

# CUADERNOS INTEMAC

**Construcción y seguimiento de una gran obra de tierra**

**Construction and monitoring of large earthworks**

---

Claudio Corral Folgado

José Espinós Espinós



**INTEMAC**

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

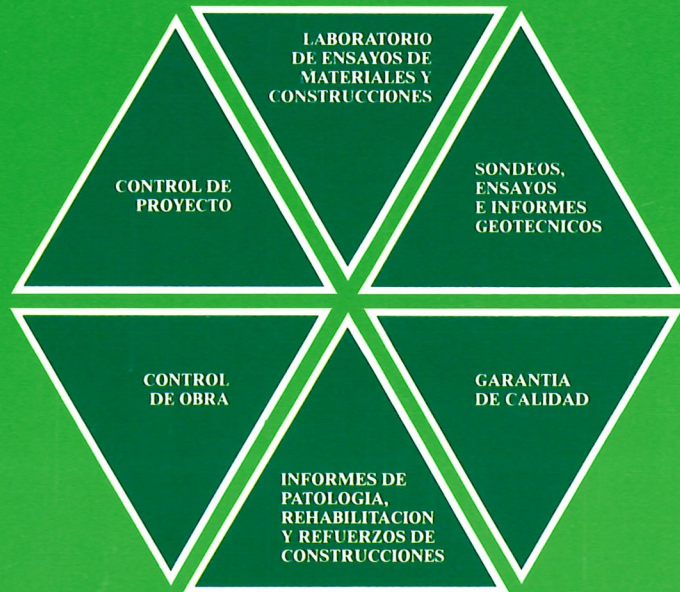
**N.º 6**  
**2.º TRIMESTRE '92**



# INTEMAC

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

OBRAS PUBLICAS  
EDIFICACION  
INSTALACIONES



**INTEMAC**  
AUDIT



AUDITORIA TECNICO-ECONOMICA  
DE CONSTRUCCIONES

---

CONSTRUCCION Y SEGUIMIENTO DE UNA GRAN OBRA DE TIERRAS  
CONSTRUCTION AND MONITORING OF LARGE EARTHWORKS



Claudio Corral Folgado  
Ingeniero de Caminos  
Director de Area de INTEMAC

Civil Engineer  
Regional Director of  
Intemac



José Espinós Espinós  
Ingeniero de Caminos  
Jefe del Departamento de Obra Civil  
de INTEMAC

Civil Engineer  
Head of Civil Works  
Department of Intemac

---

Copyright © 1992, 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.

Depósito legal: M-19.406-1992 I.S.B.N.: 84-87892-06-x  
Torreangulo Arte Gráfico, S. A. - Batalla de Belchite, 19

---

## INDEX

- 1 INTRODUCTION
- 2 LONGITUDINAL AND TRANSVERSE DRAINAGE
- 3 PREPARATION OF THE FOUNDATIONS
- 4 BACKFILL MATERIALS
- 5 CONSTRUCTION
- 6 SETTLEMENT
  - 6.1 Apparatus
  - 6.2 Placement of apparatus
  - 6.3 Results of settlement measurement
- 7 REFERENCES

## INDICE

- 1 INTRODUCCION
- 2 DRENAJE LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL
- 3 PREPARACION DEL CIMIENTO
- 4 MATERIALES PARA RELLENOS
- 5 CONSTRUCCION
- 6 ASIENTOS
  - 6.1 Instrumentación
  - 6.2 Situación de los instrumentos
  - 6.3 Resultados de la medición de asientos
- 7 BIBLIOGRAFIA

## Synopsis

Numerous large earthworks are carried out today, and for reasons of economy it is necessary to use those materials found in the vicinity of the works.

Though traditional recommendations and standards are still valid today, it is necessary to complement these with a number of general ideas, standards of good practice and criteria which enable construction works to be made in accordance with the quality, cost and time established in the job specifications.

These guidelines are given with respect to a practical example; the construction of large earthfill works during the work on the New Rail Access to Andalusia. The construction process is laid out together with the selection process and their definition; the monitoring and auscultation methods used during construction; and the criteria of acceptance of the results.

We also include a brief summary of the monitoring systems employed on the completion of work.

## 1 INTRODUCTION

Nowadays it is becoming more and more frequent to carry out large earthworks in relatively short periods of time for infrastructural works such as fill-type dams, medium to high capacity trunk roads and railways.

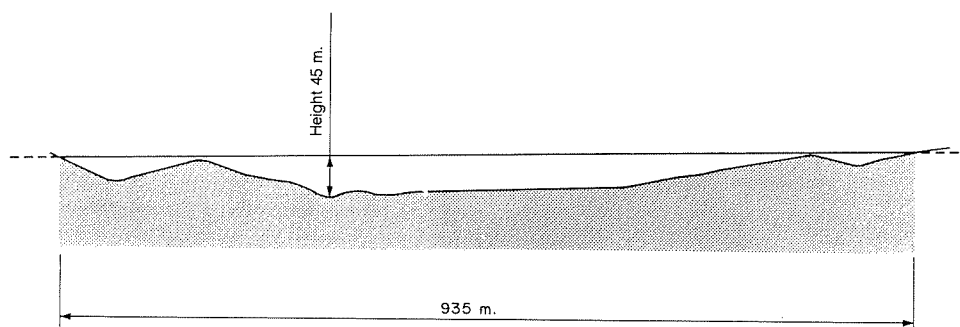
It has always been recommendable to use the existing materials located in the vicinity of the earthworks, and this is especially true in the case of large earthworks. However, as very strict functional specifications have to be met in the work, it is necessary to establish a "compatible compromise" between the two determining factors.

This is the main reason for the present document, and we will proceed to give the general criteria for large backfill works, based on the construction of a 2.5 million cubic metre earthfill, with a maximum height of 25 m, and a central stretch of approximately 700 m long.

This is located on the Alcolea – Adamuz section of the New Rail Access to Andalusia, constructed for the High Speed Train, which is known in Spanish as the "AVE". During construction the work was commonly referred to as "El Gran Terraplén" or The Great Earthfill and this became the standard name for the work.

It was carried out by the Ministry of Public Works Department of Land Transport Infrastructure. INTEMAC (The Technical Institute of Materials and Construction) were responsible for the Technical Assistance on the Control and Monitoring of the work.

Figure 1 shows the longitudinal section of the earthfill and Figure 2 indicates the cross-section of the same.



LONGITUDINAL SECTION

FIGURE 1

## Sinopsis

En los últimos tiempos se están construyendo numerosas obras de tierra de gran volumen. En ellas se hace necesario, por razones de economía, utilizar los materiales que se encuentren en las inmediaciones de la obra.

Por ello, aún conservando plenamente su validez las recomendaciones y normativas tradicionales, es preciso complementarlas con una serie de ideas generales, normas de buena práctica y criterios, que permitan hacer frente a la construcción de las obras en las condiciones de calidad, plazo y económicas, acordes con las prescripciones de proyecto.

Basados en estas consideraciones, se describen estas recomendaciones con carácter general, y aplicadas a la ejecución de un terraplén de gran volumen, durante las obras del Nuevo Acceso Ferroviario a Andalucía. Se exponen tanto los procedimientos constructivos como el proceso de selección seguido hasta definirlos; los métodos de seguimiento y auscultación utilizados durante la construcción; y los criterios de aceptación o rechazo de los resultados obtenidos.

Asimismo, se definen brevemente los sistemas de seguimiento de la obra, una vez finalizada la construcción.

## 1 INTRODUCCION

Actualmente, en las obras de infraestructura tales como presas de materiales sueltos, vías interurbanas de media y alta capacidad y ferrocarriles, es cada vez más frecuente la necesidad de realizar grandes movimientos de tierras, en plazos relativamente cortos.

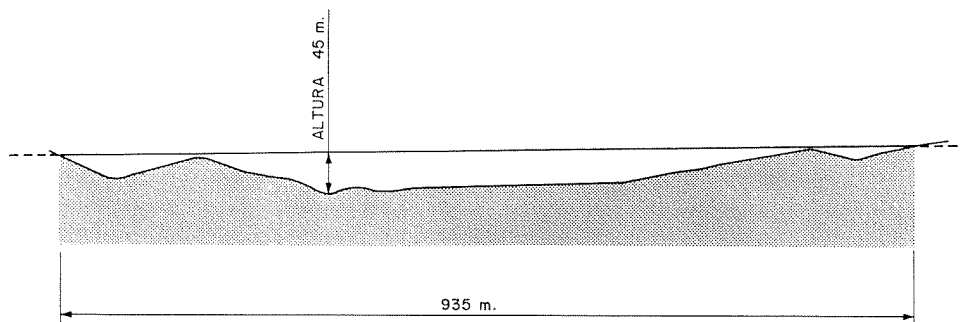
Si siempre ha sido aconsejable utilizar en la construcción de las obras de tierra, los materiales existentes en el entorno más próximo, resulta de vital importancia en el caso de obras de gran volumen. Ello pese a que las especificaciones de funcionalidad que deba satisfacer la obra sean muy estrictas, debiendo por tanto establecerse el «compromiso de compatibilidad» entre ambos condicionantes.

Es este el motivo principal del presente documento, en el que se aportan los criterios generales para la construcción de grandes obras de relleno, particularizados en los que han servido de base para la construcción de un terraplén de 2,5 millones de metros cúbicos y 45 m. de altura máxima, con un tramo central de aproximadamente 700 m. de longitud.

Se encuentra situado en el tramo Alcolea - Adamuz del Nuevo Acceso Ferroviario a Andalucía, NAFA - Sur construido para el Tren de Alta Velocidad (AVE). Durante la obra comenzó a ser denominado de forma coloquial «El Gran Terraplén» y pronto esa denominación adquirió carta de naturaleza.

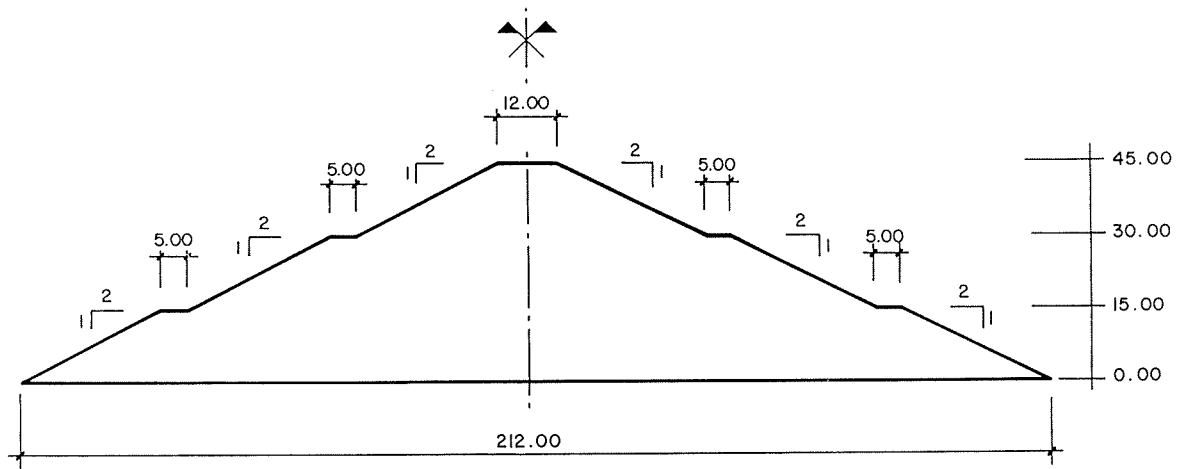
Fue realizado por la Dirección General de Infraestructura del Transporte Terrestre del M.O.P. y T., anterior M.T.T. y C. El Instituto Técnico de Materiales y Construcciones - INTEMAC desarrolló la Asistencia Técnica para el Control y Vigilancia de las obras.

En la figura 1 aparece recogido un esquema de perfil longitudinal del terraplén y en la figura 2 la sección transversal tipo.



