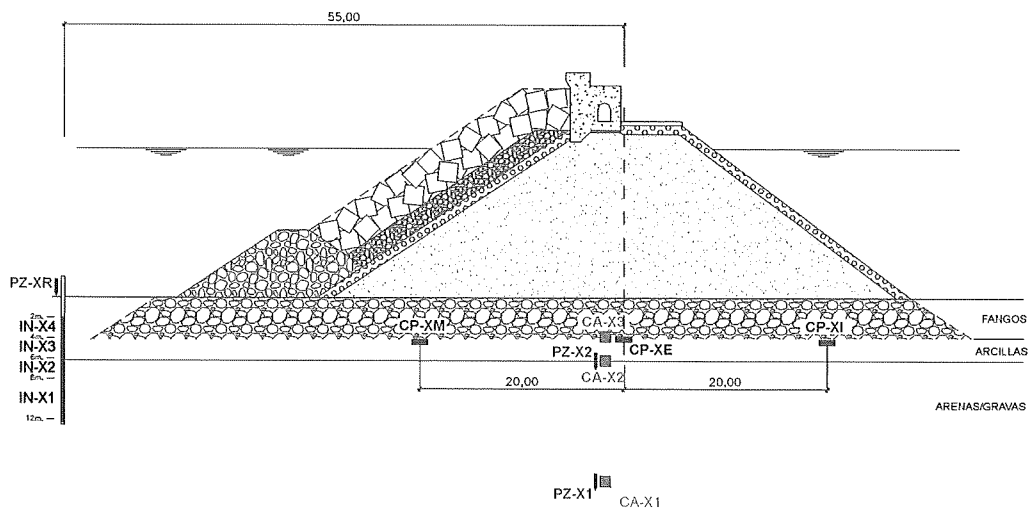
□ **Sección nº 2:**

➤ Caracterización del cimiento:

Estrato	Profundidad del contacto superior (m)	Espesor (m)	Cálculo asientos primarios	Cálculo asientos secundarios
Fangos	-14	3	-	-
Arcillas arenosas	-17	3	Consolidación	Suelos cohesivos
Arenas con gravas	-20	28	Elástico	Schmertmann
Margas	-	-	Indeformable	-

De acuerdo con los anteriores datos, y teniendo en cuenta siempre la conveniencia de abarcar la totalidad de las zonas en las que fueran más previsibles desplazamientos o variaciones de presión, se definieron los siguientes puntos de control para cada una de las secciones de instrumentación:

- **Tres puntos de control de presiones totales**, situados en el contacto entre las arcillas y los fangos y con la siguiente distribución transversal: uno de ellos se situó sobre el eje del dique y los otros dos a ambos lados del mismo, a una distancia de 20 m. De esta forma se controlaba tanto el punto en el que se transmite teóricamente la máxima tensión como la distribución transversal de la misma, pudiéndose detectar diferencias entre la distribución teórica y la real que puedan ser indicativas de inestabilidades.
- **Tres puntos de control de asientos**, situados en una misma vertical coincidente con el eje del dique. Las profundidades a las que se instalen los sensores de asiento vendrán determinadas por la alternancia de capas del terreno, haciéndose coincidir uno de ellos con el contacto entre fangos y arcillas, otro en el contacto entre arcillas y arenas y el último a una profundidad, medida desde el inicio del sondeo, entre 18 y 20 m. De esta forma se determinará el asiento de cada uno de los materiales que constituyen el cimiento, pudiéndose conocer el asiento total del dique, el correspondiente a la capa de arcillas y el asiento que se llega a producir en la capa de arenas, tramificando éste último en dos capas de aproximadamente el mismo espesor. La magnitud y variación en el tiempo del asiento de la capa de arcillas, permitiría verificar el proceso de consolidación y su finalización real, comparándola con las previsiones del proyecto.



Sección tipo de instrumentación



---

ximately the same height. The magnitude and time-wise variation in clay layer settlement could be used to monitor consolidation and the actual completion of that process, as well as to compare this information to design estimates.

- **Three points for monitoring interstitial pressure.** Two of these points were sited in the cohesive layer and the third outside the area affected in order to correct the pressure variations recorded in the other two points, which could be due to barometric pressure, wave action and so forth.
  
- **One line to monitor horizontal displacement** located 55 m from the dyke centreline (outside the dyke footprint). Four elements were installed to measure relative horizontal displacement, the bottom one measuring 4 m in length and the others 2 m each. Under this arrangement, the two closest to the surface would record displacements in the silt and clay, and the other two, displacements in the upper part of the sand layer. As this displacement line covered the hypothetically least favourable planar rupture surfaces assumed in the design, it constituted a very useful and precise safety system.

The nomenclature used for the sensors was as follows: XX-IJ

XX: sensor code (see below)

- ✓ IN: fixed inclinometer
- ✓ CP: Total pressure cell
- ✓ CA: Settlement cell
- ✓ PZ: Piezometer
- ✓ PA: Sensor to measure barometric pressure

I: section No.

J: sensor No.

### 3.2. INSTRUMENTATION AND SITING

Once the parameters to be monitored and the maximum expected values of each were defined, the next step was to determine the devices which, while meeting the above basic requirements, were best adapted to cover other needs such as measuring principle, type of output signal, performance underwater, installation specifics and so on.

Piezoelectric type sensors with mV output, which are particularly well suited to maritime environments, featuring low electricity consumption and digital output or vibrating wire measuring systems.

#### 3.2.1. MONITORING TOTAL PRESSURE

Total pressure cells especially designed for this type of terrain were used.

Such cells consisted in two steel plates 1 mm apart, welded along the edges and containing deaired oil in the intermediate space.

The fluid inside the cell was connected to the piezoelectric transducer membrane via a pressure tube, so that stress applied to the plates is offset by a proportional build-up of pressure in the fluid.

Thanks to the typology adopted, with the sensor perpendicular to the cell, as opposed to standard models in which the outport to the sensor is parallel to the plane of the cell, this device could be installed across the layer of silt in a small diameter polyethylene tube by means of a series of extension rods fitted together with bayonet connections.

- **Tres puntos de control de presiones intersticiales.** Dos de ellos se harán coincidir con la capa cohesiva, mientras que el punto restante se ubicará fuera de la zona afectada, con el objeto de que permita corregir las variaciones de presión que se registren en los otros dos puntos, que puedan ser debidas a variaciones en la presión barométrica, oleaje, etc.
  
- **Una línea de control de desplazamientos horizontales,** situada a 55 m del eje del dique, hacia mar (de forma que queda por fuera de la superficie en planta ocupada por el dique). El control se establecerá mediante cuatro elementos para la medida de desplazamientos horizontales relativos, con una longitud de 4 m para el inferior y de 2 m para cada uno de los restantes, de forma que los dos más superficiales registren los desplazamientos que se produzcan en los fangos y arcillas, siendo los otros dos los que recojan los desplazamientos que se produzcan en la zona superior de la capa de arenas. Esta línea de desplazamientos cubriría las hipotéticas superficies de rotura plana más desfavorables supuestas en proyecto y constituiría, por lo tanto, un adecuado sistema de seguridad de gran precisión.

La nomenclatura utilizada en los sensores ha sido la siguiente: XX-IJ

XX: código sensor

- ✓ IN: Inclínómetro fijo
- ✓ CP: Célula de presión total
- ✓ CA: Célula hidráulica de asientos
- ✓ PZ: Piezómetro
- ✓ PA: Sensor para la medida de la presión barométrica

I: nº de sección

J: nº de sensor

### 3.2. APARATOS DE INSTRUMENTACIÓN Y SU LOCALIZACIÓN

Una vez definidos los parámetros de control y el valor de las magnitudes máximas esperadas, de acuerdo con los datos evaluados en proyecto, se procedía a la definición de los dispositivos que, ajustándose a estos dos requerimientos básicos, mejor se adaptaban a otros condicionantes adicionales, como pueda ser el principio de medida, el tipo de señal de salida, los antecedentes en el empleo de los dispositivos en aplicaciones marítimas, sistema de instalación, etc.

Se optó por sensores de tipo piezoeléctrico con salida en mV, más adecuados a los medios marinos y con menor consumo de energía, con salida digital o con sistema de medida basado en la cuerda vibrante.

#### 3.2.1. CONTROL DE PRESIONES TOTALES

Se realiza por medio de células de presión total, diseñadas especialmente para este tipo de terreno.

La célula está compuesta por dos placas de acero separadas entre ellas por 1 mm, y soldadas a lo largo del borde. El espacio entre placas se rellena de aceite, aplicando un procedimiento especial que garantiza la ausencia de aire en el interior de la célula.

El líquido alojado en el interior de la célula se conecta, a través de un tubo, a la membrana del transductor piezoeléctrico y se transforma en una presión proporcional a la carga.

La tipología adoptada, con el sensor perpendicular a la célula, frente a modelos estándar en los que la salida al sensor se hace en paralelo al plano de la célula, permitió su instalación a través de la capa de fangos, utilizando una tubería de polietileno de reducido diámetro, por medio de varillas prolongadoras con sistema de bayoneta



*Total pressure cell*

### 3.2.2. SETTLEMENT MONITORING

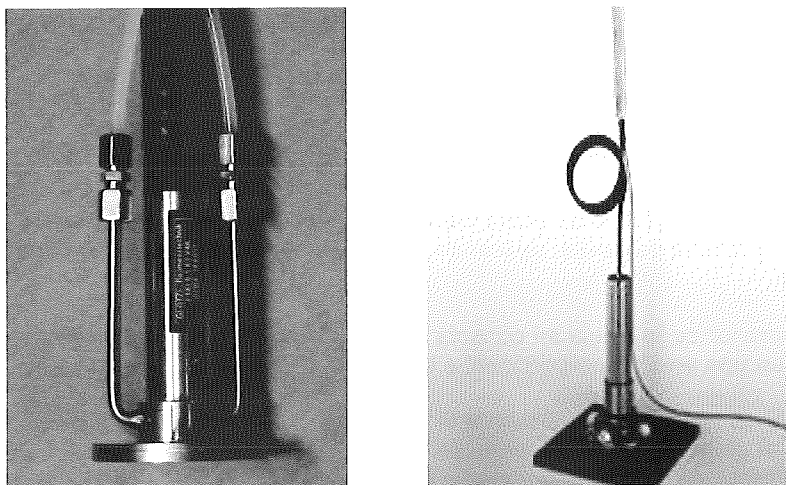
Two different approaches were taken to monitor settling.

Piezoelectric settlement cells were used in **section No. 1**, with the sensors wired to a land-based station.

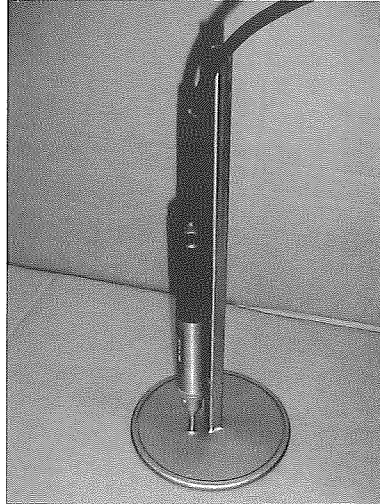
The device chosen consisted in a relative pressure sensor able to detect the pressure exerted by a fluid inside double layer nylon tubing that connects the sensor to a reference cell located in a centralized cupboard. The difference in height between the cell and the sensor is translated into a variation in pressure detected by the latter.

This type of sensor is ideal for the general solution adopted for this section, for the centralized cupboard can be positioned alongside the land-based data collection station at a point that can be assumed to be stable (or whose displacements, in any event, would reflect possible land settlements and may be verified with precision typography).

In **section No. 2**, where establishing a fixed point (for topographic verification) was more complex, the sensors chosen to measure settlement were based on a closed hydraulic system with a special design that provided for installation (of both the sensor and the reference cell) inside a probe, as illustrated in the Figure below.



*Settlement cells, section 1 and 2*



*Célula de presión total*

### 3.2.2. CONTROL DE ASIENTOS

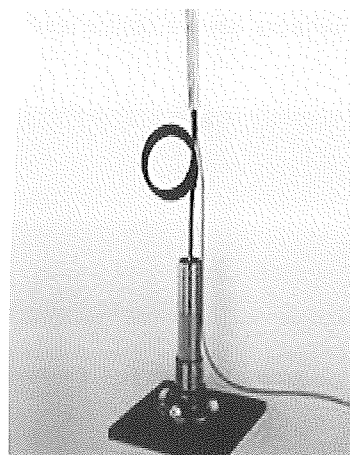
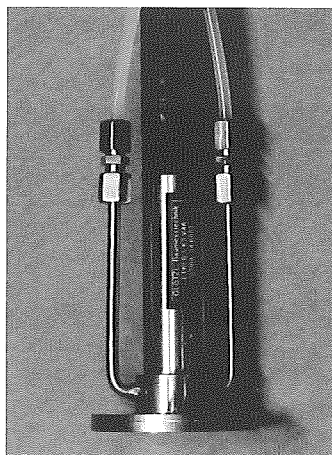
Para el control de asientos se ha optado por dos soluciones distintas.

**En la sección nº 1**, en la que el cableado de la señal de los sensores se ha llevado hasta tierra firme, se han empleado células de asiento piezoeléctricas.

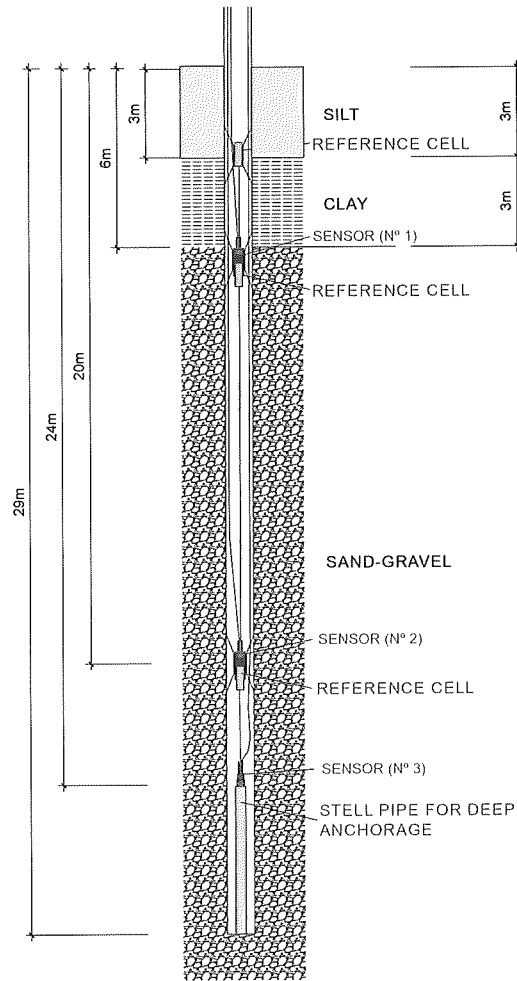
El equipo se compone de un sensor de presión relativa, sobre el que se ejerce una presión por medio del líquido contenido en una tubería con doble capa de nylon, que comunica el sensor con un depósito de referencia situado dentro de un armario de centralización. La variación de altura relativa entre el depósito y el sensor se traduce en una variación de presión que es captada por éste.

Este tipo de sensor es idóneo para la solución general adoptada para esta sección, dado que el armario de centralización se puede ubicar junto a la estación de adquisición de datos, sobre tierra firme y en un punto que se puede considerar fijo (o cuyos desplazamientos, en cualquier caso, responderán a posibles asientos del terreno y se podrán comprobar mediante topografía de precisión).

En el caso de la **sección nº 2**, en la que resultaba más complicada la materialización de un punto fijo (sobre el que, además, se puedan realizar comprobaciones topográficas), se optó por unos sensores para la medida de asientos basados en un sistema hidráulico cerrado y con un diseño especial que permitiera su instalación (tanto del sensor como del depósito de referencia) en el interior de un sondeo, tal y como se representa en la Figura adjunta.



*Células hidráulicas de asientos de las secciones 1 y 2*

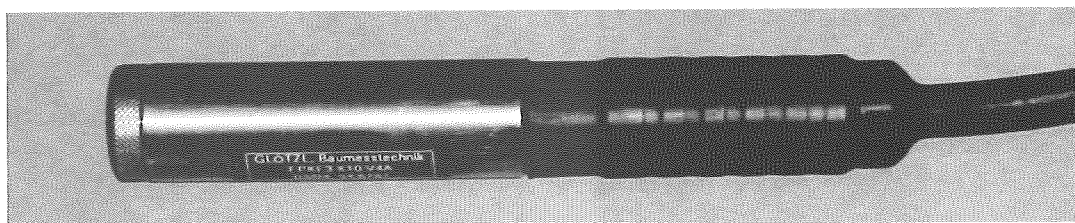


Settlement section 2

### 3.2.3. Monitoring interstitial pressure

Interstitial pressures and their variation as an indication of consolidation progress were measured with electrical piezometers.

These very reliable high precision sensors are unaffected by long-term drift and are thermally robust. Moreover, signals from the various sensors can be centralized and integrated in an automated monitoring system.

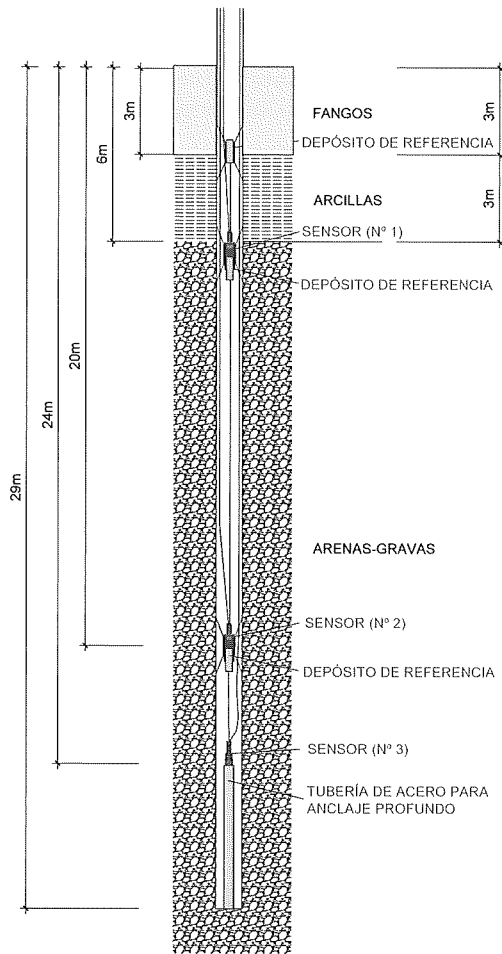


Electrical piezometer.

### 3.2.4. Monitoring horizontal displacements

A fixed series inclinometer was chosen to monitor horizontal displacements in the sea bed.



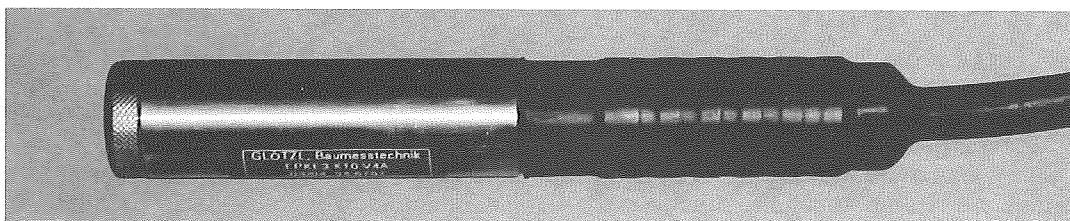


Sección 2 de asientos

### 3.2.3. Control de presiones intersticiales

Las presiones intersticiales, y por tanto la evolución en la variación de las mismas como indicador del proceso de consolidación, se están midiendo mediante piezómetros eléctricos.

Este tipo de sensor presenta una alta fiabilidad y precisión, sin deriva a largo plazo, con baja influencia de variaciones térmicas y la posibilidad de centralizar las señales de los distintos sensores instalados e integrar éstas en un sistema automatizado de control.



Piezómetro eléctrico.

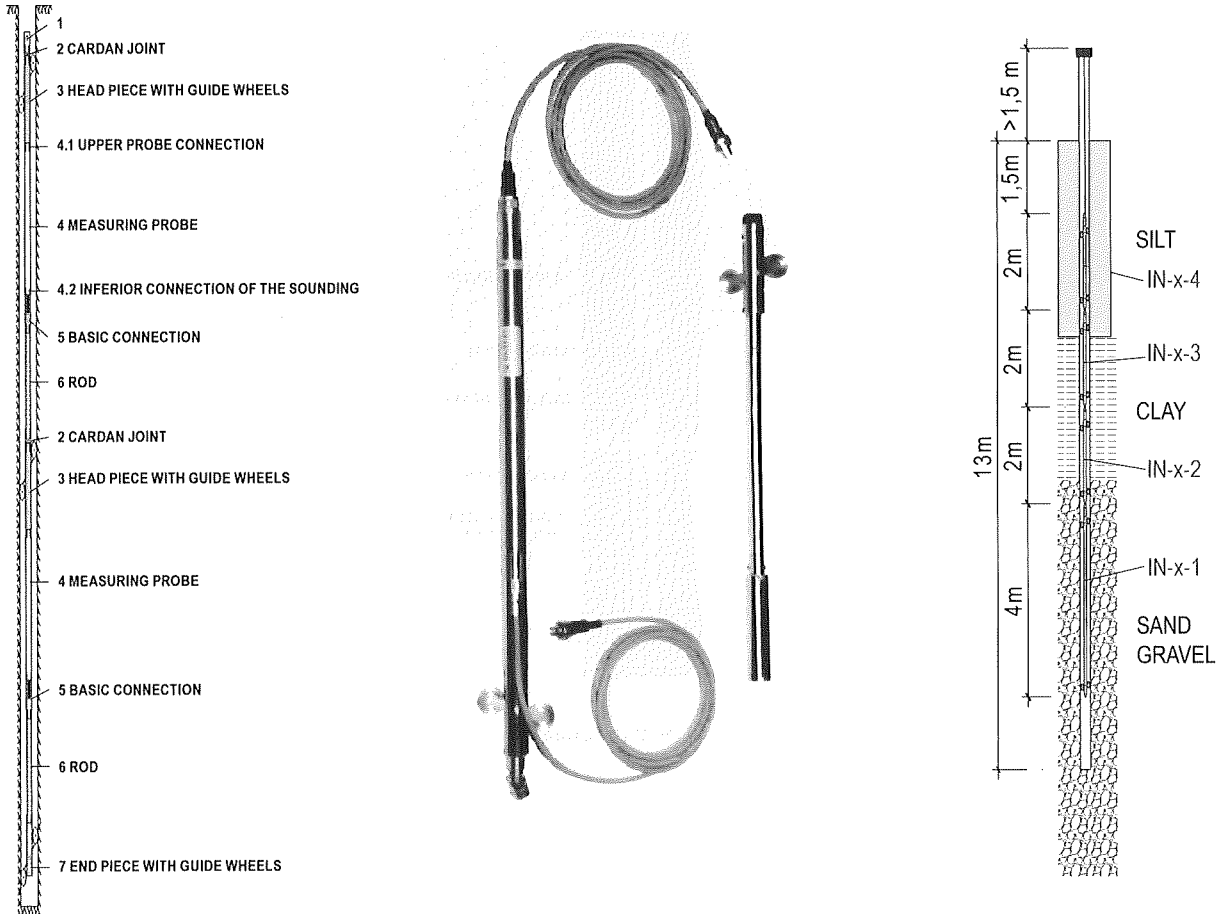
### 3.2.4. Control de desplazamientos horizontales

Para el control de los desplazamientos horizontales del fondo marino se ha optado por un inclinómetro fijo en cadena.

These fixed tilt sensors are designed for remote or automated long-term monitoring of inclinometer tubes.

Revolving sensors were also used and installed in water-tight steel casing. Both devices comprised a series of inclinometer probes interconnected with wires or rods bearing universal joints.

The standard cross-section given in the Figure below shows the sensor layout in a series inclinometer.



Series inclinometers.

### 3.3. WIRING AND CENTRALIZATION

Given the nature of the works, the lie of the wiring to carry the electrical signals from the sensors to the data collection station and from the settlement sensor tubes to the reference cells (in the case of section No. 1) had to be drawn in a way that would prevent wire breakage or signal alteration by the riprap fill.

In this regard, prior experience with signal wires showed that, long before they break under tensile force, their electrical properties are altered enough to produce very significant variations in the signals transmitted. For this reason, particular attention was lent to wire strength and protection in the design for this geotechnical sounding system.

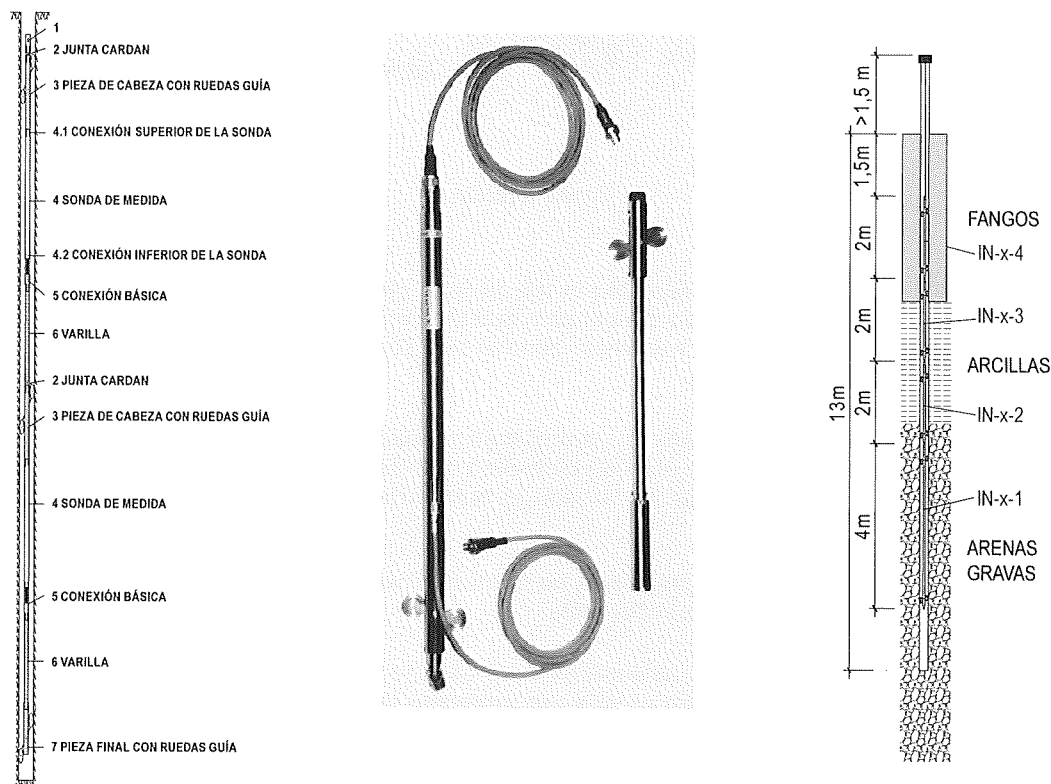
The following criteria were established for wire design:

- In both sections the aim was to keep the length of wire lying in the riprap dumping area as short as possible. This was achieved by drawing the layout essentially perpendicular to the dyke centreline.

Los inclinómetros fijos están diseñados para la monitorización a largo plazo, de forma remota o automatizada, de tuberías inclinométricas.

Los sensores de giro se instalan en unas carcasas de acero que son estancas. Los dos dispositivos se componen de una serie de sondas inclinométricas conectadas entre ellas mediante cables o varillas con juntas universales.

En el Croquis adjunto puede observarse la disposición de los sensores de la cadena inclinométrica, en una sección tipo.



*Inclinómetros en cadena.*

### 3.3. CABLEADO Y CENTRALIZACIÓN

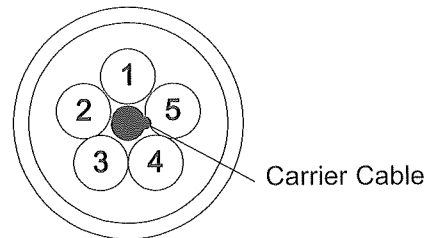
Dadas las características de estas obras, el cableado de la señal eléctrica de los sensores hasta la estación de adquisición de datos y los tubos hidráulicos de los sensores de asientos hasta los depósitos de referencia (en el caso de la sección nº 1) debían ser especialmente estudiados, para evitar que la escollera vertida del dique produjera roturas de los cables o generara sobre ellos esfuerzos que, sin llegar a romperlos, alterasen su correcto funcionamiento.

En este sentido, hay que indicar que experiencias previas con cables de señal demuestran que, mucho antes de que se produzca la rotura por tracción de éstos, se alteran sus propiedades eléctricas suficientemente como para producir variaciones muy significativas en las señales transmitidas. Por este motivo, en el diseño de este sistema de auscultación geotécnica se prestó especial atención a la protección de los cables, así como a las características resistentes de éstos.

Para el diseño del cableado se han establecido los siguientes criterios:

- En el diseño del trazado del cableado se buscó abandonar tan pronto como fuera posible la zona de vertido directo de escollera, con lo que en cada una de las dos secciones el trazado es sensiblemente perpendicular al eje del dique. Se consiguió de esta manera reducir la longitud de cable que quedaba expuesta al vertido de la escollera.

- ❑ The signal wire used for all sensors was a special strength, double screened cable with kevlar webbing.



Cross section

All signal and hydraulic wires were pre-assembled in the shop to obviate underwater splicing and the need for intermediate connections anywhere between the sensors and the central receiver. The transducer outlet connection located inside the body of the device was resin bonded and sealed with a double water-stop sealant. The wire output fitting was also resin bonded.

- ❑ All wires were bundled immediately downstream of their respective probe. Consequently, all the wires ran across the same general lie and were protected inside a 160-mm (outer diameter) high density polyethylene pipe (PE100) with a radial strength of 10 atm, in turn buried in a gravel protected ditch with a mean depth of 0.5 m.

The (12 m long) polyethylene pipes were machined on both ends with flanged bushings welded to the pipe so they could be interconnected mechanically under water.

Specially designed T-connections and pipe extensions were used to introduce the wires running from the probe into the general protective pipe. The section of wire not protected by the 160-mm  $\phi$  polyethylene pipe was run through an 8-m length of 50-mm flexible piping with steel cladding.

The ballast for the polyethylene pipes consisted in three-metre lengths of 10-mm steel chain per metre of polyethylene pipe, bringing the total weight to 10.4 kg/m and the specific weight to 1.98 t/m<sup>3</sup>. The purpose of the chain was to add to pipe weight and, given that the various lengths of chains were welded together or otherwise mechanically connected, this arrangement increased the strength of the structure as a whole.

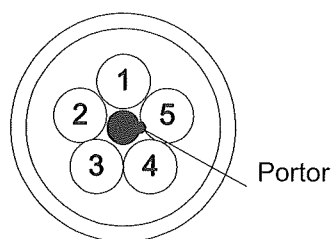
### 3.4 SYSTEM FOR COLLECTING CONTINUOUSLY RECORDED DATA

The signals from all the sensors in each section were centralized in a single data collection station. One of the two stations (the station for section No. 1) was located on land, while the other (for section No. 2) was installed on a buoy alongside the control section at a point inside the dumping area but beyond the main dyke footprint.

Both receiver systems constituted **collection stations** fitted with all the ancillary components needed to ensure effective operation:

- ❑ An autonomous, low voltage **electrical power module** consisting in a photovoltaic solar panel, voltage rectifier, end cells and a series of low current protection devices.
- ❑ The **collection module** per se, with capacity to record all the information furnished by the different reading interfaces in accordance with the frequency or reading storage criteria programmed.
- ❑ A **communications module** to transmit the readings recorded to the monitoring centre computer and commands from the latter to the collection module.

- El cable de señal empleado para todos los sensores es un cable de especial resistencia. Se empleó cable apantallado de doble cobertura con alma de kevlar.



Croquis de la sección

Con el objeto de evitar empalmes bajo el agua, todos los cables de señal y cables de circuito hidráulico se pre-montaron en fábrica, de modo que la longitud total estimada hasta la centralización no presentara conexiones intermedias. La conexión de salida del transductor es interna al cuerpo mecánico del equipo, y ha quedado enresinada y sellada con junta "doble "water stop", resolviendo la salida del cable mediante un racor también resinado.

- Todos los cables se agruparon inmediatamente a la salida de su correspondiente sondeo. Así, todos los cables siguen un trazado general que queda protegido mediante un tubo de polietileno de alta densidad (PE100) de 160 mm de diámetro exterior y una resistencia radial de 10 atm, que va en una zanja de 0,5 m de profundidad media, y protegido con grava.

Los tubos de polietileno (de 12 m de longitud) se mecanizaron en sus extremos mediante manguitos portabridas soldados al tubo y bridas de forma que la unión entre tubos pudiera efectuarse mecánicamente bajo el agua.