PERFIL LONGITUDINAL

FIGURA 1



CROSS-SECTION

FIGURE 2

## 2 LONGITUDINAL AND TRANSVERSE DRAINAGE

It is well known that the most difficult external agent in the behaviour of backfill work is that of water. Therefore, on commencing the work, it is advisable to carefully verify that corresponding to the hypothesis taken in the design of the drainage with the real conditions presented on site. In order to ascertain this information it is sometimes necessary to excavate a relatively high number of transversal ditches, which also enables the inspection of the nature of the foundations, and which later serve as auxiliary elements of the transversal drainage. These excavations are then backfilled with thick non-degradable material and compacted.

The drainage must harness, channel and evacuate all surface and deep water which might affect the foundations of the earthfill. The design depends entirely on the nature and topography of the ground supporting the backfill, and due consideration should be made for the particular conditions of each case.

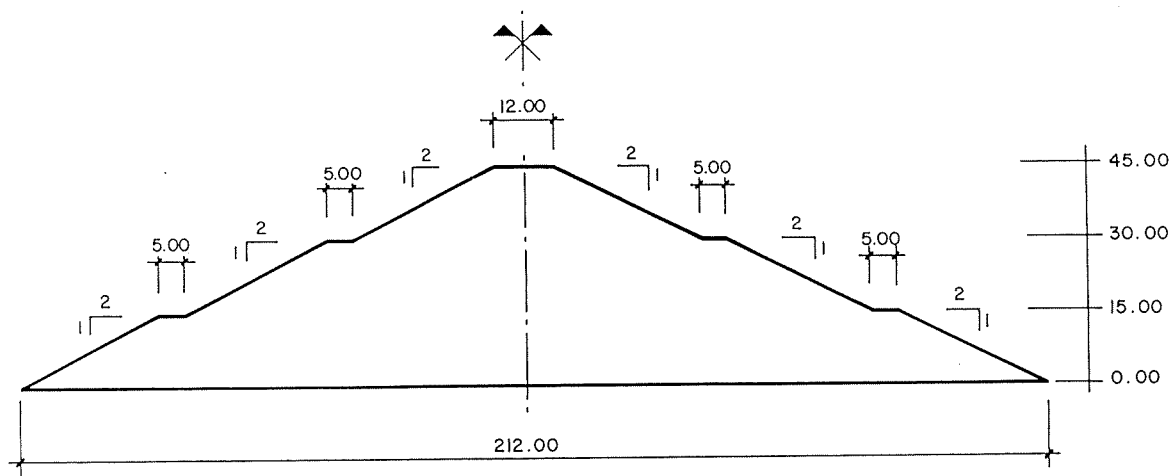
In the work in question, a collecting ditch was constructed to serve as the longitudinal drainage, and placed at the foot of the bed, up water from the same. The layer of topsoil and earth was removed down to a shallow bed of sound rock.

The transversal drainage was made by a Type P-1 culvert in accordance with the Road Standards 4.1.-IC Small Manufactured Works. Given the characteristics of the area, and the fact that the rock was found practically on the surface, it was not considered necessary to drain the area nor to make deep drainage.

## 3 PREPARATION OF THE FOUNDATIONS

The Design Specifications should indicate, in accordance with the functional requirements of the work and with the nature and state of the ground below the foundations of the road bed, whether it is necessary to remove the layer of topsoil and any unsuitable material, the need to scarify and recompact the soil, the use of geotextiles to strengthen the bearing capacity or to pin weak areas, etc. However, it is always safer to scrape the topsoil and deposits of loose soils, and scarify and recompact the existing sound ground prior to the construction of the backfill foundations, whenever possible.





## SECCION TRANSVERSAL TIPO

FIGURA 2

### 2 DRENAJE LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL

Como es bien sabido, el agente externo más problemático en el comportamiento de los rellenos es el agua, lo que hace aconsejable al comienzo de las obras verificar cuidadosamente la correspondencia entre las hipótesis asumidas para proyectar el drenaje, y las condiciones reales de detalle que se dan en el terreno. Para asegurarse, en ciertos casos puede ser conveniente excavar un relativamente elevado número de zanjas transversales, que adicionalmente permitan comprobar la naturaleza del terreno de cimentación, y sirvan posteriormente como elementos auxiliares de drenaje transversal, rellenándolas de material grueso no degradable y compactando posteriormente.

El drenaje debe captar, canalizar y evacuar todas las aguas capaces de afectar al cimiento del terraplén, tanto superficiales, como profundas. Su diseño está en íntima dependencia con la naturaleza y topografía del terreno sobre el que apoya el relleno, debiéndose prever las soluciones para cada caso particular en el proyecto.

En la obra de referencia, se construyó como drenaje longitudinal un cunetón colector a pie de terraplén, aguas arriba del mismo, el cual tras retirar la capa de tierra vegetal y suelo llegaba hasta la roca sana, muy somera en la zona.

El drenaje transversal está asegurado por un Pontón Tipo P-1 de la Instrucción de Carreteras 4.1.-IC Pequeñas Obras de Fábrica. Dadas las características de la zona, y al encontrarse la roca prácticamente en superficie, no se consideró necesario realizar ningún tipo de saneo, ni de drenaje profundo.

### 3 PREPARACION DEL CIMIENTO

El Proyecto, de acuerdo con los requisitos funcionales de la obra y con la naturaleza y estado del terreno bajo la cimentación del terraplén, debe indicar en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, la necesidad o no de eliminar el manto de tierra vegetal y el posible material inadecuado, la conveniencia de escarificar y recompactar el terreno, utilizando geotextiles como refuerzo de su capacidad portante o para puentear zonas blandas, etc. No obstante y siempre que sea posible, lo más seguro es eliminar la tierra vegetal y los depósitos de suelos blandos, esclareciendo y recompactando el terreno sano existente, antes de comenzar a construir la cimentación del relleno.

---

In the work in question the thickness of the topsoil and unsuitable material was variable, going from just a few centimetres up to over 2 metres. Once these materials had been removed, a shaley rock was found which contained practically vertical dips and which was particularly weathered in some areas.

After the stripping and removal of the topsoil over the foundations of the backfill, all the totally and partially weathered rock was excavated and removed, to reveal a sound rock bed, over which the first layers of backfill were then placed. This was carried out to ensure greater safety in view of the great height of the work and the serious limitations of the foundations given the enormous liability posed by the same throughout their working life.

#### 4 BACKFILL MATERIALS

As we have already mentioned in the Introduction, the selection of the materials to be used in each part of the work is fundamental in the construction of large fill-type works, from both a technical and economical point of view.

Using the standard nomenclature, it is necessary to distinguish between the material employed in the top layer and that employed in the "core". In addition to this the standards establish a classification of materials used in "earthfill" and in "rockfill". However, in this type of work where it is necessary to use the material found in the vicinity of the work, the materials frequently fail to comply with the specifications for earthfill and rockfill, and it is therefore necessary to reach a compromise which assures an acceptable level of quality.

In certain specifications these types of intermediate materials are referred to as "ungraded" materials, and should be completed in accordance with the general criteria for the use and employment of the different usable materials, whether they be compensatory materials, from embankments, tunnels etc, or borrow materials in cases requiring a larger volume of backfill to that produced by the excavations.

The best quality materials should be used in the foundations and the top layer. The latter is generally assured as a result of the minimum conditions that are normally imposed by the design specifications with regards to the material employed at the top. However, this is not always the case with that employed in the foundations, and it is necessary to emphasize the importance of the use of good materials in this part of the fill, given the frequent presence of water in this area.

While it is impossible to give valid specifications for all cases, we will proceed to give the characteristics of the materials used in the said work and discuss the decisions taken in accordance with each type of material and its performance.

Of the 2.5 million cubic metres employed in the work on the High Speed Train, approximately 1 million cubic metres came from embankment and tunnel excavations while the remaining 1.5 million m<sup>3</sup> came from other locations. This latter material came from up to ten different locations, and implied the analysis of the reserves and quality of a number twice that size. The availability of land to obtain the necessary volume thereby presented a serious obstacle. The geological characteristics of the valley where the work is located accentuated the problem, as in spite of the presence of weathered surface rock, a compact material appeared only a few metres below ground level, which severely hampered and raised the price of its extraction.

Slates and greywackes were generally used for the backfill; and ranged from very hard materials obtained from blasting on the section, to weathered materials extracted by mechanical means, and including all the intermediate grades. The characteristics of these materials, analyzed in the Site Laboratory, were as follows:

— Granulometry.

Figure 3 shows the degrees of variation of the sieve tests carried out on the total of each sample, and Fig. 4 indicates those corresponding to materials below 80 mm. The average size of all the materials employed ranged from 5 to 200 mm, as is seen in Fig. 3, including the 2 to 12 % fines which passed through a 0.080 U.N.E. sieve (Spanish Code size).

En «El Gran Terraplén» el espesor de la capa de tierra vegetal y de material inadecuado fue variable, oscilando desde pocos centímetros hasta más de 2 metros. Una vez retirados estos materiales, en el cimientó se detectó roca de tipo esquistoso, con buzamiento prácticamente vertical y con algunas zonas parcialmente meteorizadas.

Tras el desbroce y retirada de la tierra vegetal de la superficie de asiento del relleno, para mayor seguridad dada la gran altura de la obra y las fuertes limitaciones de asientos por su gran responsabilidad durante su vida útil, se excavó y retiró toda la roca, total e incluso parcialmente meteorizada, hasta llegar a la roca sana, sobre la que se extendieron las primeras tongadas de relleno.

#### 4 MATERIALES PARA RELLENOS

Como ya se expresaba en la Introducción, tanto desde el punto de vista estrictamente técnico, como por su repercusión económica, un aspecto fundamental de la construcción de un gran relleno es la elección del material o materiales a utilizar en cada una de las partes de la obra.

Utilizando la nomenclatura usual, es preciso distinguir, por un lado, el material utilizado en la «coronación», entendiéndose como tal la zona superior del relleno, del que se debe emplear en el «núcleo». Por otro lado, la normativa establece una clasificación del material para «terraplenes», denominado habitualmente «suelo», y del utilizado para «pedraplenes». Sin embargo, en este tipo de obras en las que como ya se ha citado es forzoso utilizar el material del entorno, lo habitual es que el material no cumpla siempre las especificaciones de terraplén o pedraplén, debiéndose llegar por tanto a soluciones de compromiso que aseguren la obtención de un nivel de calidad aceptable.

En ciertos pliegos vienen definidos como «todo uno» estos materiales intermedios, aspecto que debería ser completado con los criterios generales para la utilización y puestas en obra de los diversos materiales utilizables, ya sean procedentes de compensación, de desmontes, túneles, etc., o de préstamos, caso en que se precisará un volumen de relleno mayor que el procedente de las excavaciones.

Los materiales de mayor calidad deben utilizarse en el cimientó y en la coronación. En general, lo último se asegura al figurar habitualmente en proyecto unas condiciones mínimas que debe cumplir el material en coronación, cosa que no suele darse en el caso del correspondiente a la cimentación. Sin embargo, es preciso destacar la importancia de utilizar buenos materiales en esta parte del relleno, dada la presencia habitual de agua en el cimientó.

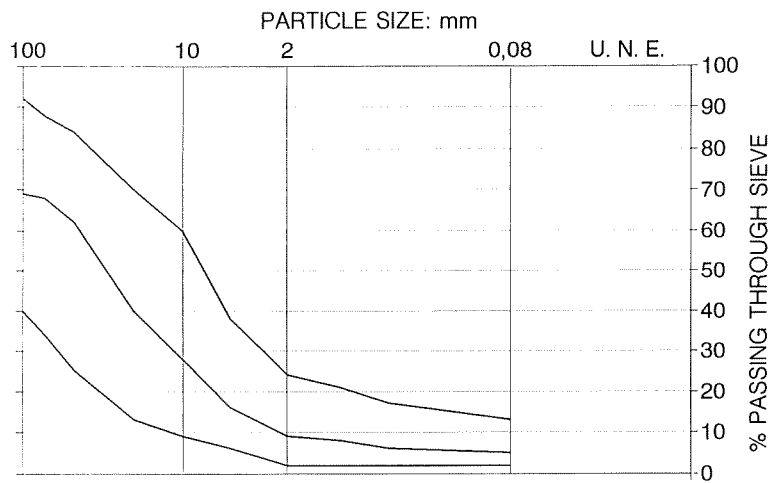
Aunque no pueden darse especificaciones válidas para todos los casos, a continuación se exponen las características de los materiales utilizados en «El Gran Terraplén» y las decisiones adoptadas en función de cada tipo de material y su comportamiento.