La entrada de los cables de señal desde el sondeo hasta el trazado general se realizó mediante enlaces en "T" y extensiones previstas a tal efecto. Este tramo de cables que no queda protegido por el tubo de polietileno de  $\phi 160\text{mm}$  se ha hecho discurrir por un tramo de 8 m de longitud de tubo flexible con revestimiento metálico, de diámetro  $\phi 50\text{mm}$ .

Los tubos de polietileno van lastrados con tres metros de cadena de acero de 10 mm diámetro por cada metro de tubo de polietileno, con lo que resulta un peso total de 10,4Kg/m, con un peso específico de 1,98 Tn/m<sup>3</sup>. La función de la cadena es la de proporcionar peso al tubo y, además, dado que mediante soldadura o medios mecánicos se garantizaba la continuidad de las cadenas entre tramos de tubo, la cadena contribuye a aumentar la resistencia del conjunto.

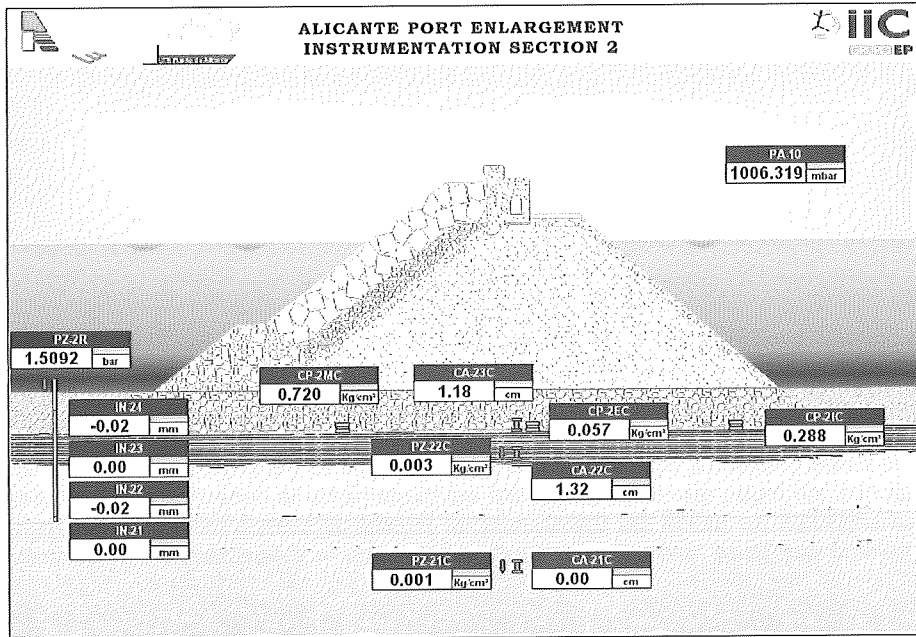
### 3.4 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE REGISTRO CONTINUO

Las señales procedentes de todos los sensores que integran cada sección se centralizan en una única estación de adquisición de datos. Una de las dos estaciones (la correspondiente a la sección nº 1) se ubica en tierra firme, mientras que la otra (la correspondiente a la sección nº 2) se ha instalado sobre una boya, junto a la sección de control, fuera de la planta del dique principal y en la zona de vertido.

Cada uno de los dos sistemas de adquisición se compone de una **estación de adquisición**, complementada con todos los elementos auxiliares necesarios para garantizar el correcto funcionamiento de ésta:

- **Módulo de alimentación eléctrica** de baja tensión, autónomo, formado por un panel solar fotovoltaico, rectificador de tensión, baterías de regulación y un conjunto de protecciones eléctricas de baja intensidad.
- **Módulo de adquisición** propiamente dicho, tiene la capacidad de registrar toda la información aportada por las diferentes interfaces de lectura, de acuerdo con la periodicidad o criterios de almacenamiento de lecturas programados.
- **Módulo de comunicaciones**, encargado de transmitir las lecturas registradas al ordenador del centro de control, y permitir la comunicación de órdenes de éste al módulo de adquisición.

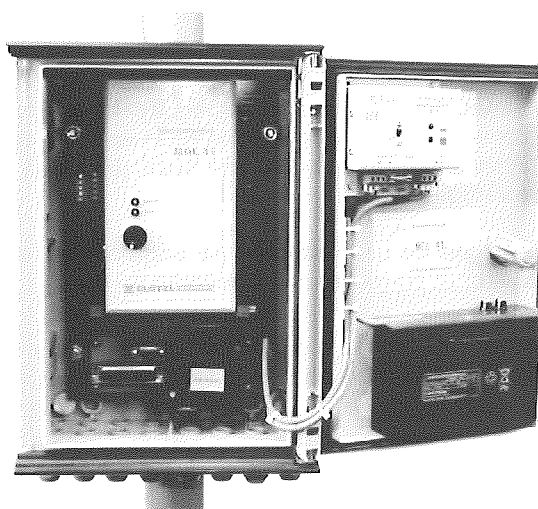




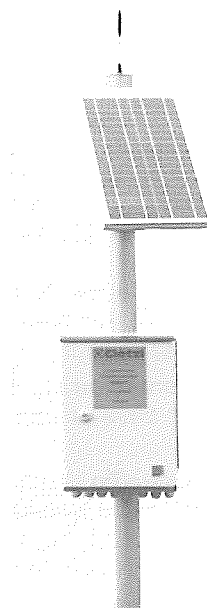
*Overview of an instrumentation section (SECTION No. 2)*

Under normal operating conditions, power was provided with lead or NiMH solar-cell charged batteries. Data transmission was via radio modem. The connection between the monitoring centre computer and the station enabled authorized users to remote-adjust the reading programme at any time.

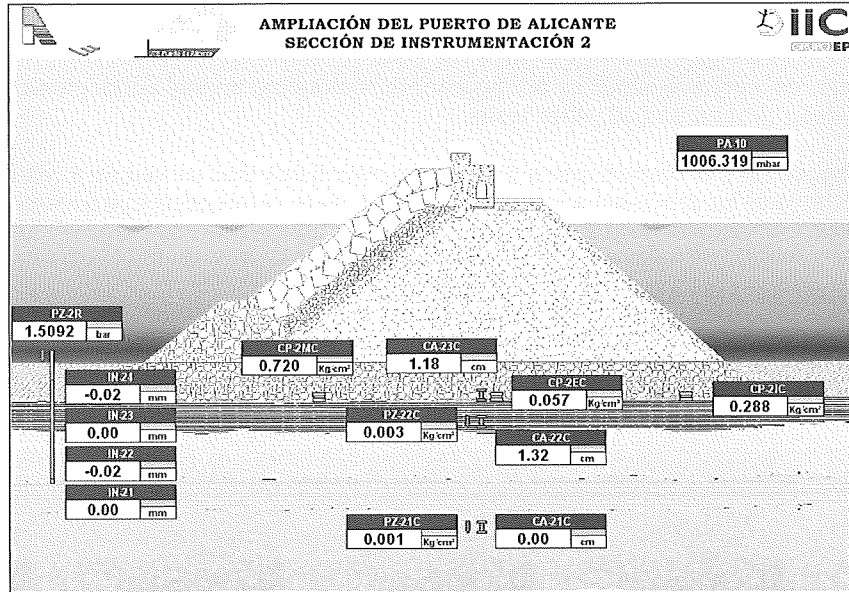
Given the type of parameters measured and the purpose of the sounding system (to monitor geotechnical parameters but not short-term events, in principle), two to four readings a day was regarded to be sufficient in the initial phase of the survey. In a later stage, as the parameters monitored stabilize, less intensive monitoring may be required, and periodicity reduced to one reading a day.



*Data acquisition system*



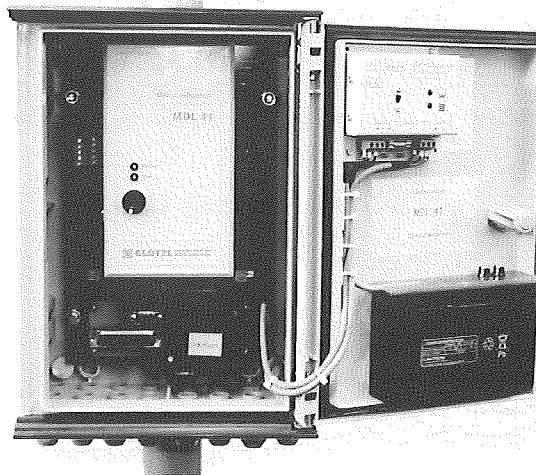
*Power supply system*



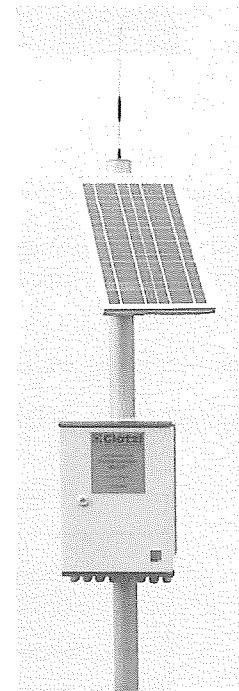
*Sinóptico de una de las secciones de instrumentación (SECCIÓN N.2)*

En este sentido, **la alimentación** se asegura normalmente mediante acumuladores de plomo o de NiMH que se cargan mediante células solares. **La transmisión** de datos se realiza mediante radio-módem. La comunicación existente entre el ordenador del centro de control y la estación permite que los usuarios autorizados puedan realizar un ajuste remoto del programa de lectura en cualquier momento.

Teniendo en cuenta el tipo de parámetros medidos y el objeto de la auscultación planteada (control de parámetros geotécnicos sin que en principio se plantee el estudio de fenómenos con evolución a muy corto plazo), se ha considerado suficiente la realización de un máximo de dos a cuatro lecturas diarias en la fase inicial del seguimiento. Posteriormente, una vez se observe la estabilización de los parámetros medidos, se puede pasar a un seguimiento menos intensivo, con periodicidad diaria.



*Sistema de adquisición de datos*



*Sistema de alimentación*

## 4. INSTRUMENT INSTALLATION

The installation procedures were preceded by a topographic positioning survey conducted by means of differential GPS for both the deep probes and all other tasks.

Each borehole was flagged on the seabed with a 110-kg concrete block that served as a reference for the divers. All positions were re-checked for precision and the coordinates were referenced to a control point sited on a red beacon at the port neck.

### 4.1 MARITIME RESOURCES AND ANCILLARY EQUIPMENT

#### 4.1.1 Barge



*Jack-up barge*

The deep boreholes housing the settlement cells, piezometers and inclinometers were drilled from a legged, self-elevating barge that served as a platform for the probe equipment needed. The deployment of such a platform was the sole way to guarantee minimum drilling performance and the quality of the infrastructure for the sensors (borehole verticality, and reliability of elevation readings, reduction of the risk of signal wire breakage or damage and so on).

The platform used for these works was a B.V. JB-103 jack-up barge owned by DRACE.

Barge dimensions are given in the table below.

JB-103 platform	Dimensions (m)
Length:	24,4
Width	18,3
Pontoon height	2,1
Leg length	24,0
Leg diameter	1,2

#### 4. INSTALACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

En los procedimientos de instalación existe un paso previo de posicionamiento topográfico que se llevó a cabo por medio del sistema GPS diferencial, tanto para las perforaciones profundas realizadas como para el resto de trabajos.

Cada punto de perforación fue balizado en el fondo marino con un bloque de hormigón de 100kg y una boya en superficie que servía de referencia a los buceadores. Todos los posicionamientos se comprobaron de nuevo para verificar su exactitud y se referenciaron las coordenadas con un punto de control situado en la baliza roja de la bocana del puerto.

#### 4.1 MEDIOS MARÍTIMOS Y EQUIPOS AUXILIARES

##### 4.1.1 Plataforma



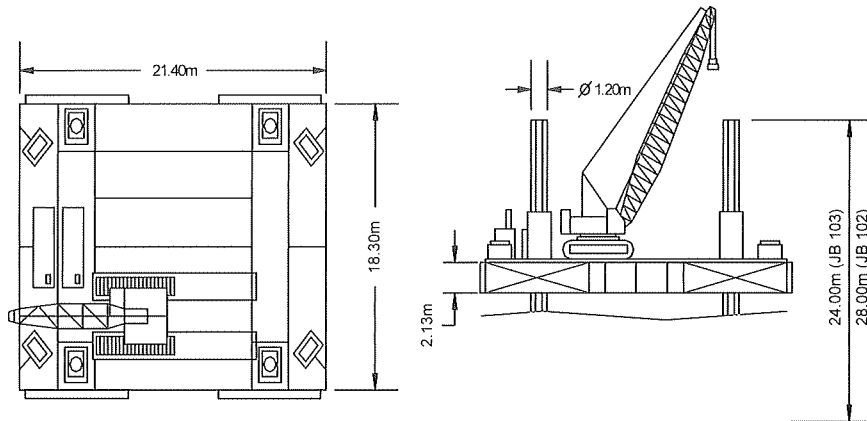
*Plataforma tipo jack-up.*

Para la realización de las perforaciones profundas necesarias para la instalación de las células hidráulicas de asiento, los piezómetros y los inclinómetros, ha sido necesario el apoyo de una plataforma de patas autonivelable sobre la que pudiera trabajar la maquinaria de sondeos. Sólo así se podían garantizar unos rendimientos mínimos en las perforaciones, así como la calidad en la instalación de los equipos (verticalidad de las perforaciones, fiabilidad en la cota de instalación de los mismos, reducción de los riesgos de que se rompan o dañen los cables de señal, etc.).

El modelo de plataforma que se ha utilizado para el desarrollo de estos trabajos, es la JB-103, de Jack-up Barge B.V. propiedad de la empresa DRACE.

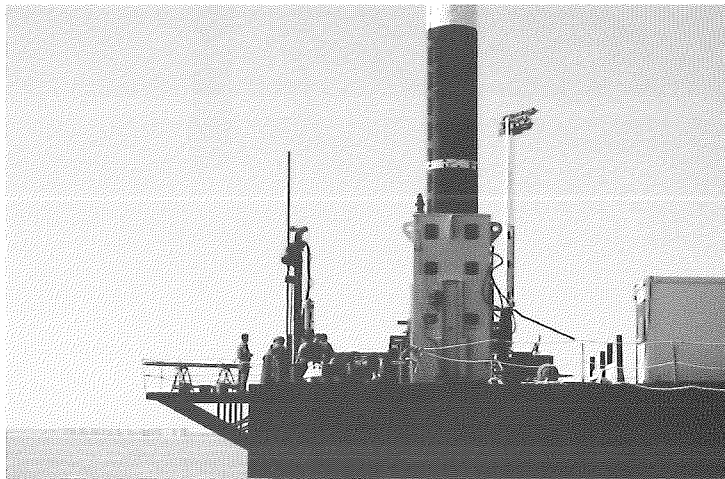
Las dimensiones de esta plataforma son las que se resumen en la siguiente tabla:

Plataforma JB-103	Dimensiones (m)
Longitud	24,4
Ancho	18,3
Canto plataforma	2,1
Longitud patas	24,0
Diámetro patas	1,2



#### 4.1.2 Boreholes

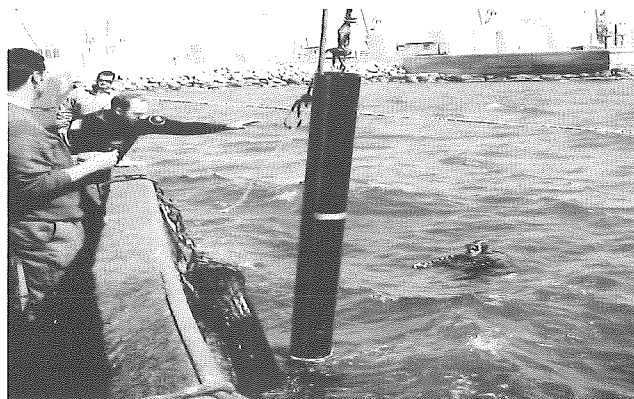
A Rolatec RL-48L probe built into the barge was used to drill the deep boreholes (probes) where the inclinometers, piezometers and settlement cells were installed.



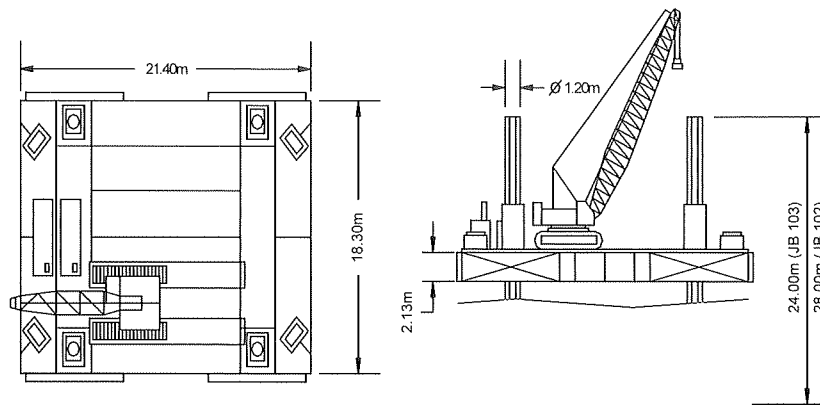
*Jack-up platform with the probe in operation*

#### 4.1.3 Other maritime resources

In addition to the barge, other seaborne support was enlisted for instrumentation tasks in deep boreholes for drilling surface boreholes and fitting them with the necessary equipment, laying wire to the data collection stations and all ancillary operations called for maritime support.

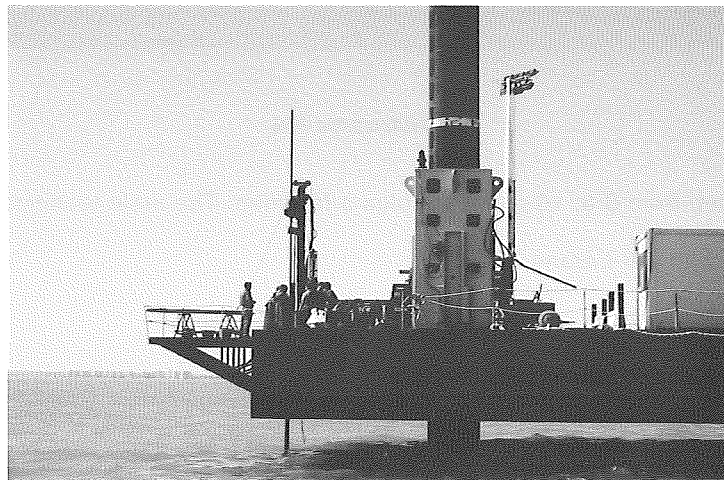






#### 4.1.2 Perforaciones

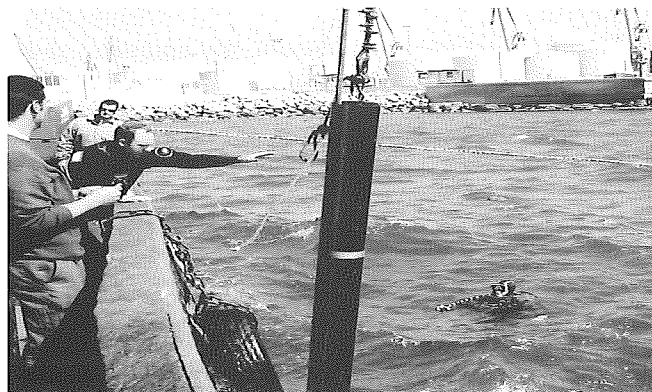
Las perforaciones profundas (sondeos) para la instalación de los inclinómetros, piezómetros y células hidráulicas de asiento se llevaron a cabo mediante una sonda modelo RL-48 L de Rolatec, integrada en la plataforma.



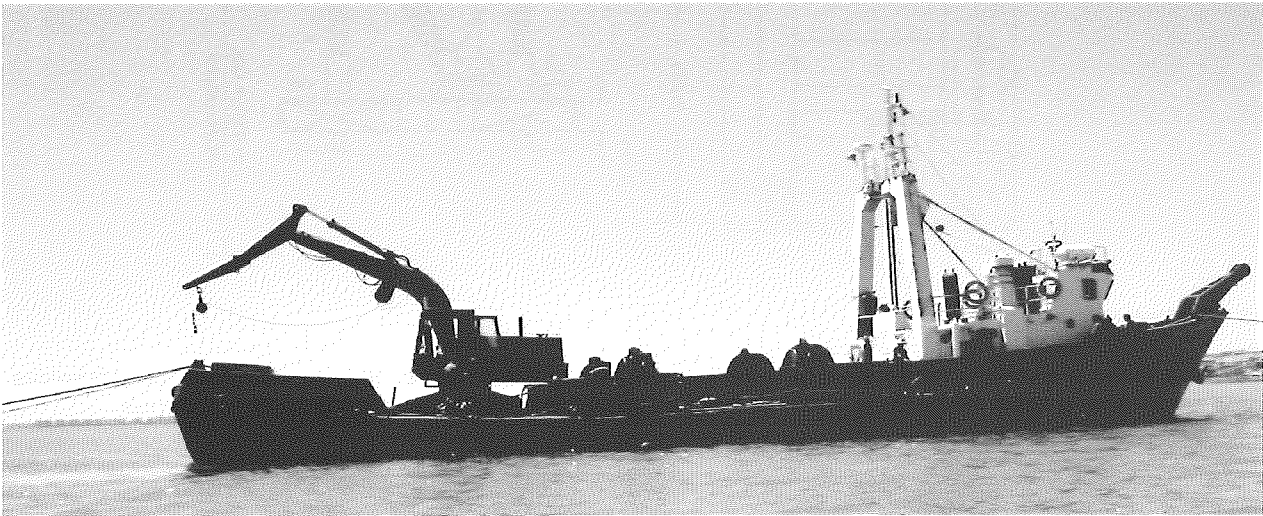
*Vista del Jack-up con la sonda trabajando*

#### 4.1.3 Otros Medios Marítimos

Además de la plataforma de patas, se ha contado con la participación continuada de otros medios marítimos de apoyo a las tareas de instrumentación en perforaciones profundas. La realización de perforaciones superficiales e instalación de equipos en éstas, cableado hasta las estaciones de adquisición y todas las operaciones auxiliares requirieron apoyo marino.



Mediterráneo Servicios Marinos, S.L. (MSM) provided all the human and material resources needed to perform all these operations.



*„Mediterráneo V%o*

The working crew comprised from 6 to 10 members plus a foreman. The main technical resources used were:

- 31-m working vessel with a 6-t crane
- 7-m support vessel
- Hydropro and differential GPS navigation system
- Autonomous and surface-powered diving equipment
- Breathable air compressors
- High pressure water jet
- Compressed air suction hose
- 5000-l/min public works compressor
- Stanley HD 45 hydraulic drill

## **5. RESULTS AND CONCLUSIONS**

This Section discusses the results obtained from the sensors, the operating and reading problems inherent in working in an underwater environment and installation-related difficulties.

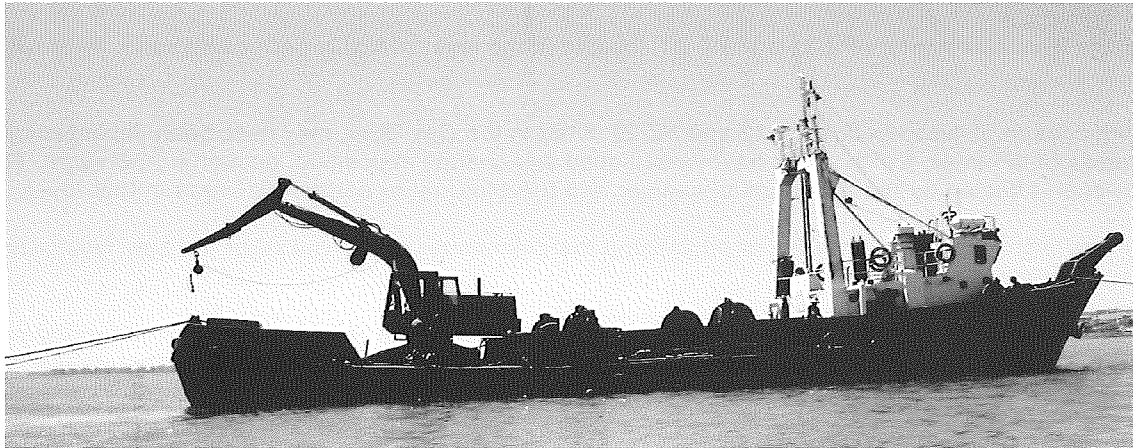
Some of the readings differed from the design values, due either to the installation difficulties conditioning sensor response or to mistaken design valuations, based in some instances on theoretical models and parameters initially estimated from correlations or on the grounds of prior experience, albeit with ample safety margins.

The various types of measurement records and instruments used are discussed separately below.

### **5.1. PIEZOMETERS**

No significant increases in interstitial pressure were recorded by any of the piezometers installed.

Todas estas operaciones han sido efectuadas por la empresa Mediterráneo Servicios Marinos, S.L, (MSM) con medios personales y medios materiales propios.



*Buque Mediterráneo V*

El equipo humano en obra ha estado compuesto por un grupo de entre 6 y 10 personas, según los trabajos, dirigidas por un jefe de equipo. Los principales recursos técnicos utilizados en el trabajo han sido:

- Embarcación de trabajo de 31 m de eslora, con grúa de 6 Tm de capacidad de carga
- Embarcación de apoyo de 7 m de eslora
- Sistema de navegación Hydropro y GPS diferencial
- Equipos de buceo autónomos y con suministro desde superficie
- Compresores de aire respirable
- Lanza de agua de alta presión
- Manga de succión por aire comprimido
- Compresor de obras públicas 5.000 l/min
- Taladro hidráulico Stanley HD 45

## **5. RESULTADOS OBTENIDOS Y CONCLUSIONES**

En este Apartado se analizan los resultados obtenidos en los distintos sensores de cada sección instrumentada y los problemas de funcionamiento y lectura que se han producido, dadas las especiales características de la obra, en cuanto al medio marino y a las propias dificultades de instalación.

Las lecturas evidencian, en algunos casos, diferencias con las magnitudes inicialmente estimadas en el proyecto, que pueden ser debidas a las dificultades de la instalación, que condiciona la respuesta del sensor, o a la propia valoración del proyecto, basada en algunos casos en modelos teóricos de comportamiento con parámetros inicialmente estimados por correlaciones o experiencias previas, realizadas generalmente por el lado de la seguridad.

Se trata por separado cada tipo de registro de medida e instrumentación utilizado:

### **5.1. PIEZÓMETROS**

En ninguno de los piezómetros instalados se han registrado incrementos importantes de la presión intersticial.

Similar findings were observed in all the piezometers, both in the two controls (sited at the top of the silt layer, in contact with the water) and the other two devices installed in each section. The readings were consistent with the pressure exerted by the column of water over the piezometers.

The readings from piezometers PZ-11 and PZ-21, located in the layer of highly permeable sand, were wholly reasonable.

The readings taken by piezometers PZ-12 and PZ-22, sited in the clay layer, may have been impacted by the relative thinness of the layer, which would have conditioned any change in position, no matter how slight. They may also have been affected by the existence of sandier and therefore more permeable areas in that layer.

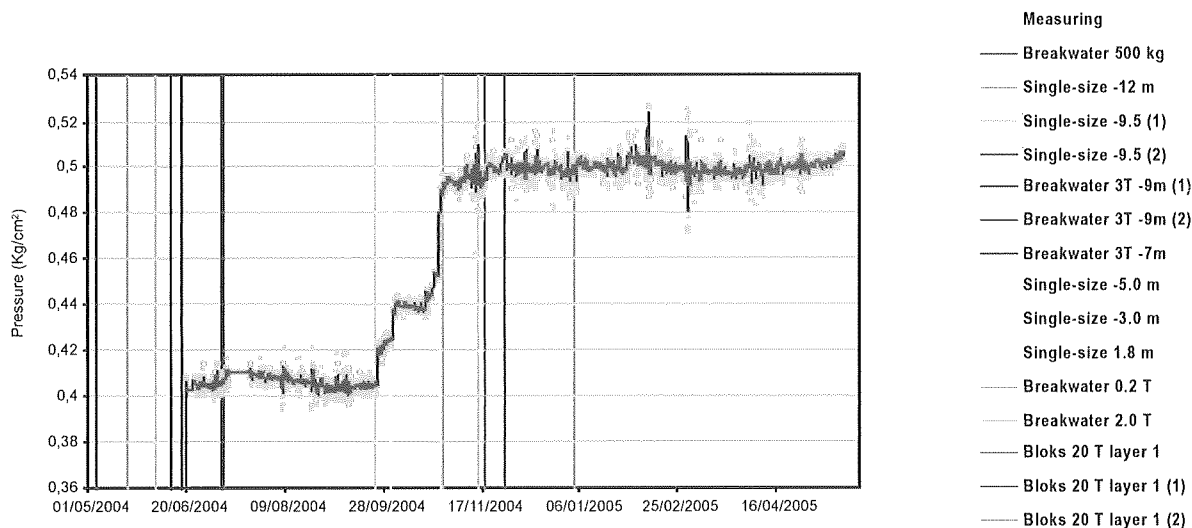
These results highlight the importance of positioning the piezometer in the centre of the clay layer where consolidation takes place more slowly.

Another conclusion that may be drawn is that the bore core should be recovered when conducting probes to ascertain the actual distribution of the material in the exact position of the probe and with a single reference datum to ensure that the piezometers are actually located in the right position.

## 5.2. TOTAL PRESSURE CELLS

A total of three operational cells were installed, two on the centreline (CP-1E and CP.2E) and one on the inward side (CP-1I).

The measurements taken reflected the changes due to riprap dumping, although the increases in pressure recorded did not concur with the design values calculated from design riprap height and the submerged densities of the materials used. The pattern of pressure increases is shown in the graph below in conjunction with the load intervals, from which it may be deduced that the steepest rises in pressure concurred with the dumping of single-size riprap. This is a logical finding, considering that the pressure cell in question was located on the centreline of the dyke.



Pressure with increasing load, CP-1EC

The fact that the pressures recorded did not concur with the theoretical values may be due either to possible differences in actual density or to incorrect sensor positioning; indeed, if the sensor twists out of a horizontal position, the pressure exerted by the load transmitted from the riprap to the cells is not uniformly exerted.

In future structures calling for large size blocks a procedure should be devised to remedy these shortcomings, possibly by taking measurements at greater depths.

Se observa un comportamiento similar en todos los piezómetros, tanto en los de referencia de cada sección (instalados en contacto directo con el agua, sobre el nivel de fango) como en los dos piezómetros de cada sección. La presión es sensiblemente coincidente con la equivalente a la columna de agua existente sobre ellos.

Este resultado es totalmente lógico en los piezómetros PZ-11 y PZ-21, dado que se sitúan en la capa de arenas de permeabilidad alta.

El resultado en los piezómetros PZ-12 y PZ-22, situados en la capa de arcillas, pueden estar influidos por el reducido espesor de la misma, lo que condicionaría cualquier pequeño desplazamiento en su posición. También puede estar influido por la existencia de zonas más arenosas y de mayor permeabilidad en dicha capa.

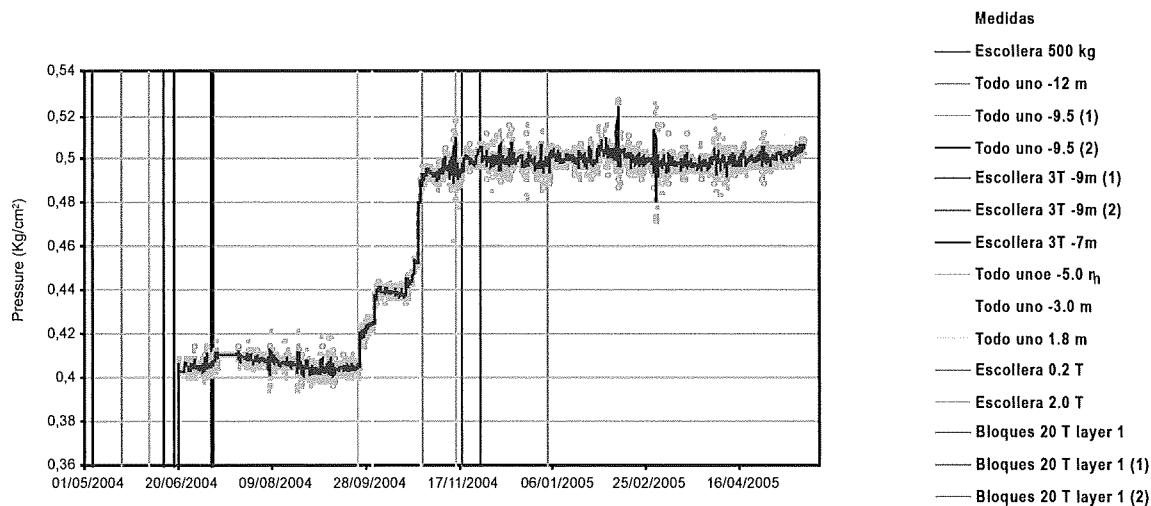
De ello se deduce la importancia de la colocación del piezómetro dentro de la capa arcillosa a consolidar, sensiblemente en el centro de la misma donde el proceso se produce más lentamente.