En la obra del Tren de Alta Velocidad a que se hace referencia, de los 2,5 millones de m<sup>3</sup> utilizados, aproximadamente 1 millón procedían de desmontes y de excavación de túneles, siendo el resto material de préstamo (1,5 millones de m<sup>3</sup>). Se llegó a utilizar en la obra material procedente de hasta diez préstamos distintos, aparte de analizar las reservas y la calidad de otros tantos, debido a los grandes problemas que planteaba la disponibilidad de terrenos para obtener el gran volumen necesario. Las características geológicas del valle en el que está situado «El Gran Terraplén» agravaban el problema, ya que pese a encontrarse en la superficie roca alterada, a pocos metros de profundidad aparecía material compacto y difícilmente ripable, lo que dificultaba y encarecía mucho su extracción.

En el relleno del «Gran Terraplén» se utilizaron básicamente pizarras y grauwacas; desde muy duras procedentes de voladuras en la traza, hasta bastante meteorizadas extraídas por medios mecánicos, pasando por todos los grados intermedios. Las características de estos materiales, analizados en el Laboratorio de Obra, fueron:

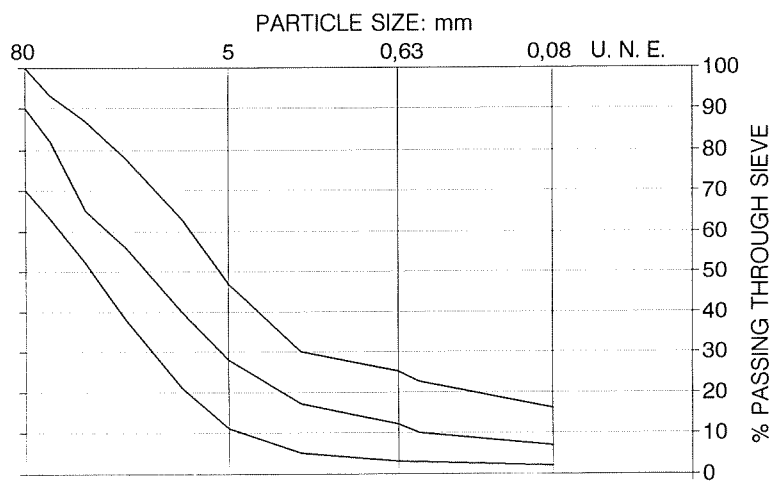
##### — Granulometría.

En la figura 3 se encuentran los rangos de variación de los ensayos granulométricos realizados sobre el total de cada muestra, y en la figura 4 los correspondientes a la fracción de material inferior a 80 mm. respectivamente. Para el conjunto de materiales utilizados, el tamaño medio varía entre 5 y 200 mm., tal como se deduce de la figura 3, estando comprendidos los finos que pasan por el tamiz 0,080 U.N.E. entre el 2 y el 12 %.



MATERIAL EMPLOYED ON SITE  
SIEVE BELTS

**FIGURE 3**

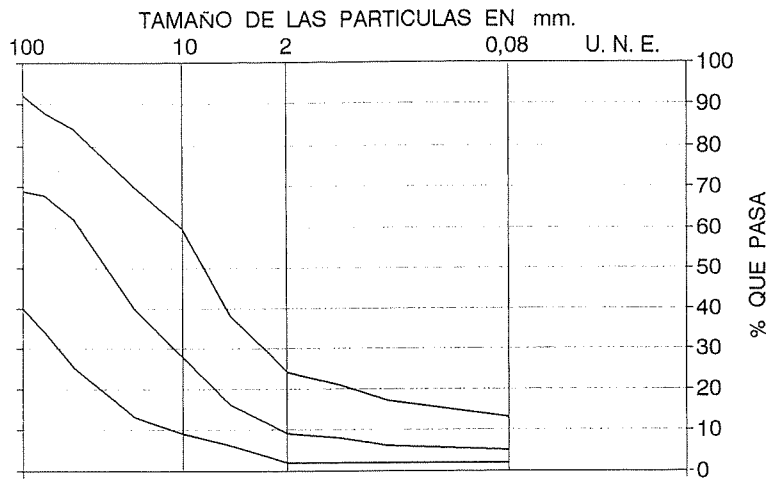


FRACTION BELOW 80 mm.  
SIEVE BELTS

**FIGURE 4**

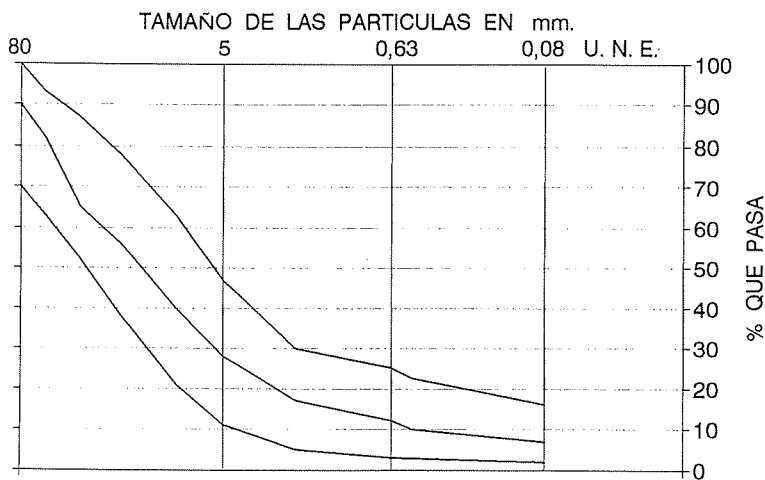
— Compressive strength.

Core samples were taken from the extracted blocks of rock, using 60 mm diameter bores with a slenderness of 2:1. They were then tested for simple compression and the results obtained ranged from 645 kg/cm<sup>2</sup> for the soundest rock (coming from the blasting on the stretch), to 73 kg/cm<sup>2</sup> which corresponded to the borrow materials extracted by mechanical means. Table 1 shows the extreme values of the results.



MATERIAL PUESTO EN OBRA  
HUSOS GRANULOMETRICOS

FIGURA 3



FRACCION INFERIOR A 80 mm.  
HUSOS GRANULOMETRICOS

FIGURA 4

— Resistencia a compresión.

De los bloques de roca extraída se tomaron testigos, mediante sonda, de 60 mm de diámetro con una esbeltez de 2:1. Posteriormente se ensayaron a compresión simple, obteniéndose resultados comprendidos entre los 645 kg/cm<sup>2</sup> de las rocas más sanas procedentes de voladuras en la traza, hasta 73 kg/cm<sup>2</sup> correspondientes a los materiales de préstamos extraídos por medios mecánicos. En el Cuadro 1 se resumen los valores extremos de los resultados obtenidos.

**Table 1**

	<i>Maximum value</i>	<i>Average value</i>	<i>Minimum value</i>
Soft rock.....	139	119	73
Hard rock .....	645	510	368

- Organic material.

Given the characteristics of the area, this does not cause a problem, except in some isolated cases involving the stripping of borrowed materials. In practice there was no rejection of materials containing topsoil.

- Plasticity

The results obtained are indicated in Table 2.

**Table 2**

	<i>Liquid limit</i>	<i>Plastic limit</i>	<i>Rate of plasticity</i>
Maximum value.....	36.8	21.1	16.2
Average value.....	28.4	18.3	9.8
Minimum value.....	20.6	13.7	5.9

- Maximum density.

The range of results, obtained from the modified Proctor tests, are given in Table 3.

**Table 3**

	<i>Maximum density M.P. (gr/cm<sup>3</sup>)</i>	<i>Optimum moisture content (M.P.) (%)</i>
Maximum value.....	2.30	11.7
Average value.....	2.25	6.9
Minimum value.....	2.08	6.0

- Wear.

The results obtained from the Los Angeles wear tests revealed losses of between 29 and 37 %.

- CBR Tests.

Tests were made using a load equivalent to a height of approximately 30 m of soil, with a density of 2 Tn/m<sup>3</sup>. The results for a density of 95 % of the modified Proctor test varied between 7 and 19, with swelling always below 3 %.

- Slake Durability Test (SDT).

Numerous tests were carried out on the rock matrix, from the borrow pit as well as that from the excavation of the stretch, in order to establish the fatigue resistance due to alternate wet — dry cycles.

The Gambe classification was used to obtain the following ratios:

- Maximum value = 98, corresponding to a HIGH - VERY HIGH ratio.
- Average value = 89, corresponding to a MEDIUM - HIGH ratio.
- Minimum value = 72, corresponding to a MEDIUM ratio.

**Cuadro 1**

	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor medio</i>	<i>Valor mínimo</i>
Roca blanda.....	139	119	73
Roca dura.....	645	510	368

— Materia orgánica.

Dadas las características de la zona, no se presentaron problemas, excepción hecha de algunos casos aislados en el arranque de algunos préstamos, no existiendo en la práctica rechazo de materiales por contener tierra vegetal.

— Plasticidad.

Los resultados obtenidos se resumen en el Cuadro 2.

**Cuadro 2**

	<i>Límite líquido</i>	<i>Límite plástico</i>	<i>Índice plasticidad</i>
Valor máximo.....	36,8	21,1	16,2
Valor medio.....	28,4	18,3	9,8
Valor mínimo.....	20,6	13,7	5,9

— Densidad máxima.

El rango de resultados, obtenidos en los ensayos Proctor modificado realizados, se indica en el Cuadro 3.

**Cuadro 3**

	<i>Densidad máxima P.M. (gr/cm<sup>3</sup>)</i>	<i>Humedad óptima P.M. (%)</i>
Valor máximo.....	2,30	11,7
Valor medio.....	2,25	6,9
Valor mínimo.....	2,08	6,0

— Desgaste.

Los resultados obtenidos en los ensayos de desgaste de Los Angeles realizados han dado pérdidas comprendidas entre el 29 y el 37 %.

— Ensayos CBR.

Se realizaron ensayos con una sobrecarga equivalente a 30 metros de altura aproximada de tierras, de densidad 2 Tn/m<sup>3</sup>. Los resultados obtenidos para una densidad correspondiente al 95 % de la del ensayo Proctor modificado, variaron entre 7 y 19, siendo el hinchamiento siempre menor del 3 %.

— Slake Durability Test (SDT).

Se realizaron numerosos ensayos de la roca matriz, tanto procedentes de préstamos como de excavaciones de la traza, con el fin de establecer un índice de resistencia a la degradación debida a la alternancia de ciclos de humedad-sequedad.

Se utilizó la clasificación de Gambe para la interpretación de resultados, obteniéndose los siguientes valores:

- Valor máximo = 98, correspondiente a un índice ALTO ALTO.
- Valor medio = 89, correspondiente a un índice MEDIO - ALTO.
- Valor mínimo = 72, correspondiente a un índice MEDIO.

## 5 CONSTRUCTION

When constructing an earthfill in accordance with the design indications and when knowing the materials available (which is not always totally possible), it is necessary to combine three variables: moisture content, thickness of layer and the performance of the compaction plant.

During this process it is necessary to assure that the backfill layers comply with the specifications indicated in the design. There are different ways of controlling compaction, which can be summarized as follows:

- "End product" control. In this method, the final density reached in each compacted layer is compared at a number of points, with that indicated in the specifications.

This method is employed when the materials are not homogeneous and the methods of compaction are not uniform, which normally coincides with medium or low rates of work, and allows a high number of densities to be determined, especially when using nuclear gauges.

- "Method specification" control. This controls the process or execution of materials and machinery, which condition the end quality of the backfill. It is used when the rates of production are high and with homogeneous materials and operating systems, as these conditions of work make it difficult to carry out many tests and hinder the making of quick and adequate decisions from the sampling obtained.

It requires a control procedure based on the information obtained from test sections carried out using the materials and machinery to be used in the work. Control may be established from the ratio between the compacted volume and the compacted surface per unit of time.