En este sentido, se recomienda que los sondeos se realicen con recuperación de testigo, para poder conocer la distribución real de materiales en la posición exacta del sondeo y con un único origen de medida de cotas, de forma que se garantice que los piezómetros se ubican realmente en la posición establecida.

## 5.2. CÉLULAS DE PRESIÓN TOTAL

El número de sensores operativos ha sido de tres, dos situados en el eje (CP-1E y CP-2E) y uno en el lado interior (CP-1I).

En las medidas obtenidas se aprecia una evolución acorde en el tiempo con los vertidos efectuados, si bien se observa que los incrementos de presión registrados no coinciden en magnitud con los incrementos teóricos, que se obtienen a partir de los espesores de vertidos y las densidades sumergidas de los materiales, según los valores de proyecto. Esta evolución en el tiempo de los incrementos de la presión la podemos observar en el gráfico siguiente, donde se han marcado, además, los escalones de carga, lo que nos permite constatar que los mayores saltos de presión se corresponden con los vertidos de todo uno, lo cual es lógico, si consideramos que la célula de presión estudiada se ubica en el eje de la sección del dique.



*Presiones-aplicación cargas, CP-1EC*

El que las presiones registradas no coincidan con las magnitudes teóricas previstas puede ser debido, además de posibles diferencias en el valor real de la densidad, a que la transmisión de carga de la escollera a las células no produce de manera uniforme las presiones al sensor o por giro de éste, con lo que se pierde el plano horizontal de medida.

En futuras aplicaciones en las que exista vertido de bloques de gran tamaño debería considerarse un procedimiento que mejore estos factores, posiblemente con el condicionante de tener que efectuar las medidas en capas más profundas.

### 5.3. SETTLEMENT CELLS

In section 1, instrumented with open hydraulic system piezoelectric cells, the one sensor (CA-12) that was operational was located at the top of the sand layer, under the layer of sandy clay. Consequently, this sensor recorded settlement in the sand.

The settlement data recorded were consistent with the dumping schedule, although the values measured were lower than foreseen in the design, indicating better than expected terrain behaviour.

On the grounds of the CA-12 readings, it may be concluded that the type of sensor chosen was suitable for conditions where settlement values are expected to be high and monitoring readings frequent (to ensure that the settlement value is not conditioned by equipment duplicities, determined by the sensor range, which is in turn dependent upon the difference in elevation between the measuring point and the position of the reference cell).

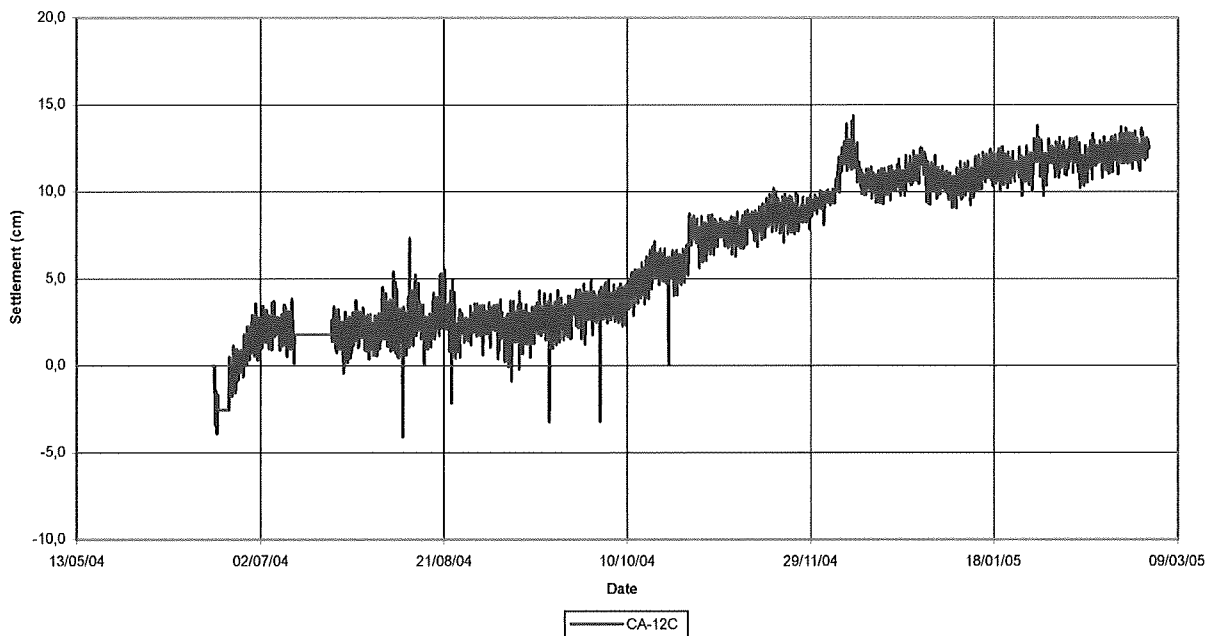
The installation procedure was regarded to be appropriate, although particular attention should be lent to the boring machine (the capacity to remove without rotating the cladding pipe proved to be instrumental to the conservation of sensor hydraulic tubes) and some manner of outside protection for the hydraulic tubes to prevent the loss of measuring points during dumping operations.

In section 2, instrumented with closed hydraulic system vibrating wire cells, the sensor found to be operational, CA-22, was also located at the top of the sandy layer.

The settlement data recorded were not consistent with the dumping schedule and were smaller than the design values.

Since these cells were installed inside a flexible tube to prevent deterioration when the cladding pipe was removed from the probe, the sensors may not have been rooted firmly into the terrain.

Wherever possible, elements that hinder full contact between the sensor and the terrain should be avoided.



*Settlement in section No. 1 - CA-12  
(Data corrected for variations in barometric pressure)*

### 5.4. INCLINOMETERS

All the seaward side inclinometers on the lines for monitoring horizontal displacement located near the dyke foot-

### 5.3. CÉLULAS DE ASIENTO

En la sección 1, instrumentada con células piezoeléctricas con un sistema hidráulico abierto, ha resultado operativo un sensor (CA-12), situado en techo de la capa de arenas, bajo la capa de arcillas arenosas. Este sensor registra por lo tanto el asiento de las arenas.

Los asientos registrados son coherentes con la evolución de los vertidos, si bien la magnitud medida es inferior a la prevista en proyecto, lo que indica un mejor comportamiento del terreno respecto a lo esperado.

En función de los registros de dicha célula CA-12, se puede concluir que el sensor empleado es adecuado a este tipo de aplicación, en la que los valores de asiento esperado son elevados y se realiza un seguimiento con una frecuencia intensa de toma de datos (para que el valor de asiento no esté condicionado por la repetitividad del equipo, determinada por el rango del sensor, que a su vez es función de la diferencia de cota entre el punto de medida y la posición del depósito de referencia).

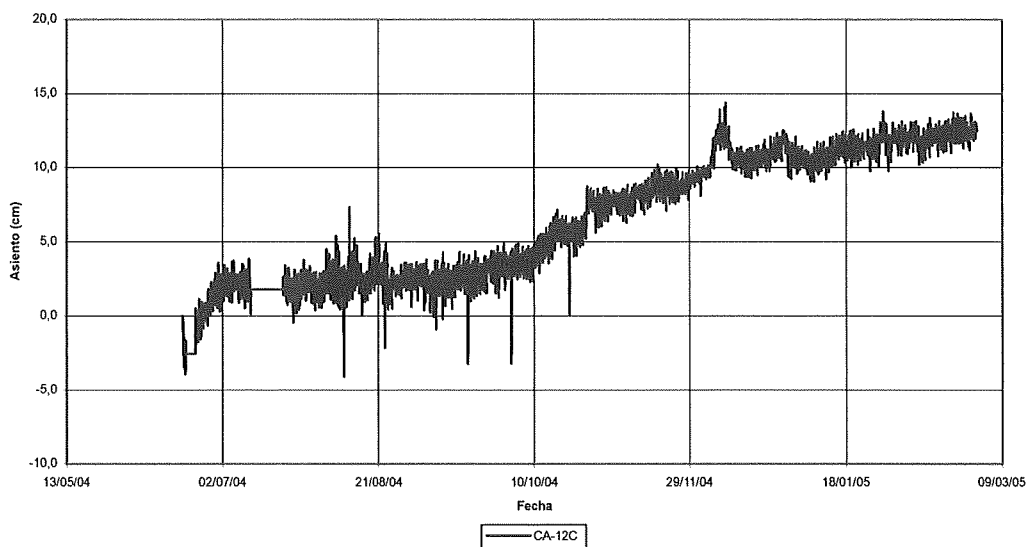
Se considera que el procedimiento de instalación ha sido adecuado, si bien deberá prestarse especial atención a las características de la máquina de sondeos (la capacidad de ésta de retirar la tubería de revestimiento sin necesidad de giro se ha mostrado de especial importancia en la conservación de los tubos hidráulicos de los sensores) y en la protección de los tubos hidráulicos con algún recubrimiento externo, para evitar pérdida de puntos de medida con el vertido de material.

En la sección 2, instrumentada con células de cuerda vibrante con un sistema hidráulico cerrado, se ha mostrado operativo el sensor CA-22, situado igualmente en techo de la capa de arenas.

Los asientos registrados no resultan coherentes con la evolución de vertidos y son inferiores a los valores teóricos de proyecto.

Estas células se instalaron en el interior de un tubo flexible, para evitar deterioros durante la extracción de la tubería de revestimiento del sondeo, por lo que probablemente no se ha conseguido solidarizar totalmente el sensor al terreno.

En la medida de lo posible deberán evitarse elementos intermedios que impidan el contacto entre sensor y terreno.



*Evolución de los asientos en la sección n.1. - CA-12  
(Datos corregidos en función de la variación de la presión barométrica)*

### 5.4. INCLINÓMETROS

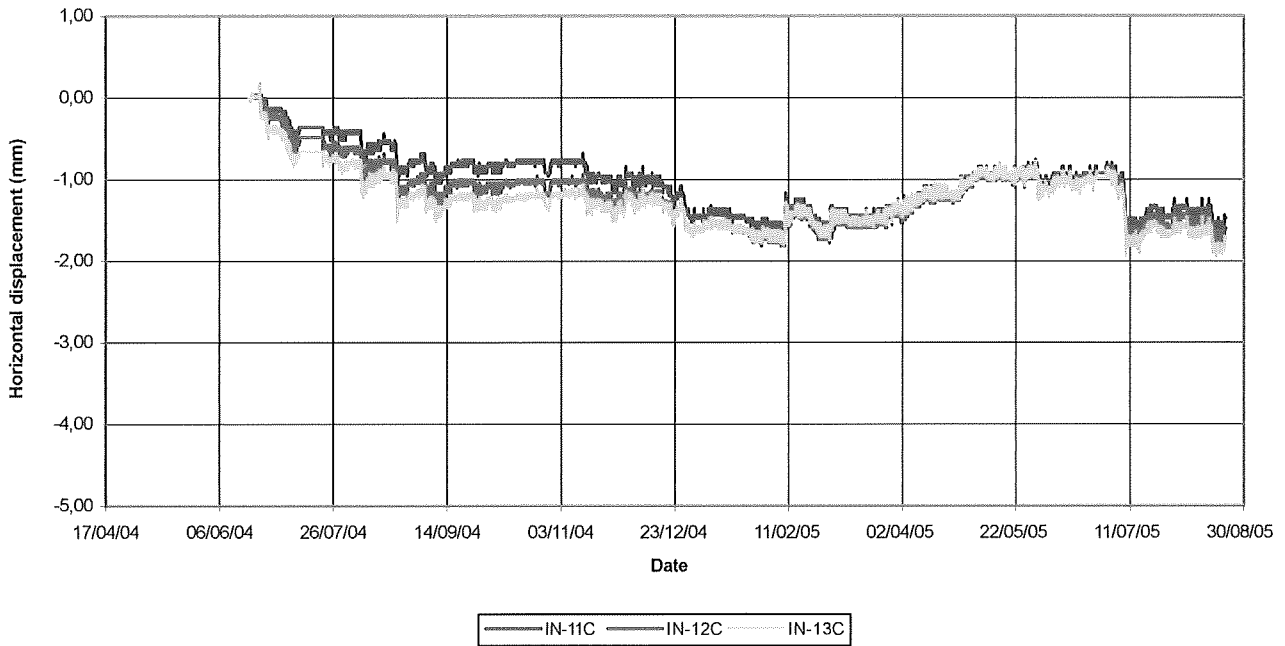
Se han mantenido operativos los inclinómetros en cada una de las líneas de control de desplazamientos horizontales que se sitúan próximas a la planta del dique por el lado mar, dado que es por donde se producirían las hipotéti-



print were kept in operation, since this is where hypothetical planar rupture surfaces, if any, would appear.

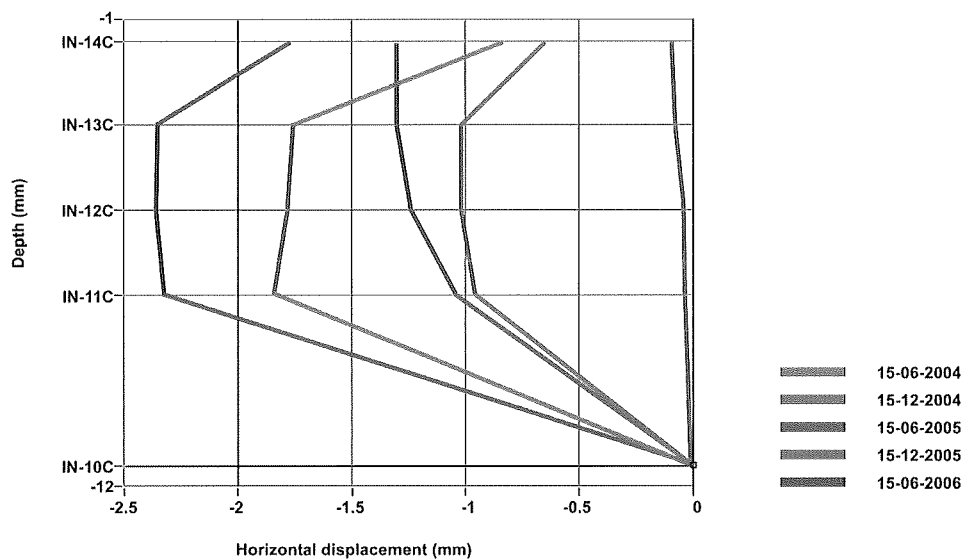
After a first phase in which displacement was in keeping with the dumping pace, drift and abrupt changes in values were observed in some of the inclinometers for reasons yet to be determined.

In any event, horizontal displacement readings were small (under 1 or 2 mm) and in keeping with eminently elastic – i.e., good – terrain behaviour to date.



*Inclinometers (tilt sensors), Section No 1*

The pattern of such movements can be illustrated more graphically if horizontal displacement is plotted against terrain elevation. The scale used here is inordinately large to make movement more readily appreciable, whereas the values involved are in fact very small and indicate good terrain behaviour.

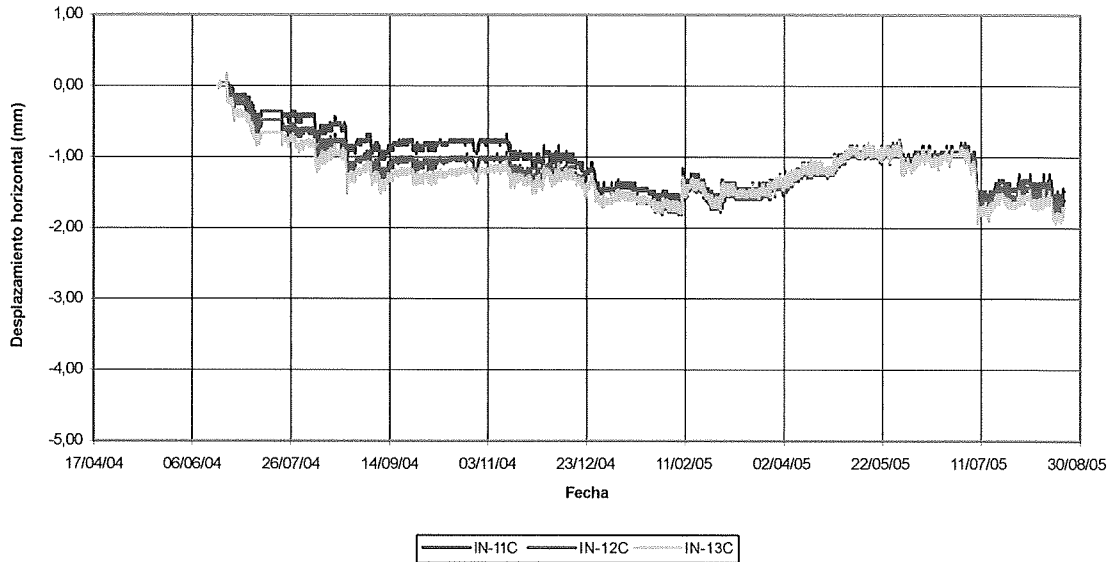


*Series inclinometers in Section No. 1. Displacement vs time*

cas líneas de rotura planas en el terreno.

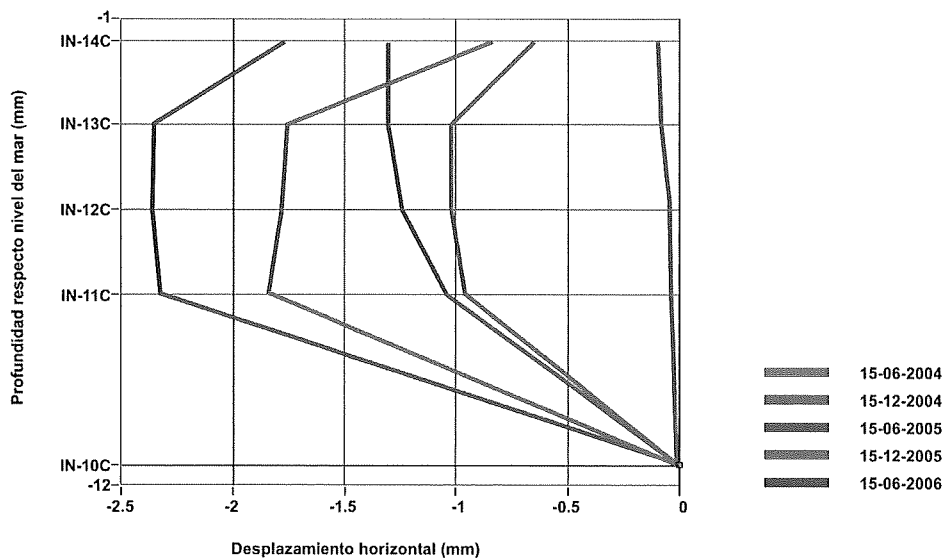
Tras una primera fase, con desplazamientos acordes con el ritmo de vertidos, en algunos inclinómetros se han producido derivas y saltos bruscos en las medidas, cuyo origen no se ha podido determinar hasta la fecha.

En cualquier caso, las lecturas de desplazamientos horizontales son reducidas (inferiores a 1 mm ó 2 mm) y acordes con una fase eminentemente elástica del terreno, lo que viene a indicar un buen comportamiento hasta la fecha.



Sensores inclinométricos, Sección n...1

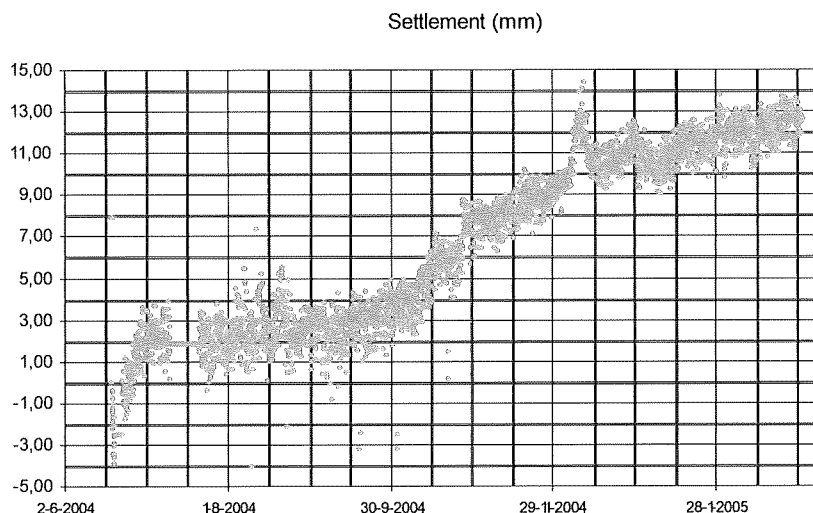
Para ver los movimientos de una forma más gráfica se puede colocar en abcisas el desplazamiento horizontal del inclinómetro y en ordenadas su cota. Así, se aprecia mejor el desplazamiento de los sensores con el tiempo. Aunque en el Gráfico se ha exagerado la escala para ver mejor el movimiento, hay que recordar que se trata de valores muy bajos, que se corresponden con un buen comportamiento del terreno.



Cadena de inclinómetros en la Sección n.1. Evolución en el tiempo.

## 5.5. DATA ANALYSIS

With the remote control system, the measures obtained could be monitored and processed and the results graphed as shown below.



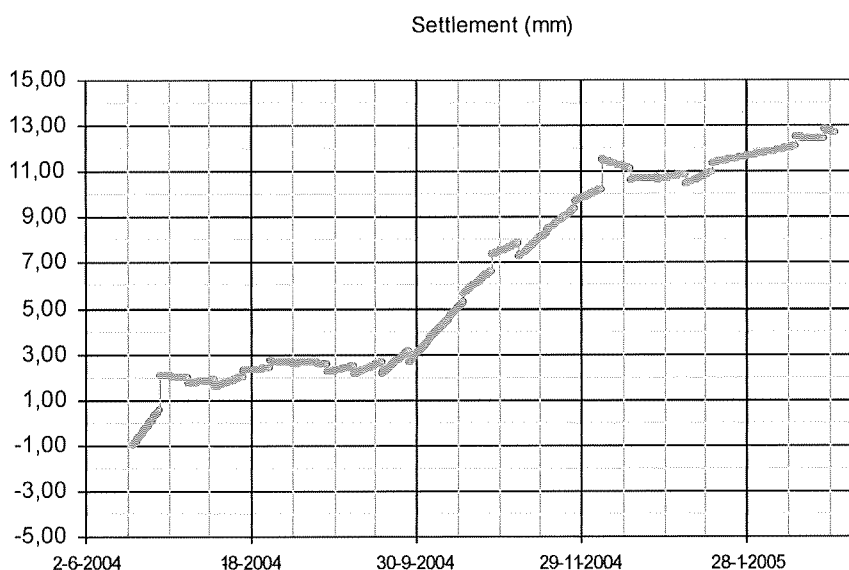
*Settlement, cell CA-12*

These tabled or graphed results are self-explanatory, but analytical or numerical data processing may be necessary for other parameters: foundation layer deformation rates, for instance, which can be found from settlement differences over time.

Finding the derivative of any of the parameters measured, if necessary, entails adapting the initial data, for what is actually available is a cluster of points that must first be converted into a continuous and differentiable (at least section by section) function.

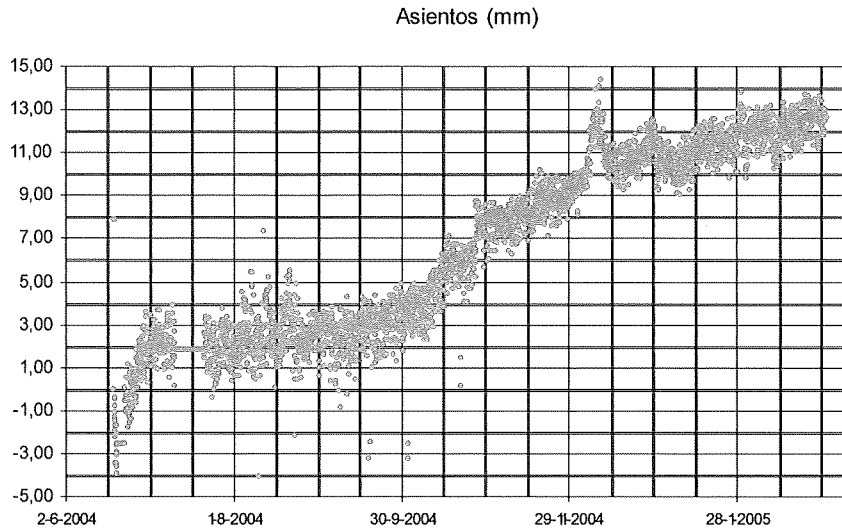
In this regard, several methods have been deployed to devise a simple working procedure that would yield an analytical formula for the data. Given the complexity of the graphs, the solutions discussed below are regarded to be the most suitable for these intents and purposes.

### - Fitting with section-by-section linear regression



## 5.5. TRATAMIENTO ANALÍTICO DE LOS DATOS OBTENIDOS

El sistema de telecontrol permite realizar el seguimiento y tratamiento de las medidas obtenidas, plasmando los resultados gráficamente en la forma que observamos a continuación:



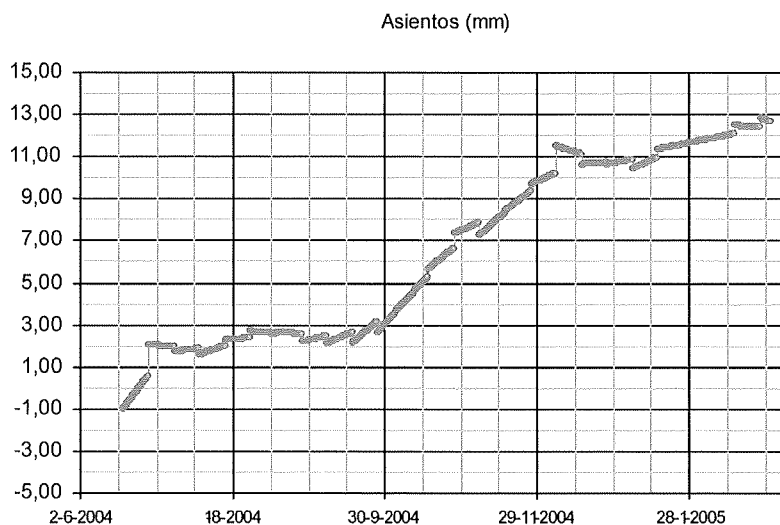
*Asientos célula CA-12*

Dichos resultados, en forma de tabla numérica o en forma gráfica, son susceptibles de interpretación por sí mismos, pero hay otros parámetros que podrían resultar de interés, para los que sería necesario realizar un tratamiento analítico o numérico de los datos; es el caso, por ejemplo, de las velocidades de deformación del sustrato de cimentación, que vendrían dadas por el diferencial de los asientos respecto del tiempo.

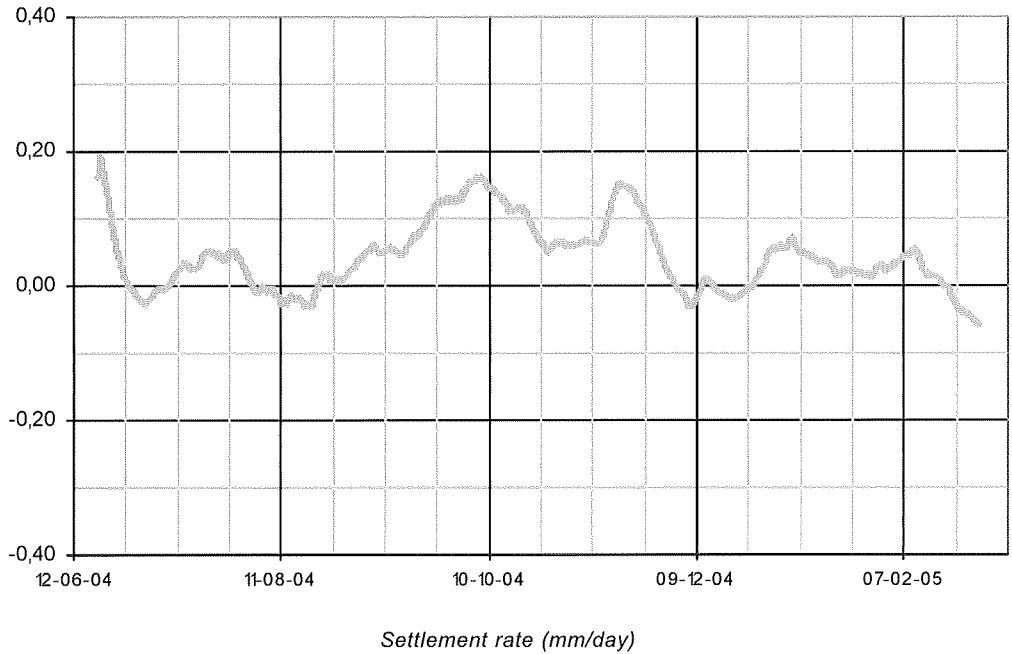
En el supuesto de necesitar el diferencial de alguno de los parámetros que se han estado midiendo, surge el problema de adaptar los datos de salida, ya que en realidad tenemos una nube de puntos, que debe convertirse en una función continua y derivable al menos por tramos.

En este sentido, se ha trabajado con diversos métodos, con la intención de conseguir un procedimiento de trabajo simple que permita obtener una fórmula analítica para los datos. Dada la complejidad de las gráficas, se han considerado como mejores soluciones las que se exponen a continuación:

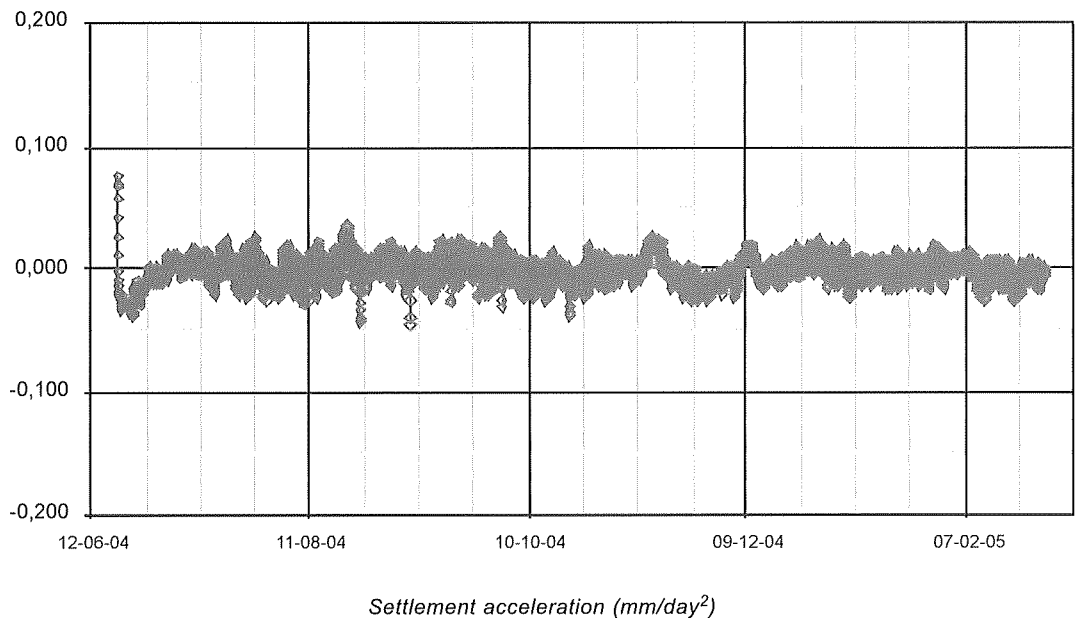
### - Ajuste con regresiones lineales por tramos



Since this method yields a smoothed settlement graph, the slope of the resulting curve can be used for operations although this entails the choice of a suitable section size to eliminate the “noise” associated with the sensor readings.