- "Mixed" control. This is a combination of the two methods described above, and places greater emphasis on either the "end product" or the "method specification" in accordance with the real site conditions. It approaches, to a greater or lesser extent, the ideals of application of each of the two methods.

As we have already mentioned, a wide variety of materials were employed in the work on the "Gran Terraplén", with the consequent problems of obtaining the most convenient moisture content and thickness of layer for each case and that of selecting the most suitable compaction plant.

In the technical specifications, three possible types of materials were detailed for the construction of the fill.

- Earthfill: Here the materials had to comply with the following conditions, among others:

Maximum size 15 cm.

Liquid limit  $< 35$ .

Maximum density (Proctor)  $> 1.75 \text{ Tn/m}^3$ .

CBR  $> 5$ , expansion  $< 2 \%$ .

The site conditions had to be:

Maximum thickness of layer 40 cm.

Minimum density, 95 % of modified Proctor.

2nd Deformation modulus on load  $E_{v2} > 450$  or  $600 \text{ kg/cm}^2$ , depending on the quantity of fines.

- Ungraded: This refers to materials whose simple compressive strength varied between 250 and 500  $\text{kg/cm}^2$ , and which complied with the following conditions, among others:

Maximum size between 15 and 30 cm.

Plasticity limit in fines, as for those in the earthfill.

Maximum thickness of layer: 60 cm.

Specified fineness module.

- Rockfill: Only sound rock with a simple compressive strength of over 500  $\text{kg/cm}^2$  may be used, which complies with the following conditions, among others:

Los Angeles wear coefficient  $< 50$ .

Friability coefficient  $< 25$ .

Specified fineness module.



## 5 CONSTRUCCION

Habitualmente la construcción de un terraplén de acuerdo con las indicaciones del Proyecto, y una vez conocidos los materiales disponibles, lo cual no siempre es totalmente posible, requiere combinar adecuadamente las tres variables: humedad de compactación, espesor de tongada y rendimiento del equipo de compactación.

Durante este proceso, es preciso asegurarse que las capas que constituyen los rellenos cumplen las especificaciones requeridas por el Proyecto. Existen diversos sistemas de control de la compactación, que pueden resumirse como sigue:

- Control por «producto terminado». En este método, se compara en cada capa compactada la densidad final alcanzada en una serie de puntos, con la indicada en las especificaciones.

Está indicada su utilización cuando los materiales no son homogéneos y los métodos de ejecución de la compactación no son demasiado uniformes, lo cual suele coincidir con ritmos de obra medios o bajos, permitiendo efectuar un elevado número de determinaciones de densidad, especialmente utilizando equipos nucleares.

- Control de «proceso». Se controlan los parámetros de proceso o ejecución de los materiales y maquinaria, que son los que condicionan la calidad final del relleno. Su uso está indicado para fuertes ritmos de producción con materiales y sistemas de ejecución homogéneos, ya que en estas condiciones es difícil efectuar muchos ensayos y sobre todo tomar decisiones con la rapidez y agilidad necesarias a partir de los muestreos.

Se precisa el procedimiento de control con la información obtenida a partir de tramos de prueba efectuados con los materiales y la maquinaria a utilizar en la obra. Asimismo puede establecerse a partir de la relación entre el volumen compactado y la superficie barrida por el compactador en la unidad de tiempo.

- Control «mixto». Es una combinación de los dos métodos anteriormente descritos, poniendo mayor énfasis en el «proceso» o en el «producto terminado» según que las condiciones reales de la obra, se aproximen más o menos a las ideales de aplicación de cada uno de los métodos.

En la obra del «Gran Terraplén», se utilizaron una amplia variedad de materiales, tal como se ha descrito en anteriores apartados, con los consiguientes problemas para conseguir en cada caso la humectación y espesor de capa más convenientes, y el equipo de compactación más adecuado.

Dentro del Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del Proyecto, se diferenciaban tres posibles tipos de materiales para la constitución de los núcleos de los rellenos.

- Terraplén: Se denominaban así los materiales que cumplían entre otras, las condiciones siguientes:

Tamaño máximo 15 cm.

Límite líquido < 35.

Densidad máxima Próctor normal > 1,75 Tn/m<sup>3</sup>.

CBR > 5, hinchamiento < 2 %.

Las condiciones de puesta en obra habían de ser:

Espesor máximo de tongada 40 cm.

Densidad mínima, 95 % del Próctor modificado.

Módulo deformación 2.<sup>a</sup> puesta en carga Ev2 > 450 ó 600 kg/cm<sup>2</sup>, dependiendo de la cantidad de finos.

- Todo uno: Se denominaban así los materiales cuya resistencia a compresión simple variaba entre 250 y 500 kg/cm<sup>2</sup>, además de cumplir entre otras las siguientes condiciones:

Tamaño máximo entre 15 y 30 cm.

Limitaciones de plasticidad en finos, las mismas que para terraplén.

Espesor máximo de tongada: 60 cm.

Granulometría específica.

- Pedraplén: Para su formación se admitían únicamente rocas sanas de resistencia a compresión simple superior a 500 kg/cm<sup>2</sup> cumpliendo entre otras las condiciones de:

Coefficiente de desgaste de Los Angeles < 50.

Coefficiente de friabilidad < 25.

Granulometría específica.

Special attention was paid at the beginning to the total preparation of work and control methods. As such a study was made of the materials available for the work.

In view of the characteristics of the materials in the vicinity of the earthfill, which would presumably be employed in the work, the material was initially defined as being that corresponding to the "ungraded" type as detailed in the Specifications; this classification was basically made from visual inspections of the area.

Identification tests were then carried out which proved to be in accordance with the adopted definition. All the inspected or analyzed materials had similar characteristics at this stage, and were slaty and of a size, plasticity and nature generally in accordance with that indicated for "ungraded" work.

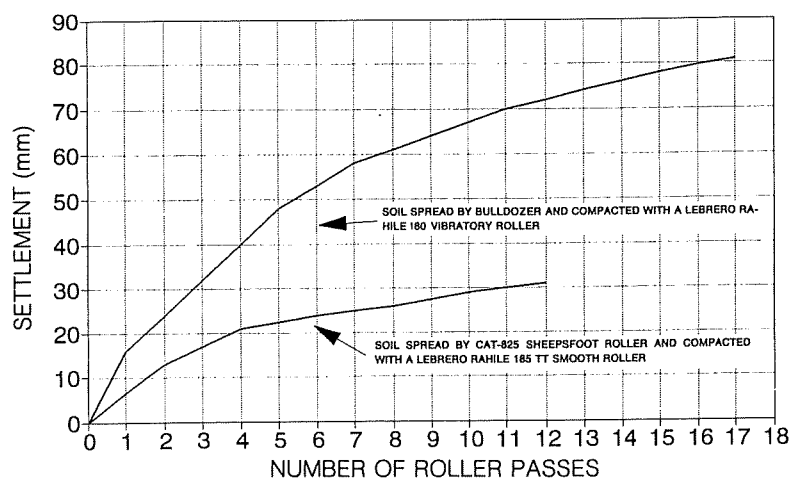
In view of the characteristics of the materials, test sections were then made and studied.

The process for the section control was as follows:

- Approval of a backfill area which would act as a base for the test section, and the levelling of the same over an area of over 400 m<sup>2</sup>.
- The preparation of a grid, outside the area of the test section, to serve as a reference for the levelling compaction control points.
- Spreading, moistening and compaction of the layer to be tested.
- Levelling control of the reference points after each pass of the roller.
- Final determination of densities and moisture content.

Three test sections were made for the "ungraded" material, classified in accordance with the Design specifications, each layer being around 60 cm thick. Two of these layers were spread by bulldozer and compacted with a smooth 16 Tn roller using different water contents, and the third was spread by a CAT-825 sheepsfoot roller, and compacted with a Lebrero Rahile 185TT or Vibromax W-1801 smooth roller of over 18 Tn.

Figure 5 shows the results of the levelled bases for an increasing number of passes. The density results complied with the Design specifications, and the average moisture content was close to optimum, but with large variations at certain points.



TEST SECTION  
"UNGRADED" COMPACTION

FIGURE 5

En una primera etapa se prestó especial atención a la puesta a punto de los métodos de ejecución y control. Para ello se comenzó por estudiar los materiales disponibles para poner en obra.

A la vista de las características de los materiales en las cercanías del entorno del terraplén, que eran los que previsiblemente se iban a emplear, se adoptó en una primera fase como definición del material la correspondiente al «todo uno» definido en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares; esta clasificación inicial se realizó básicamente a partir de inspecciones visuales.

Posteriormente, se realizaron ensayos de identificación, obteniéndose resultados acordes con la definición adoptada. Todos los materiales inspeccionados o analizados en esta fase tenían características similares, eran de tipo esquistoso, y como término medio sus tamaños, plasticidad y características coincidían con las indicadas para el «todo uno».

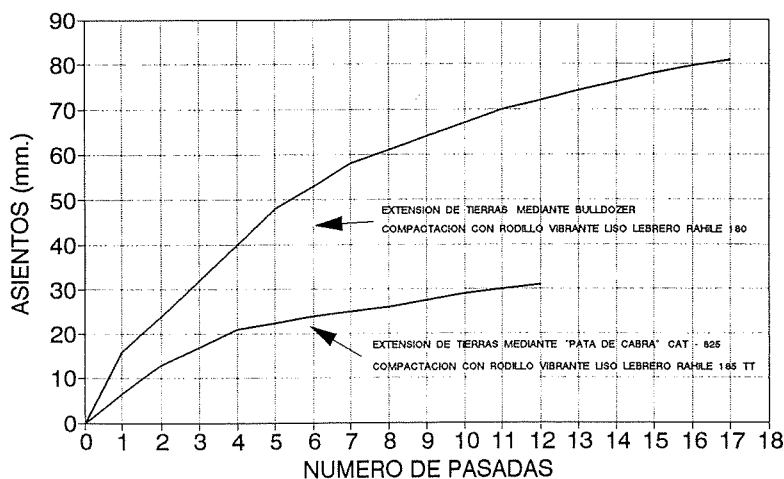
A continuación y a la vista de las características obtenidas para los materiales se pasó al estudio y ejecución de tramos de ensayo.

El proceso seguido para el control de los tramos de prueba, fue el siguiente:

- Aprobación de una zona de relleno que actuaría como soporte, sobre la que realizar el tramo de ensayo, y nivelación de la misma en una superficie mayor de 400 m<sup>2</sup>.
- Establecimiento de una cuadrícula exterior a la zona del tramo de prueba para dar referencia a los puntos de control de compactación por nivelación.
- Extensión, humectación y compactación de la capa a ensayar.
- Control mediante nivelación de los puntos de referencia cada vez que se daba una pasada de rodillo compactador.
- Determinación final de densidades y humedades.

Sobre el material clasificado de acuerdo con el Proyecto como «todo uno», se hicieron tres tramos de ensayo con espesores de tongada próximos a 60 cm. En dos de ellos se procedió al extendido con bulldozer, compactándose con rodillo liso de 16 Tn. con distintas aportaciones de agua, y en el tercero se extendió el material con rodillo de pata de cabra, CAT-825, compactándose con rodillo liso de más de 18 Tn, Lebrero Rahile 185TT o Vibromax W-1801.

En la figura 5 se indican los resultados de la determinación de asentos por nivelación para un número creciente de pasadas. Los resultados de densidad cumplían las especificaciones del Proyecto, y el contenido medio de humedad resultó próximo al óptimo, pero con grandes oscilaciones puntuales.