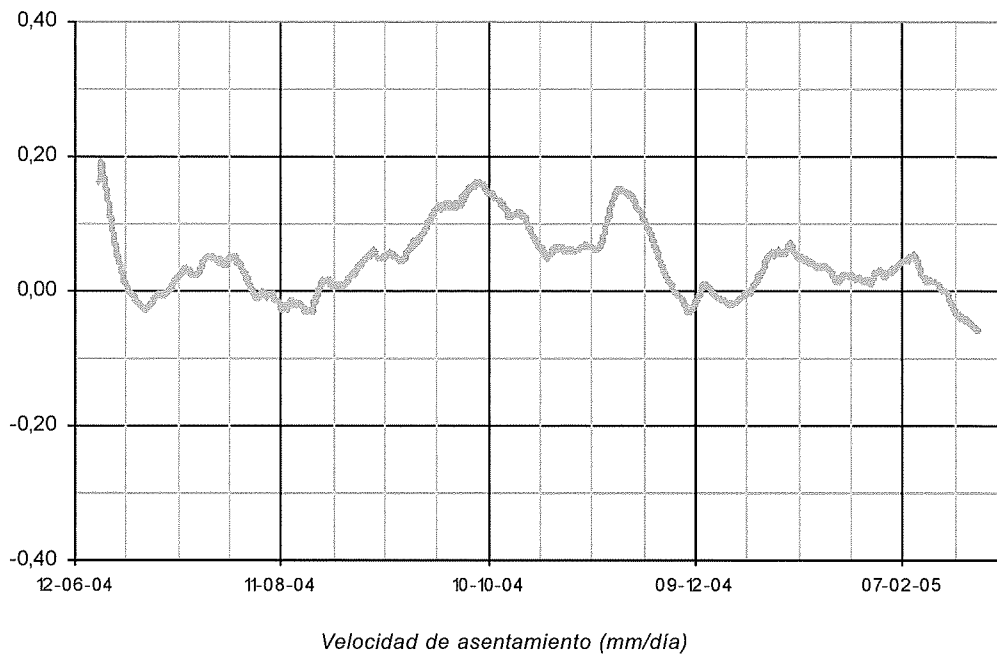


The Figure shows the form adopted by the deformation rate graph calculated from the curve fitted to the settlement data. The above zero values observed nearly throughout are indicative of continuous consolidation, without interruptions.

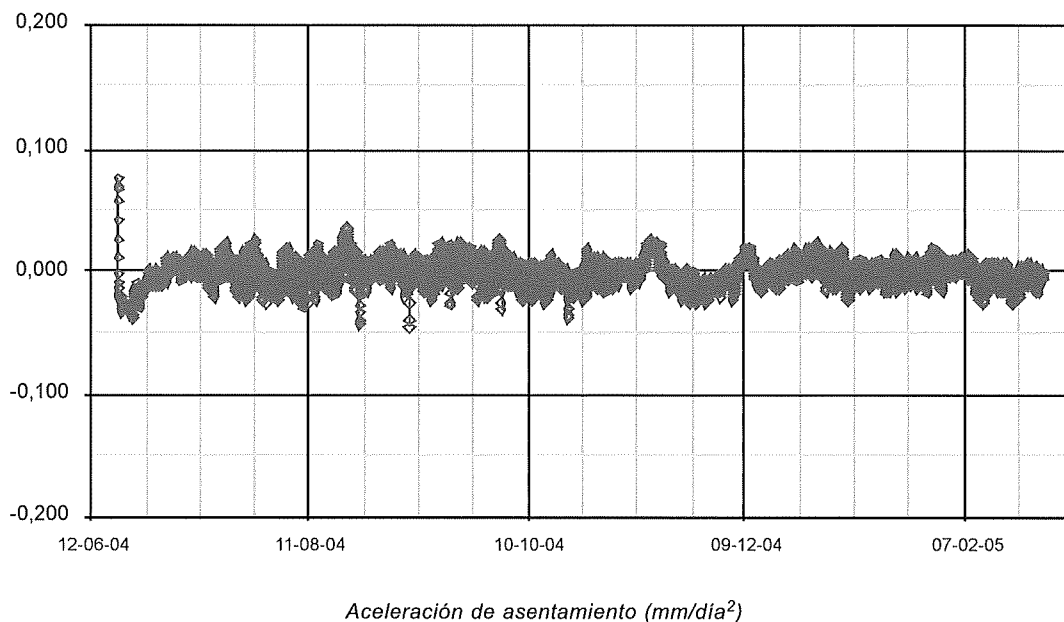


The inference to be drawn from the settlement acceleration graph, where values hover around zero, is that the distribution of the load on the terrain over time was appropriate. No dangerously high acceleration, a sign of possible incipient shelf instability, was recorded. Nor were there long periods of negative acceleration which would have indicated gaps when work could have continued.

Con este método obtenemos una gráfica de asientos suavizada que nos permite trabajar con las pendientes de la curva. Es necesario escoger un tamaño de tramo adecuado, que permita eliminar el "ruido" asociado a las lecturas registradas por los sensores.

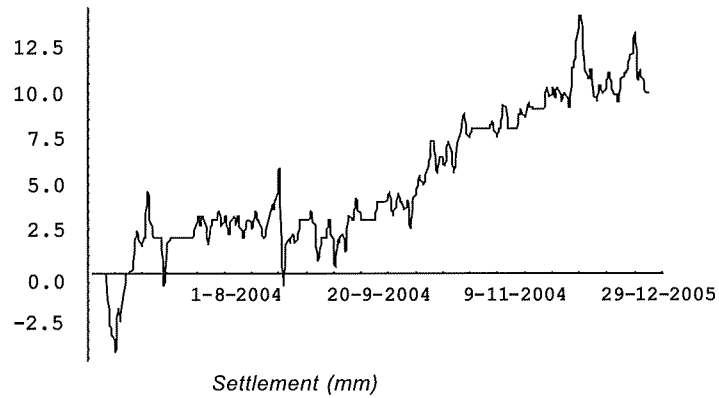


Aquí podemos observar la forma que toma la gráfica de velocidades de deformación calculada a partir de la gráfica de ajuste de los asientos. Vemos que se mantiene prácticamente en su totalidad por encima de cero, lo que indica que se ha tenido un proceso de consolidación continuo, sin pausas.

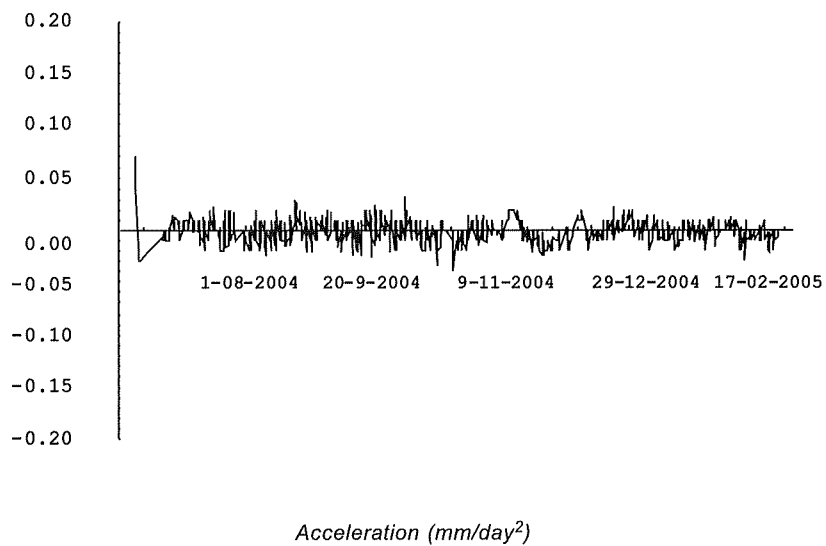
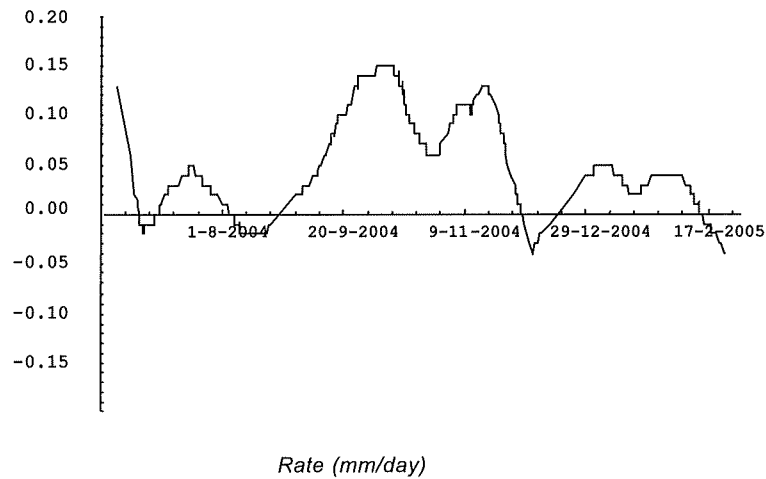


De la gráfica de aceleraciones de asentamiento, que se mantienen en valores muy bajos, y oscilando alrededor de cero, podemos deducir que la distribución en tiempo de la carga del terreno ha sido adecuada. No ha habido aceleraciones peligrosamente altas, que podrían haber indicado un principio de inestabilidad del talud. Tampoco ha habido largos periodos de aceleración negativa, que habrían indicado tiempos muertos en los que se podría haber continuado con los trabajos.

- Spline fit

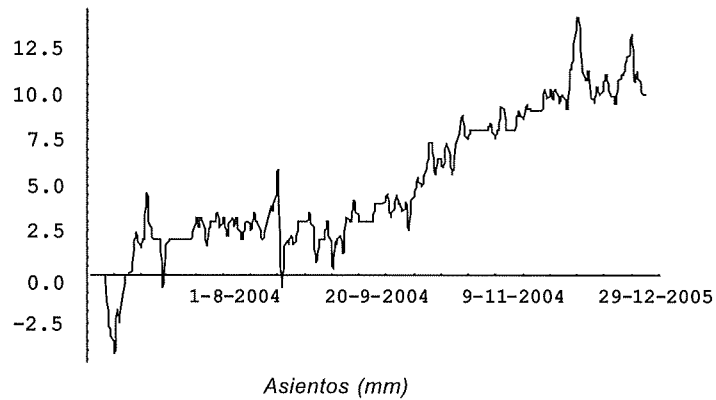


The continuous and differentiable curve obtained could be used to process data analytically so as to find deformation rates and acceleration values (see below).



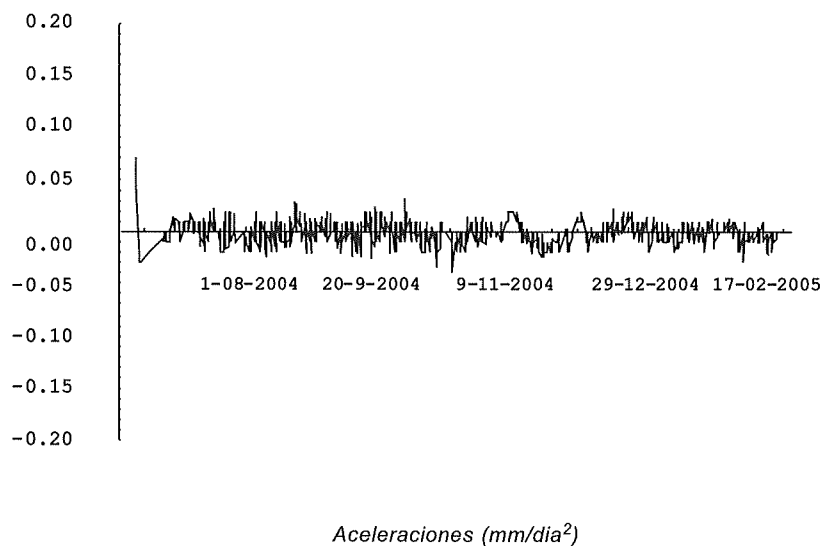
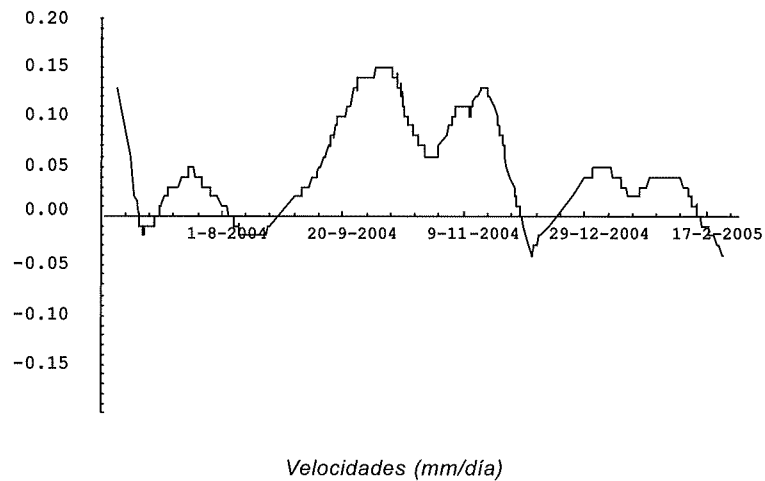


- Ajuste por medio de splines



Se obtiene una traza continua y derivable, que permite tratar los datos de forma analítica.

A partir de aquí, podemos obtener velocidades de deformación y aceleraciones.



---

## 5.6. CONCLUSIONS

According to the results obtained, vertical and horizontal terrain settling in the sections and areas instrumented was less intense than in the design, indicating better terrain behaviour than initially expected.

The inclinometer lines are a safety system for the works, inasmuch as they are able to detect, at a very early stage, any anomalous behaviour suggestive of possible foundation terrain slippage or rupture. Without suitable instrumentation, failures of this nature in works such as these (with loose, largely submerged material) would not be detected until the rupture had progressed much too far to be remedied with corrective measures.

In this regard, the sensors have shown no signs of any abnormal symptom to date.

The information provided by the instrumentation did not suffice to monitor the consolidation process with any precision, inasmuch as piezometric cells do not register interstitial overpressure. Moreover, the settlement cells positioned on the clay layer were found to be non-operational for the reasons discussed above.

---

## 5.6. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se deduce que los asientos verticales y horizontales del terreno, en las secciones y zonas instrumentadas, son inferiores a los valores de proyecto, lo que indicaría un mejor comportamiento del terreno sobre lo previsto.

Las líneas de inclinometría constituyen un sistema de seguridad para la obra, dado que permiten la detección precoz, en fase muy inicial, de un comportamiento anómalo ante un posible deslizamiento o rotura del terreno de cimentación. Debe tenerse en cuenta que un fallo de este tipo y en una obra de esta naturaleza (formada por materiales sueltos y en gran parte sumergida) no se detectaría, sin una instrumentación adecuada hasta que la rotura estuviese en una fase ya demasiado avanzada para poder adoptar medidas correctoras.

En este sentido las líneas colocadas no evidencian ningún síntoma anormal hasta la fecha.

En cuanto al proceso de consolidación, la instrumentación no ha permitido determinar con precisión su evolución, dado que las células piezométricas no recogen sobrepresiones intersticiales y por otro lado las células de asientos dispuestos sobre la capa de arcillas no han resultado operativas por las razones ya indicadas.