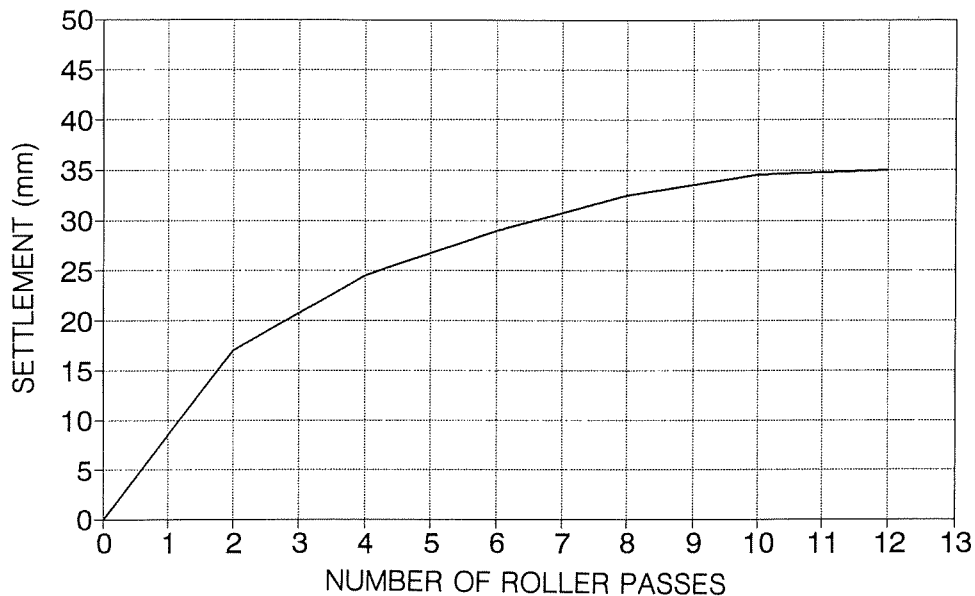


TRAMO DE PRUEBA  
COMPACTACION " TODO UNO "

FIGURA 5

The existing material which complied with the Design for rockfill was then studied. In order to do this, a test section was made with around 1 metre thick layers.

The material was spread by bulldozer and compacted by a smooth roller of over 18 Tn. Figure 6 shows the results obtained. Samples were taken and the macrodensities were examined in some of these. The results proved to be acceptable and, even when considering the particular difficulties of the method, obtained porosities of less than 25 %.



TEST SECTION

"ROCKFILL" COMPACTION

**FIGURE 6**

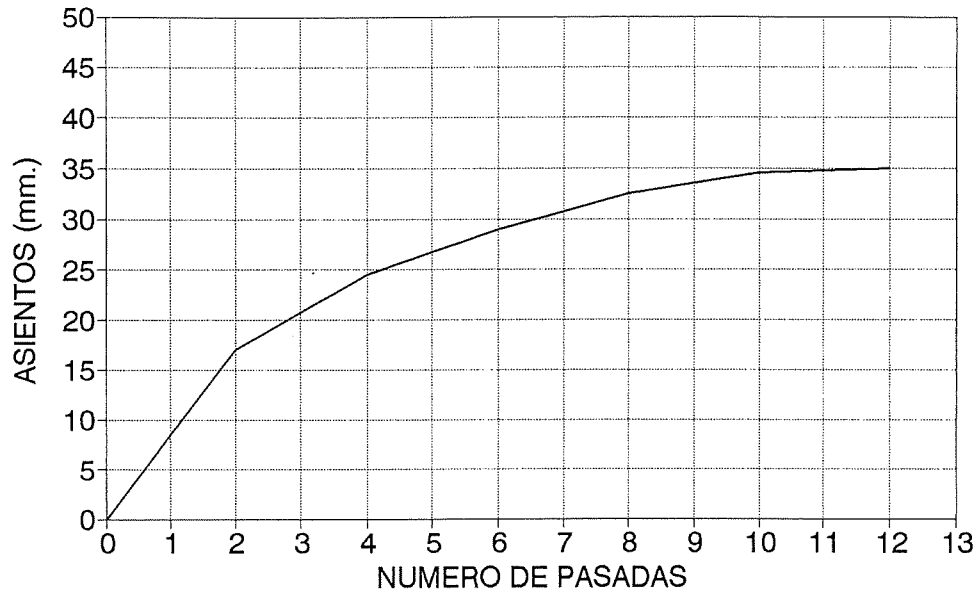
A study was made of the material which complied with the conditions of an earthfill. A test section was made with 40 cm thick layers, and the resulting compaction curve was similar to that of the previous materials, but logically with lower settlement. The density was checked by normal methods, and the specified density was obtained.

The following work procedures were established in view of the results obtained from the different materials available:

- Rockfill: Maximum thickness of layer: 1 m.  
Spreading of material by bulldozer.  
8 double passes using a smooth vibratory roller of over 18 Tn.
- Ungraded: Maximum thickness of layer: 60 cm.  
Spreading of material by sheepsfoot roller.  
8 double passes using a smooth vibratory roller of over 18 Tn.
- Earthfill: Maximum thickness of layer: 40 cm.  
Spreading of material by sheepsfoot roller.  
6 double roller passes.

Posteriormente se estudió el material existente que cumplía las condiciones impuestas por el Proyecto al pedraplén. Para ello se realizó un tramo de ensayo, con un espesor de tongada próximo al metro.

El material se extendió con bulldozer, compactándose con rodillo liso de más de 18 Tn. En la figura 6 se indican los resultados obtenidos. Se realizaron catas y en alguna de ellas macrodensidades; los resultados obtenidos fueron aceptables obteniéndose porosidades menores del 25 %, aun contando con las dificultades propias del método.



TRAMO DE PRUEBA  
COMPACTACION " PEDRAPLEN "

FIGURA 6

Asimismo se estudió el material que cumplía las condiciones de terraplén. Se hizo un tramo de prueba con un espesor de tongada de 40 cm., resultando una curva de compactación semejante a la de los anteriores materiales, pero con asentamientos menores como era lógico. La densidad se comprobó por los métodos habituales, obteniéndose la especificada.

A la vista de los resultados obtenidos con los distintos materiales disponibles, se definieron los siguientes procedimientos de ejecución:

- Pedraplén: Espesor máximo de tongada 1 m.  
Extendido del material con bulldozer.  
8 pasadas dobles de rodillo liso vibrante de más de 18 Tn.
- Todo uno: Espesor máximo de tongada 60 cm.  
Extendido del material con rodillo de pata de cabra.  
8 pasadas dobles de rodillo liso vibrante de más de 18 Tn.
- Terraplén: Espesor máximo de tongada 40 cm.  
Extendido del material con rodillo de pata de cabra .  
6 pasadas dobles de rodillo.

It was also established that the lorries deposit the material over the layer in construction, and that the same be abundantly watered prior to spreading, and watered once again before beginning the compaction.

Other materials, which had been borrowed from the area, were also employed and these were different from those studied in the test sections, and were not very homogeneous, though they could be classified under earthfill materials. A "mixed" control procedure was established during this phase of the work in order to control the in situ densities and a careful inspection was made of the work: moisture content, thickness of layers, number of roller passes etc.

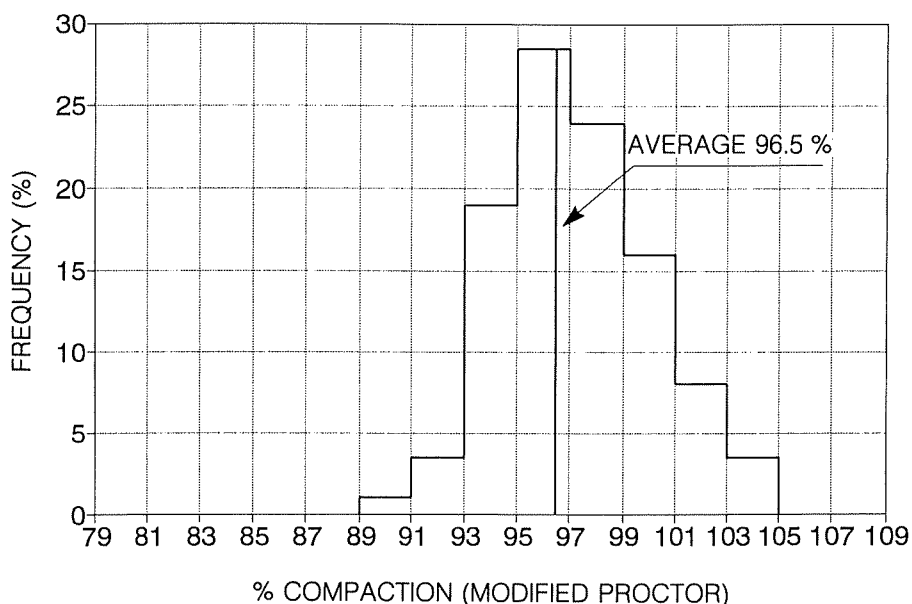
Figures 7 and 8 show the density and moisture content obtained for "ungraded" and earthfill materials used in the backfill.

The density and moisture content control of the compacted layers was made by nuclear gauges, which had been tared prior to their use with each type of material, and were then checked periodically. No less than ten determinations of density were carried out using the sand method, and these were then compared with a similar number of determinations made in the same area by a N.D.G.

The final approval of a layer may be given after comparing the density of the material determined in situ with that corresponding to the Proctor test. The NLT-108 Standard established by the Public Works Study and Testing Centre (CEDEX), or the equivalent Spanish Standard (UNE-7365), which regulates the modified Proctor test, allows the substitution or maintenance of the course fraction of the material of over 20 mm. After various tests it was found that the greater density of the materials employed in the Proctor test came with the substitution method, and this was then employed as a point of reference.

## 6 SETTLEMENT

When establishing the design of civil works, and especially in the case of large backfills, the necessary studies, tests and calculations must be made in order to evaluate the settlement both during and on completion of construction, and to consider its possible effect on the durability and performance of the work. The results obtained



FREQUENCY OF COMPACTION RESULTS

FIGURE 7

Adicionalmente se estableció que los camiones debían verter el material sobre la tongada en ejecución, regándolo abundantemente antes de proceder a su extendido, y volviéndose a regar antes de iniciar la compactación.

Posteriormente, se utilizaron también otros préstamos de la zona, distintos a los estudiados en los tramos de prueba, con materiales no muy homogéneos aunque se podían clasificar como terraplén. En esta fase se estableció un procedimiento «mixto» de control, pues además de controlar las densidades «in situ» obtenidas, se realizó una cuidadosa labor de inspección de la ejecución: humectación, espesor de tongadas, número de pasadas de rodillo, etc.

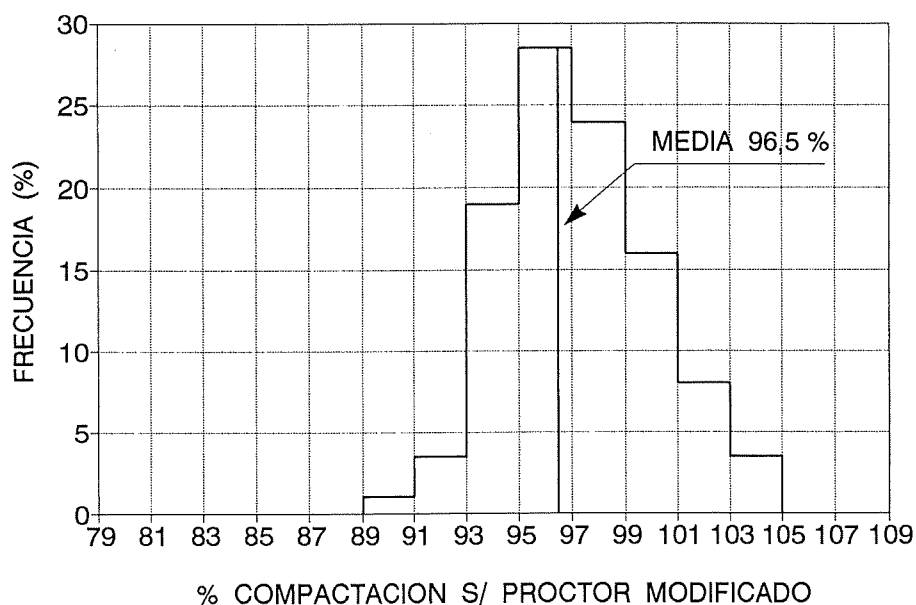
Los gráficos de las frecuencias de densidades y humedades obtenidas para los materiales tipo todo-uno y terraplén, utilizados en el relleno, se muestran en las figuras 7 y 8 respectivamente.

El control de densidades y humedades de las capas compactadas se realizó con aparatos nucleares, que se taraban previamente a su utilización en cada tipo de material y posteriormente se comprobaban periódicamente. Para ello se realizaban no menos de diez determinaciones de densidad por el método de arena, comparándolas con otras tantas realizadas en el mismo sitio cada una de ellas con el densímetro nuclear, a fin de determinar los factores de corrección que era necesario aplicar a los valores obtenidos con el densímetro nuclear.

La aprobación formal de la ejecución de una capa, requiere comparar la densidad determinada in situ con la correspondiente al ensayo Proctor del material que la constituye. En la Norma NLT-108 del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), o su equivalente UNE-7365, que regulan el ensayo Proctor modificado, se admite realizarlo sustituyendo o manteniendo la fracción gruesa del material, mayor de 20 mm. Tras diversos ensayos, se comprobó que para los materiales empleados, resultaba mayor la densidad del ensayo Proctor con sustitución, siendo por tanto ésta la que se utilizó como referencia.

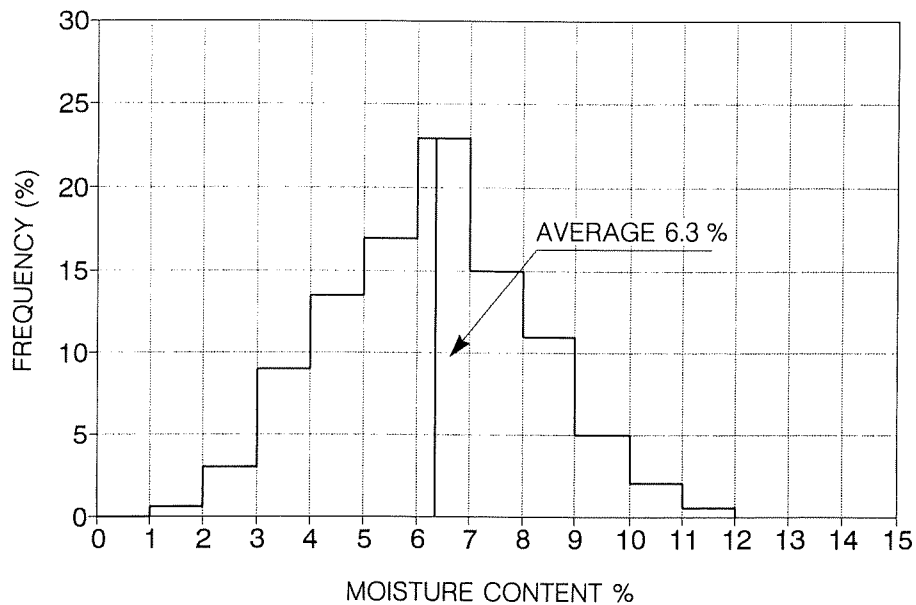
## 6 ASIENTOS

Durante la redacción del proyecto de una obra civil, y especialmente en el caso de grandes rellenos, es necesario realizar los estudios, ensayos y cálculos precisos para estimar los asentamientos durante la construcción y una vez finalizada ésta, y su posible incidencia sobre la durabilidad y la funcionalidad de la obra. En la fase de ejecución de las



FRECUENCIA DE RESULTADOS DE COMPACTACION

FIGURA 7



FREQUENCY OF MOISTURE CONTENT

FIGURE 8

during the construction stage of the work must be compared with the design values, and with the end result required of the work.

The consequences of postconstructed settlement in fill-type dams is of relatively little importance; but has greater repercussions in conventional lineal works, and is of vital importance in works such as the High Speed Train, as was the case for the "Gran Terraplén".

From the above, and in order to reduce the settlement of the earthfill, we may consider the following variables:

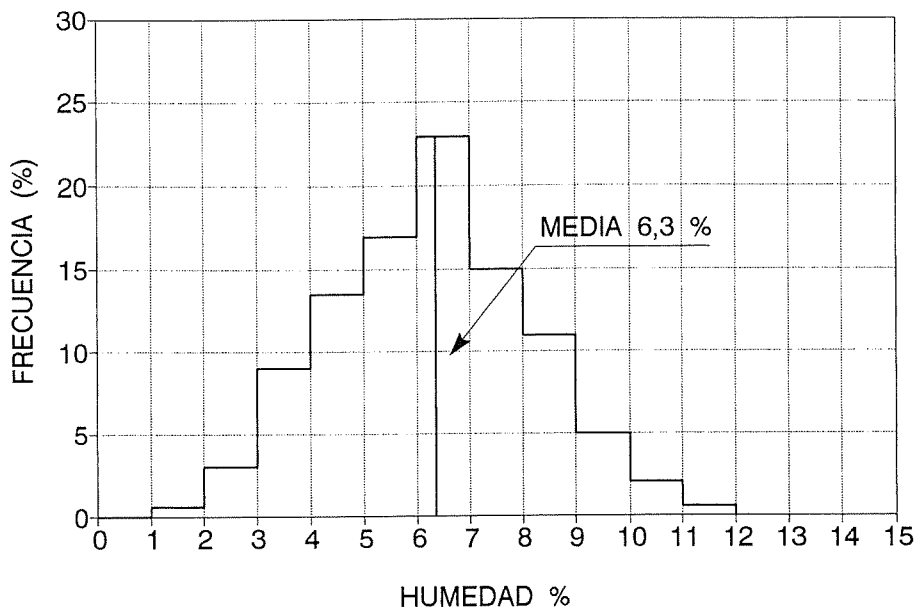
- Lengthen the period of time from the construction of the work to its operational use.
- Increase the width of the supporting base of foundations of the earthfill (create slopes).
- Avoid natural soil or foundation settlement in addition to that of the backfill, by stripping and draining the foundation area.
- Use good materials, and select the best possible borrow materials.
- Provide greater density by increasing the degree of compaction of the body of the backfill.

Logically, one of the greatest concerns in the case of the High Speed Train, was to reduce the backfill settlement to a maximum after construction, given the strict limitations of the same imposed by the high speed rail. It is enough to say that a settlement differential of 1 mm in 6 m was considered to be of some importance.

In addition, the short period of time available between the construction of the work and the operation of the railway, meant that the backfill was not "old" enough to receive the rail, and, therefore, the post constructed settlement would have direct repercussions on the track.

As a result of the above, very special attention was paid to settlement, and a number of specific activities were carried out throughout the construction of the "Gran Terraplén". These activities are described below.





## FRECUENCIA DE RESULTADOS DE HUMEDAD

**FIGURA 8**

obras se deberá comprobar si los resultados que se van obteniendo concuerdan con los previstos, y con el uso al que está destinada la obra.

Son relativamente poco importantes las consecuencias de los asentamientos postconstructivos en presas de tierras o escollera; tienen mayor incidencia en obras lineales convencionales, y adquieren una trascendencia máxima para el Tren de Alta Velocidad, como era el caso del «Gran Terraplén».

En esta línea y para reducir los asentamientos de un terraplén, se puede actuar sobre las siguientes variables:

- Alargar el tiempo que transcurra desde su construcción hasta su puesta en servicio.
- Aumentar la anchura de la base de apoyo o cimiento del terraplén (tender taludes).
- Evitar asentamientos del terreno natural o del cimiento, que se sumen a los del relleno, sarieando y drenando toda la zona de cimentación.
- Utilizar buenos materiales, seleccionando los mejores préstamos posibles.
- Aumentar la densidad incrementando el grado de compactación del cuerpo del relleno.

Como es lógico, una de las mayores preocupaciones en el caso del Tren de Alta Velocidad, fue reducir al máximo los asentamientos esperables de los rellenos después de la construcción, dadas las estrictas limitaciones que para los mismos plantea la vía de alta velocidad. Baste señalar que un asentamiento diferencial de 1 mm en 6 m se considera importante.

Por otra parte, el corto plazo de tiempo disponible entre la construcción y la puesta en servicio del ferrocarril, hizo que el relleno no fuese lo suficientemente «antiguo» antes de la colocación de la vía, con lo que los asentamientos postconstructivos repercutirían directamente sobre la vía.

Por todo lo anteriormente expuesto se dio un tratamiento muy especial a todo el tema de los asentamientos, realizando durante la construcción del «Gran Terraplén» una serie de actividades muy específicas que a continuación se desarrollan.

## 6.1 Apparatus

In order to provide for the postconstructed settlement, it was necessary to know the settlement which would be produced at different heights of the backfill throughout the construction. A double monitoring system was employed for this purpose, using a system of hydraulic cells to determine the settlement, which was complemented and checked by traditional topographical levelling.

The settlement cells were connected by a series of tubes to a control panel, placed in stations, on the berms and slopes of the earthfill. The operation is very simple and is based on the principle of communicating vessels. The fall produced by settlement, recorded by the cell inside the backfill, produced a similar fall in the water level of the corresponding tube placed in the external control panel. This value was determined by a graduated scale which could record millimetric differences.

The apparatus could measure a maximum settlement of around 1.5 m, when placing various cells per section, and arranging the control panels from each section in one station.

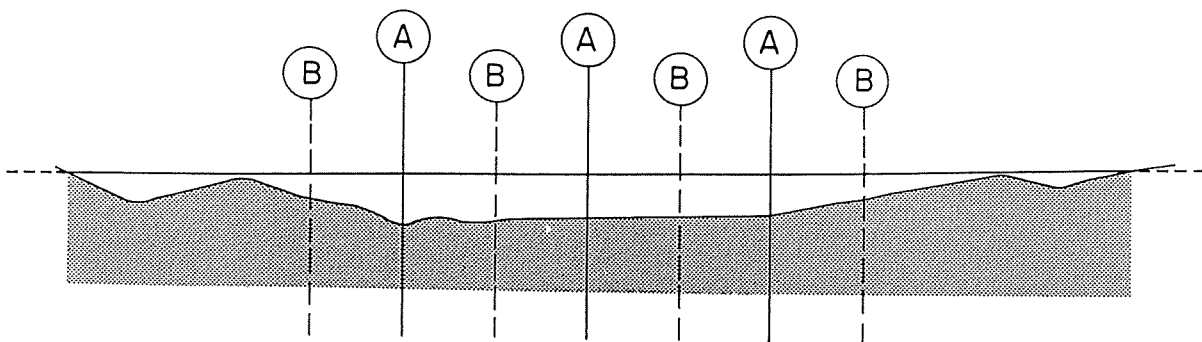
The topographical control was carried out for a series of points on the berms and the top layer of the earthfill. Successive readings were taken from these points to determine and check the staggered coordinates X, Y, and Z, in order to monitor both the vertical and horizontal displacements of the earthfill.

The radiation method was employed to determine the level coordinates, the final measurement being the average of four series of measurements, and the benchmark was established by carrying out double closed levellings.

## 6.2 Placement of the apparatus

33 hydraulic cells were placed to determine the settlement. The cells were placed in the interior of the earthfill, distributed over seven cross-sections and placed at three different heights: on the first berm at a height of 15 m above the foundations, between the first and second berm at 22.5 m and on the second berm at a height of 30 m.

Figure 9 shows the diagram representing the location of the apparatus with regards to the longitudinal profile of the earthfill. Figures 10 and 11 show the two different types of sectional apparatus over the cross-section of the same.



LOCATION OF SETTLEMENT RECORDING CELLS

FIGURE 9

## 6.1 Instrumentación

Para prever los asientos postconstructivos, fue necesario conocer los asientos que se iban produciendo a distintas alturas del relleno durante su construcción. Para ello se hizo un doble seguimiento, mediante un sistema de células hidráulicas de determinación de asientos, complementado y comprobado mediante nivelación topográfica convencional.

Las células de asiento estaban conectadas mediante una serie de tubos a un panel de lectura, situado en casetas, en las bermas o en el talud del propio terraplén. El funcionamiento, muy sencillo, está basado en el principio de los vasos comunicantes. El descenso por asiento de la célula en el interior del relleno provoca otro de la misma magnitud en el nivel del agua del tubo correspondiente situado en el panel de lectura exterior. Este valor se determina con ayuda de una escala graduada que permite apreciar milímetros.

Los equipos instalados permitían medir asientos de hasta un máximo del orden de 1,5 m., colocándose varias células por sección, y agrupándose los paneles de lectura de cada sección en una única caseta.