## Relación de Personal Titulado de INTEMAC

### Arquitectos

Fernández Sáez, Ana María  
Fraile Mora, Serafín  
González Balseyro, María José  
López-Nava Muñoz, Alberto Ignacio  
Luzón Cánovas, José M<sup>a</sup>  
Sánchez Arroyo, Jesús M<sup>a</sup>  
Sicilia Mañá, Beatriz

### Ingeniero Aeronáutico

París Loreiro, Angel

### Ingenieros de Caminos

Ayats Calsat, Juan  
Baena Alonso, Eva  
Barrios Corpa, Jorge  
Barrios Corpa, Roberto  
Beteta Cejudo, M<sup>a</sup> Carmen  
\* Calavera Ruiz, José  
Calderón Bello, Enrique  
Castillo Fernández, Luis Javier  
Corbacho Vicioso, José Angel  
Cortés Bretón, Juan María  
Corral Folgado, Claudio  
De la Cuerda del Olmo, Francisco Javier  
De la Fuente Gómez, Ana Isabel  
Dávila Sánchez-Toscano, Suyapa  
Díaz Heredia, Elena  
Díaz Lozano, Justo  
Díaz Pavón Cuaresma, Eduardo  
Encinar Arroyo, Antonio  
Fernández García, Susana  
\* Fernández Gómez, Jaime Antonio  
García de Diego Cano, Eva María  
González González, Juan José  
González Rejero, Carlos  
\* González Valle, Enrique  
\* Hostalet Alba, Francisco  
\* Izquierdo Bernaldo de Quirós, José M<sup>a</sup>  
Jiménez Ortiz, Gonzalo  
\* Ley Urzaiz, Jorge  
Munugarren Martínez, Miguel Angel  
Penadés Olaso, Sergio  
Pérez García, Noemí  
Prieto Tomé, Alfonso  
Recio Cañadas, Alba  
Rodríguez Escribano, Raúl Rubén  
\* Rodríguez Romero, Jesús M<sup>a</sup>  
Rueda Contreras, Jorge Ladislao  
Ruiz Fuentes, María Josefa  
Ruiz Jiménez-Alfaro, Felipe  
Sanz Pérez, Lorenzo  
Sirvent Sirvent, Enrique  
Tapia Menéndez, José  
Torre Cobo, María Carmen  
Torres Pérez, Elisa  
Valdés Fernández de Alarcón, Pablo  
Villanueva Ramírez, Santiago

### Ingeniero en Cartografía y Geodesia

López-Canti Casas, Elisa

### Ingenieros Civiles

Almeida da Silva, Pedro Miguel  
Teixeira Martins, Hermano Tiago

### Ingeniero Geólogo

Catalán Navarro, Antonio

### Ingeniero I.C.A.I.

Marín Estévez, Gonzalo

### Ingenieros Industriales

\* Alvarez Cabal, Ramón Amado  
Aníbarro Pérez, Paula  
Arroyo Arroyo, José Ramón  
Bayonne Sopo, Enrique  
De la Cruz Morón, Diego  
Estrada Gómez, Rafael  
García Malpartida, Javier  
González Carmona, Manuel  
Liébana Ramos, Miguel Angel  
López Bravo, Soraya  
Martos Ojanguren, Víctor  
Suárez Fernández, Antonio  
Torruella Martínez, Josep M<sup>a</sup>  
\* Valenciano Carles, Federico

### Ingeniero de Minas

Ramos Sánchez, Adelina

### Ingeniero de Montes

Pérez Fuentes, María Esther

### Ingeniero Químico

Andrade Grande, Alba María

### Dra. en Geografía e Historia

Calavera Vayá, Ana María

### Licenciada en Administración y Dirección de Empresas

Perales Gómez, Natalia

### Licenciado en Ciencias Ambientales

Gil Esteban, Luis Miguel

### Licenciado en C. Económicas y Empresariales

González Chavero, Antonio

### Licenciado en Ciencias Físicas

Salas Roa, Luis David

### Licenciados en Ciencias Químicas

Fernández Sendino, Marta  
Grandes Velasco, Sylvia María  
Iglesias Hernaiz, María Angeles  
López Sánchez, Pedro  
Morgado Sánchez, José Carlos

### Licenciados en Derecho

González del Olmo, Alfredo  
Jarillo Cerrato, Pedro

### Licenciada en Filología Hispánica

Valentín Sierra, M<sup>a</sup> Consuelo

**NOTA:** Todo el personal de INTEMAC trabaja en dedicación completa y exclusiva, con la excepción de las personas arriba indicadas con \* a las que se autoriza la dedicación a la Enseñanza Universitaria en régimen de dedicación parcial.

---

### **Licenciados en Geología**

Blanco Zorroza, Alberto  
Casado Chinarro, Alejandro  
Catalán Navarro, Antonio  
Díaz Castañeda, Esteban  
Fernández Carretero, Carlos Javier  
López Velilla, Oscar  
Pedrosa Ortiz, Germán  
Salado Rodilla, Luis  
Usillos Espín, Pablo

### **Arquitectos Técnicos**

Carrato Moñino, Rosa M<sup>a</sup>  
Fernández Jiménez, Amelia  
Galán Rivera, Sofía  
Gallego Castro, Sergio  
Montejano Jiménez, María del Carmen  
Muñoz Mesto, Angel  
Muñoz Ortega, Andrés  
Sanz Burgueño, Miguel Angel  
Vaquero Navarro, Carlos  
Vicente Minguela, Francisco

### **Ingenieros Técnicos Industriales**

Alcubilla Villanueva, Rubén  
Alvarez Pascual, Javier  
Campano Pérez, María Josefa  
Díaz-Trechuelo Laffón, Antonio  
García Campos, María de la Luz  
Madueño López, Javier  
Madueño Moraño, Antonio  
Muñoz Garíjo, Francisco Javier  
Pérez Berenguer, José Gil  
Piñeiro Herrero, Alberto  
Rodríguez Luque, Ana María  
Sáez Comet, Carlos  
Sánchez Bueno, Juan Jesús  
Santos Barrero, Francisco Javier  
Villar Riñones, Jesús

### **Ingeniero Técnico en Informática de Gestión**

Esteban Pérez, Ramón

### **Ingeniero Técnico de Minas**

Sillero Arroyo, Andrés

### **Ingenieros Técnicos Obras Públicas**

Carrero Crespo, Rafael

Galán de Cáceres, M<sup>a</sup> del Puerto  
García Ramos, Enrique  
González Isabel, Germán  
González Nuño, Luis  
Gutiérrez Garrosa, Raul  
Hernández Velasco, M<sup>a</sup> Concepción  
Mata Soriano, Juan Carlos  
Mazuecos Salas, Ildefonso  
Montiel Sánchez, Ernesto  
Muñoz Martín, Jesús  
Muñoz Mesto, Angel  
Ortiz del Campo, Natalia  
Pino Vaquero, José Angel  
Prieto Malillos, Raquel  
Ramos Valdés, Raquel  
Rivera Jiménez, Marta  
Romero García, Daniel  
Romero Panizo, José Fernando  
Rosa Moreno, José Andrés  
Rozas Hernando, José Juan  
Sánchez Tomé, Elena  
Sánchez Vicente, Andrés  
Sillero Olmedo, Rafael  
Soto López, Elena del  
Vicente Girón, Susana

### **Ingeniero Técnico de Telecomunicación**

Vicent Cantero, Francisco José

### **Ingenieros Técnicos Topógrafos**

Barragán Bermejo, M<sup>a</sup> Vicenta  
Carreras Ruiz, Francisco  
Lana Campos, Rebeca  
López Jiménez, Luis  
Molero Vicente, M<sup>a</sup> Isabel  
Sánchez Martín, María de la O  
Torés Campos, Ana M<sup>a</sup>  
Vicente Conde, M<sup>a</sup> Isabel

### **Técnicos en Administración de Empresas**

Cebrián Sobrino, M<sup>a</sup> José  
González del Olmo, M<sup>a</sup> de la Peña de F.

### **Técnico en Publicidad**

Blanco Armas, Cristina

### **Topógrafo**

Alquézar Falceto, Ricardo

---

**NOTA:** Todo el personal de INTEMAC trabaja en dedicación completa y exclusiva, con la excepción de las personas arriba indicadas con \* a las que se autoriza la dedicación a la Enseñanza Universitaria en régimen de dedicación parcial.







## CUADERNOS INTEMAC

CUADERNOS INTEMAC es una publicación trimestral, bilingüe en español e inglés, en forma de monografías que recogen trabajos realizados por los técnicos del Instituto o presentados en los Cursos y Conferencias organizados por el mismo.

Los temas tratados cubren tanto el campo de las Obras Públicas como el de la Edificación y sus Instalaciones.

Precio de la suscripción Año 2005: 27 €



### ULTIMOS TITULOS PUBLICADOS

#### Cuaderno Nº 62

"Recomendaciones para el proyecto de muros de sótano sometidos a cargas verticales originadas por pilares de fachada"

Autor: A. DE LA PEÑA

#### Cuaderno Nº 63

"Instrumentación geotécnica de una obra marítima: dique de abrigo de la ampliación del puerto de Alicante"

Autores: C. ELENO CARRETERO  
Mª J. RUIZ FUENTES  
P. USILLOS ESPÍN

### CUADERNOS DE PROXIMA APARICION

#### Cuaderno Nº 64

"Instalaciones en aparcamientos subterráneos"

Autor: F. VALENCIANO CARLES

#### Cuaderno Nº 65

"Incidencia de los aditivos antilavado en los hormigones puestos en obra bajo el agua (hormigones sumergidos)"

Autor: L. SANZ PÉREZ

Consulte lista completa de la Colección

## MONOGRAFÍAS INTEMAC

A partir de junio de 1998 INTEMAC emprendió una nueva línea de publicaciones con un carácter eminentemente práctico, destinadas a tratar temas muy concretos que, o bien presentan un nivel de problemas acusados en la práctica, o bien están insuficientemente cubiertos por la Normativa y la documentación técnica existente.

#### MONOGRAFÍA INTEMAC Nº 5

"Mantenimiento y reparación de paramentos de hormigón".

Autores: R. Barrios Corpa, C. Beteta Cejudo, E. Díaz Heredia, Prof. J. Fernández Gómez, J. Mª. Rodríguez Romero.

Precio de la Monografía 33 €

#### MONOGRAFÍA INTEMAC Nº 6

"Patología, técnicas de intervención y limpieza de fábricas de ladrillo".

Autores: P. López Sánchez, J. Mª. Luzón Cánovas, I. Martínez Pérez, A. Muñoz Mesto, A. Fernández Sáez.

Precio de la Monografía 33 €

#### MONOGRAFÍA INTEMAC Nº 7

"Estructuras de madera".

Autores: J. Mª. Izquierdo y Bernaldo de Quirós.

Precio de la Monografía 33 €



## NOTAS DE INFORMACIÓN TÉCNICA NIT

En INTEMAC se producen, con frecuencia, notas de información sobre temas que pensamos que no solamente tienen una utilidad interna sino que pueden resultar interesantes para muchos Técnicos de la Construcción.

#### NOTAS DE INFORMACIÓN TÉCNICA NIT 1 (05)

"Estudio experimental sobre la influencia de distintos procedimientos de curado inicial en obra, en la resistencia a compresión de probetas de hormigón".

Autores: J. Calavera Ruiz, J. Fernández Gómez, G. González Isabel, J. Ley Urzaiz

Edición bilingüe (español e inglés) en color.

Precio 11 €



#### NOTAS DE INFORMACIÓN TÉCNICA NIT 2 (05)

"El Incendio del Edificio Windsor de Madrid. Investigación del comportamiento al fuego y de la capacidad resistente residual de la estructura tras el incendio".

Autores: J. Calavera Ruiz, E. González Valle, J. Díaz Lozano, J. L. Cano Muñoz, J. Fernández Gómez, J. Mª. Izquierdo y Bernaldo de Quirós, J. Ley Urzaiz.

Edición bilingüe (español e inglés) en color.

Precio 15,5 €

## VÍDEOS TÉCNICOS

#### Muestreo de hormigón fresco. Fabricación y ensayo de probetas de hormigón.

Nº 2001 (1-1)

Contempla de forma completa y detallada el proceso de toma de muestras de hormigón fresco en obra, la medida de la consistencia con el Cono de Abrams, fabricación de probetas, curado en obra, transporte al laboratorio, curado en cámara, refrentado y ensayo a compresión.

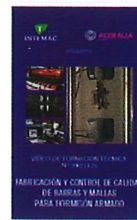
Esta nueva versión del vídeo 8801 (1), introduce las modificaciones de EHE y un sistema de estudio de la distribución de presiones de la prensa sobre la probeta así como los aspectos particulares del ensayo de hormigones de alta resistencia. 30 minutos - 25 €



#### Fabricación y control de calidad de barras y mallas para hormigón armado.

Nº 2002 (1-2)

Muestra el proceso de laminación en fábrica de las barras y alambres, la fabricación de mallas y los ensayos de tracción, doblado, arrancamiento de nudos y determinación de las características geométricas del corrugado y el ensayo de Beam-test para la determinación de las características de adherencia. 30 minutos - 25 €



#### Compresión centrada en hormigón armado.

Nº 2002 (1-4)

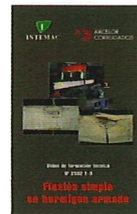
Contempla la rotura de siete pilares a escala real, variando resistencias de hormigón desde 25 N/mm<sup>2</sup> a 100 N/mm<sup>2</sup>, las cuantías de armaduras, la separación de estribos y la velocidad de carga conectando todo ello con las fórmulas de cálculo. 35 minutos - 25 €



#### Flexión simple en hormigón armado.

Nº 2002 (1-3)

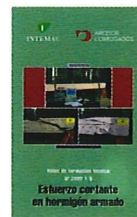
Incluye el ensayo a rotura de cinco vigas a escala real, con diferentes cuantías y diferentes desarrollos de adherencia conectando todo ello con las fórmulas de cálculo. 35 minutos - 25 €



#### Esfuerzo cortante en hormigón armado.

Nº 2002 (1-5)

Muestra el ensayo a rotura de cinco vigas a escala real, con diferentes formas de rotura por corte (Tracción diagonal, corte flexión, compresión diagonal, etc.) conectando todo ello con las fórmulas de cálculo. 25 minutos - 25 €

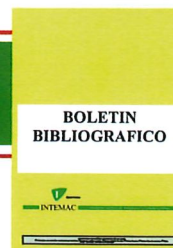


## BOLETÍN BIBLIOGRÁFICO

INTEMAC viene realizando desde su fundación un BOLETÍN BIBLIOGRÁFICO para uso interno, que ofrece, en una lectura rápida, un panorama general de todas las publicaciones técnicas disponibles. Desde 1991, esta publicación bimestral, ha sido puesta a disposición del público.

EL BOLETÍN BIBLIOGRÁFICO incluye:  
Fotocopia del índice y de los resúmenes de los artículos contenidos en las 105 revistas técnicas que se reciben en el Instituto referentes a los campos de la Edificación, Instalaciones, Obras Públicas y Urbanismo. Una sección de Normativa reciente, nacional y extranjera. Secciones de Bibliografía y Cursos. Una sección de Congresos, Reuniones Técnicas y Ferias de próxima celebración en todo el mundo.

Tarifa de suscripción anual (6 números) 152 €



Consulte otras publicaciones  
[www.intemac.es](http://www.intemac.es)





**Nueva edición**

## Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado

2ª edición (2 tomos)

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 120 €



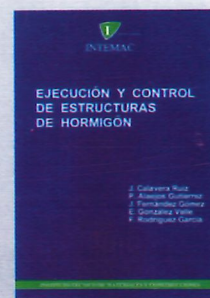
**Nueva publicación**

## Fichas de ejecución de obras de hormigón

2ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 50 €



**Nueva publicación**

## Ejecución y control de estructuras de hormigón

J. Calavera, P. Alaejos Gutiérrez,  
J. Fernández Gómez, E. González Valle,  
F. Rodríguez García

Precio: 100 €



## Manual para la redacción de informes técnicos en construcción

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 72 €



## Manual de Ferralla

3ª edición

J. Calavera, E. González Valle,  
J. Fernández Gómez, F. Valenciano

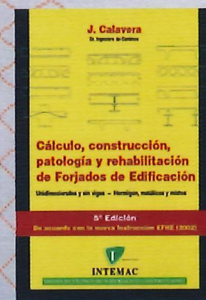
Precio: 38 €



## Proyecto de estructuras de hormigón con armaduras industrializadas

J. Calavera, E. González Valle,  
J. Fernández Gómez, F. Valenciano

Precio: 47 €

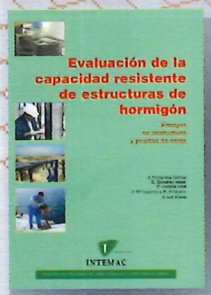


## Cálculo, construcción, patología y rehabilitación de forjados de edificación

5ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 100 €



## Evaluación de la capacidad resistente de estructuras de hormigón

J. Fernández Gómez, G. González Isabel,  
F. Hostalet Alba, J. M. Izquierdo, J. Ley Urzaiz

Precio: 58 €

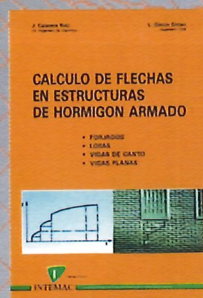


## Muros de contención y muros de sótano

3ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 71 €



## Cálculo de flechas en estructuras de hormigón armado

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)  
L. García Dutari (Ingeniero Civil)

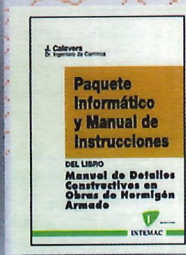
Precio: 50 €



## Manual de detalles constructivos en obras del hormigón armado

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

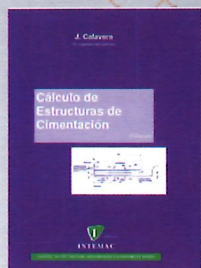
Libro: 112 € - Paquete informático: 198 €



INTEMAC

Mario Roso de Luna, 29, Ed. 12 - 28022 MADRID  
TEL.: 91 327 74 00 • FAX: 91 327 74 20  
e-mail: intemac@intemac.es

www.intemac.es



## Cálculo de estructuras de cimentación

4ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

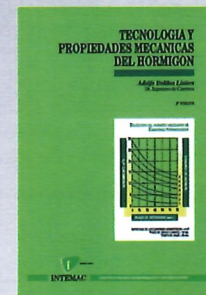
Precio: 71 €



## Hormigón de alta resistencia

G. González-Isabel (Ingeniero Técnico de O. P.)

Precio: 44 €



## Tecnología y propiedades mecánicas de hormigón

A. Delibes (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 54 €