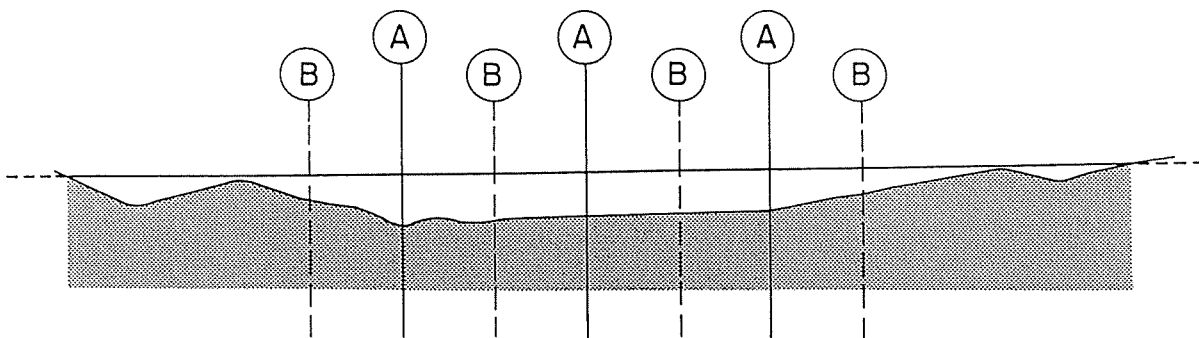
El control topográfico se realizó en una serie de puntos materializados de forma permanente sobre las bermas y en la coronación del terraplén. Se efectuaron sucesivas tomas de datos de estos puntos, determinando y comprobando sus coordenadas espaciales, X, Y y Z, con objeto de efectuar el seguimiento tanto de los desplazamientos verticales como de los horizontales del terraplén.

Para la determinación de las coordenadas planas se empleó el método de radiación, siendo la medida final la media de cuatro series; para determinar la cota, se realizaron dobles nivelaciones cerradas.

## 6.2 Situación de los instrumentos

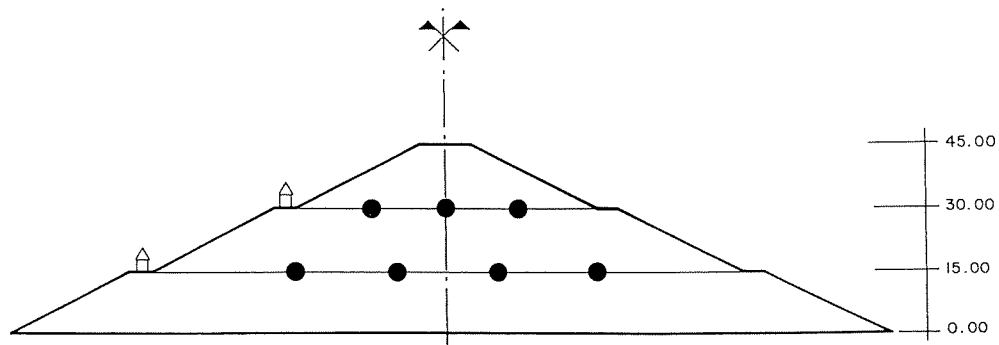
Se instalaron 33 células hidráulicas de determinación de asientos. Las células estaban situadas en la zona interior del terraplén, distribuidas en siete secciones transversales y colocadas a tres alturas diferentes: en la primera berma a 15 m. sobre el cimiento, entre la primera y segunda berma a 22,50 m. de altura y en la segunda berma a 30 m. de altura.

En la figura 9 aparece representada esquemáticamente la situación de las secciones instrumentadas sobre el perfil longitudinal del terraplén, y en las figuras 10 y 11 se indican sobre la sección transversal del mismo, los dos tipos diferentes de secciones instrumentadas.



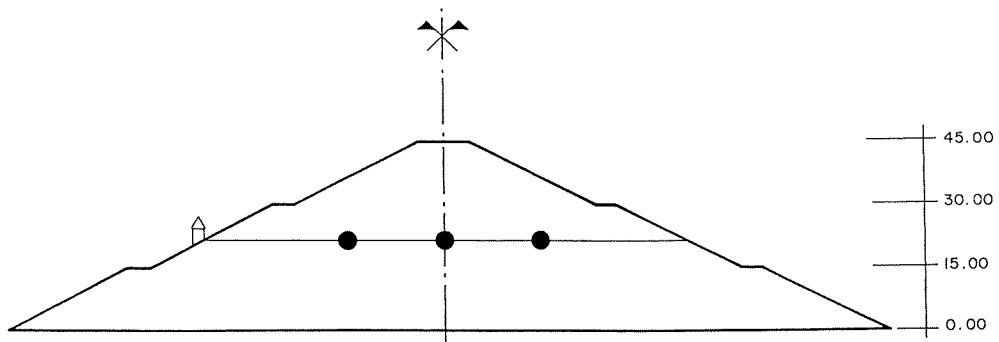
## SITUACION CELULAS DE ASIEN TO

FIGURA 9



SECTION A

FIGURE 10



SECTION B

FIGURE 11

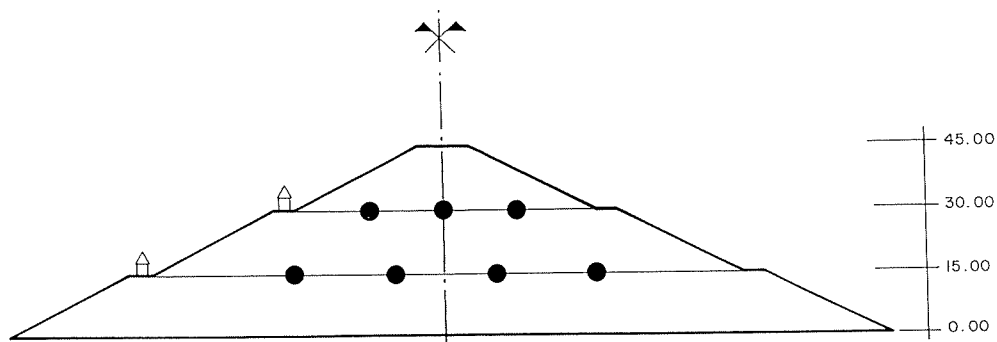
A total of 25 points were also selected for conventional topographical control: 4 control points being placed on the first berm (level+15 m) on the East side, and 5 on each of the three remaining berms. 6 monitoring points were established on the top layer of the backfill.

### 6.3 Results of measured settlement

There follows a summary of the results obtained from the different types of apparatus,

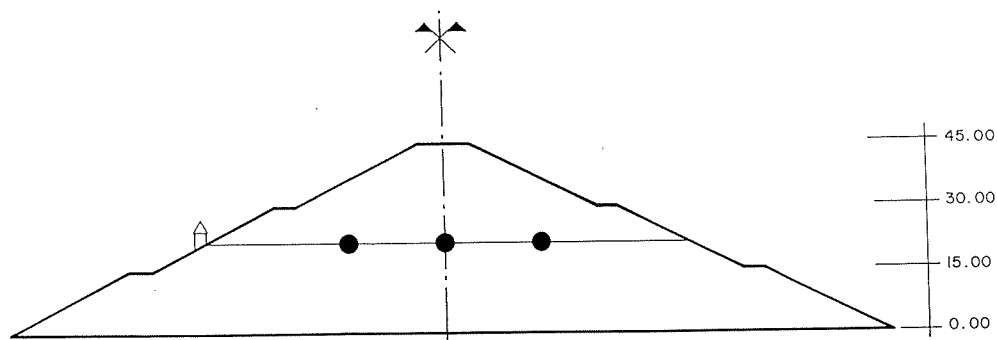
#### — Horizontal movement

The values were found to be very small and were less than 1 mm, which is within the range of precision of the topographical apparatus employed, and which in practice does not mean a significant movement.



SECCION A

FIGURA 10



SECCION B

FIGURA 11

Asimismo se eligieron un total de 25 puntos para el control topográfico convencional, situando 4 puntos de control en la primera berma (nivel+15 m.) del lado E, y 5 en cada una de las tres bermas restantes. En la coronación del relleno, se instalaron 6 puntos de seguimiento.

### 6.3 Resultados de la medición de asientos

A continuación se resumen los resultados obtenidos por los diferentes equipos de medida.

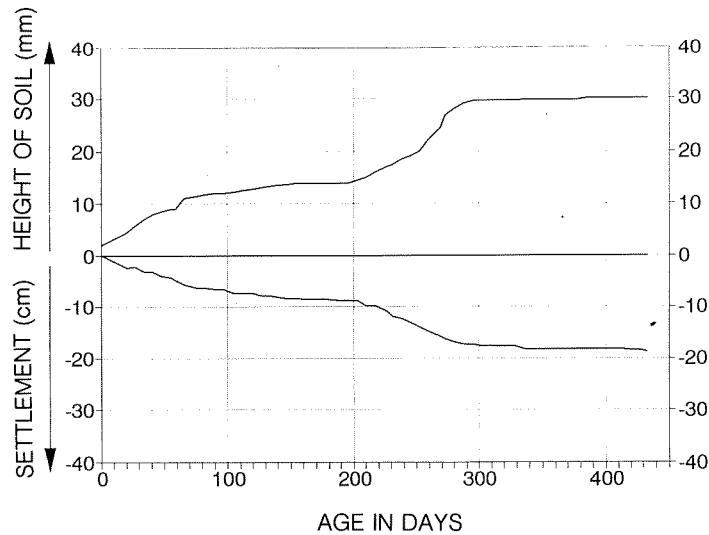
#### — Movimientos horizontales

Los valores observados son muy pequeños, menores de 1 mm., estando dentro del rango de precisión de los aparatos topográficos utilizados en su determinación, por lo que en la práctica debe concluirse que no se han producido movimientos significativos.

— Settlement

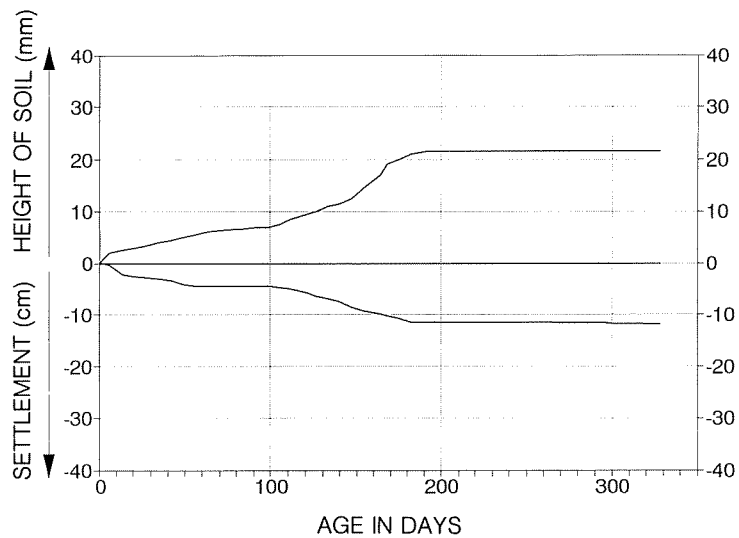
The monitoring of settlement was made by the hydraulic cell readings and the aforementioned topographical control.

These movements are summarized in Figures 12, 13 and 14. These show the evolution of settlement at each level, in accordance with the passing of time and the load increase on the section in question, produced by the advance in construction.



FIRST LEVEL SETTLEMENT (FIRST BERM)  
READING OF SETTLEMENT CELLS

**FIGURE 12**



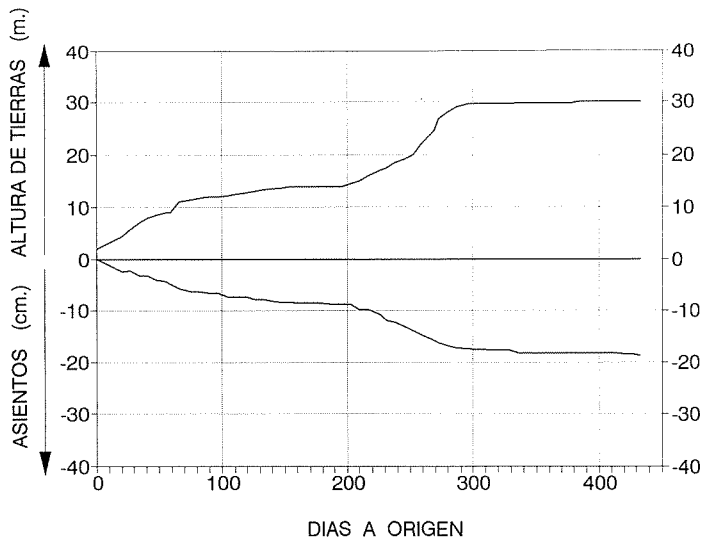
SECOND LEVEL SETTLEMENT (BETWEEN BERMS)  
READING OF SETTLEMENT CELLS

**FIGURE 13**

— Asientos

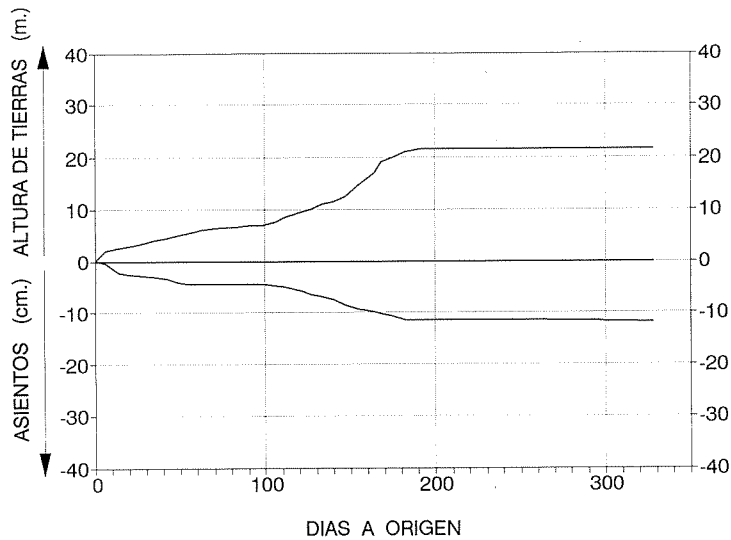
El seguimiento de los asientos se llevó a cabo mediante lectura de las células hidráulicas y el control topográfico antes descrito.

Los movimientos observados se resumen en las figuras 12, 13 y 14. En ellas se refleja la evolución de los asientos en cada nivel, en función del tiempo transcurrido y del incremento de la carga de tierras sobre la sección considerada, producida por el avance de los trabajos de construcción.



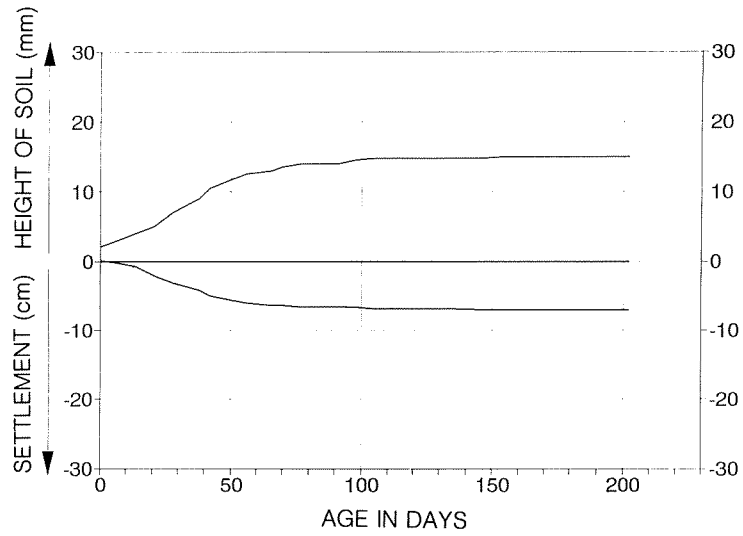
ASIENTOS PRIMER NIVEL (PRIMERA BERMA)  
LECTURA DE CELULAS DE ASIENTO

**FIGURA 12**



ASIENTOS SEGUNDO NIVEL (ENTRE BERMAS)  
LECTURA DE CELULAS DE ASIENTO

**FIGURA 13**



THIRD LEVEL SETTLEMENT (SECOND BERM)

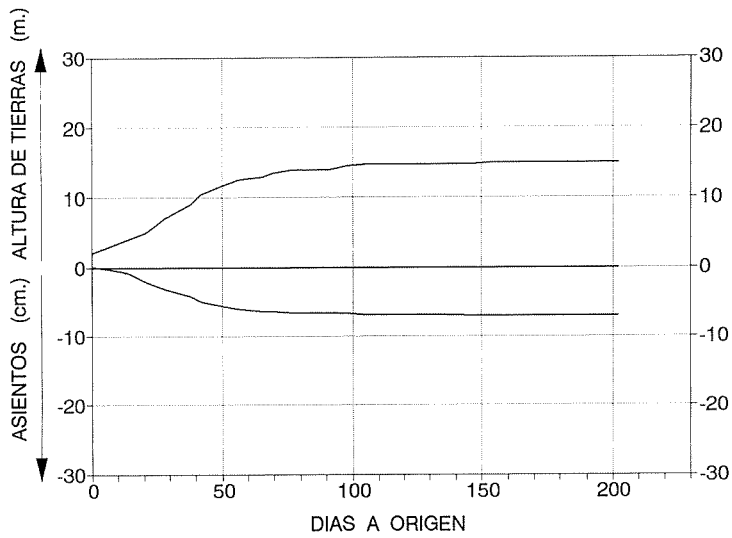
READING OF SETTLEMENT CELLS

**FIGURE 14**

Settlement varied between 10 and 25 cm for the first level (first berm) with a settlement stabilization period of around 450 days; from 5 to 15 cm for the second level, with a period of stabilization of around 350 days, and less than 10 cm in the third level (second berm), over a period of 200 days.

The deformation was lower than the initially estimated figure, and, therefore, the method of work followed was considered to be correct.





ASIENTOS TERCER NIVEL (SEGUNDA BERMA)  
LECTURA DE CELULAS DE ASIENTO

**FIGURA 14**

Los asentamientos obtenidos varían entre 10 y 15 cm. para el primer nivel (primera berma) con un tiempo de estabilización de asentamientos del orden de los 450 días; de 5 a 15 cm. para el segundo nivel, con tiempos de estabilización de unos 350 días, y menores de 10 cm. en el tercer nivel (segunda berma), con tiempos de 200 días.

Las deformaciones obtenidas fueron menores que las estimadas inicialmente, por lo tanto se considera correcto el método de trabajo seguido.

---

## 7 BIBLIOGRAFIA

### REFERENCES

- DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS, MOPU. Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes. PG3/75.
- DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS. (1978) MOPU. «Recomendaciones para el Control de Calidad en Obras en Carreteras».
- DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS. (1987) MOPU. «Sistematización de los Medios de Compactación y su Control».
- DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS. (1989) MOPT. «Terraplenes y Pedraplenes».
- JIMENEZ SALAS, J. A. et al. (1980). «Geotecnia y Cimientos III». Ed. Rueda, Madrid.
- MIRAVETE, R. y ESPINOS, J. (1989). «Control de un Terraplén de Gran Altura en los Nuevos Accesos Ferroviarios a Andalucía. Tramo: Alcolea-Adamuz». XVII Semana de la Carretera. Oviedo. Octubre. Asociación Española de la Carretera. pp. 128-183.
- MORILLA, I. (1989). «Control de Calidad en Obras de Carreteras». ATC., Seopan y AEC.
- SORIANO, A. (1989). «Puesta en obra y compactación de rellenos en obras de infraestructura viaria». Simposio sobre El Agua y el Terreno en las Infraestructuras Viarias. Torremolinos, noviembre. SEMSYC y ATC. pp. 127-149.



1-Vista general al comienzo del relleno.  
General view on the commencement of work.



2-Extracción de material de préstamo.  
Extraction of borrow material.



3-Extendido de una capa.  
Spreading of a layer.



4-Relleno acabado, a falta de subbalasto y balasto.  
Finished backfill, awaiting subballast and ballast.





## Relación de personal titulado

### Arquitecto

Luzón Cánovas, José M.<sup>a</sup>

### Arquitectos Técnicos

Blanco Pérez, Hermenegildo  
Casado de la Fuente, M.<sup>a</sup> Esther  
Cervera García, Eduardo  
Fuente Rivera, Jesús de la  
Jiménez Recio, Pedro Luis  
Montejano Jiménez, María del Carmen  
Muños Mesto, Angel  
Oros Rey, Ana Isabel  
Seisdedos Domínguez, Lucía  
Vicente García, José Manuel

### Ingeniero Aeronáutico

Cerdó Alonso-Misol, Gonzalo

### Ingeniero Agrónomo

Valdés Tamames, Begoña

### Ingenieros de Caminos

Acón Robleda, Miguel Angel  
Avalos Brunetti, Hugo Edgardo  
Calavera Ruiz, José  
Cortés Bretón, Juan María  
Corral Folgado, Claudio  
Delibes Liniers, Adolfo  
Díaz Lozano, Justo  
Espinós Espinós, José  
Fernández Gómez, Jaime Antonio  
Ferrer Serafi, Carles  
Ferreas Eleta, Román  
Gómez Alvarez, Mercedes  
González González, Juan José  
González Valle, Enrique  
Hostalet Alba, Francisco  
Izquierdo Bernaldo de Quirós, José M.<sup>a</sup>  
Jordán de Urríes de la Riva, Jorge  
Ley Urzaiz, Jorge  
Rodríguez Moragón, Julio  
Sirvent Sirvent, Enrique  
Tapia Menéndez, José

### Ingenieros Civiles

Arias Brostella, Carlos Alfredo  
Pulgar Allendes, Jorge Osvaldo

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

Marín Estévez, Gonzalo

### Ingenieros Industriales

Alvarez Cabal, Ramón Amado  
Aparicio Puig, José Antonio  
Bueno Bueno, Jorge  
Durán Boldova, José Miguel  
Pi Sáenz de Heredia, Cristóbal  
Valenciano Carles, Federico

### Ingeniero de Minas

Ramos Sánchez, Adelina

### Ingenieros Técnicos Industriales

Alonso Miguel, Félix Benito  
Díaz-Trechuelo Laffón, Antonio  
Gómez Gómez, Angel Manuel  
González Carmona, Manuel  
González Muñoz, Rafael  
Madueño Moraño, Antonio  
Rodríguez Delgado, José Manuel

### Ingeniero Técnico Industrial Químico

Fernández París, José Manuel

### Ingenieros Técnicos de Minas

Ballesteros Peinado, Luis Alberto  
Santacoloma Cabero, Juan Ignacio  
Sillero Arroyo, Andrés

### Ingenieros Técnicos de Obras Públicas

Aranda Cabezas, Luis  
Blanco García, Fernando  
Carrero Crespo Rafael  
Esteban García, Juan José  
Fernández Corredera, Carlos  
González Isabel, Germán  
González Nuño, Luis  
Mata Soriano, Juan Carlos  
Montiel Sánchez, Ernesto  
Muñoz Jiménez, José Luis  
Muñoz Mesto, Angel  
Pardo de Agueda, Juan Luis  
Rosa Moreno, José Andrés  
Rozas Hernando, José Juan  
Sánchez Vicente, Andrés

### Ingenieros Técnicos Topógrafos

Barragán Bermejo, M.<sup>a</sup> Vicenta  
Carreras Ruiz, Francisco  
Vinagre Sáenz de Tejada, Hilario

### Licenciado en Ciencias Físicas

Díaz Paniagua, Carlos

### Licenciados en Ciencias Geológicas

Blanco Zorroza, Alberto  
Massana Milá, Joan  
Serrano Martín, Luis

### Licenciados en Ciencias Químicas

Grandes Velasco, Sylvia María  
López Sánchez, Pedro  
Morgado Sánchez, José Carlos  
Rodríguez-Maribona Gálvez, Isabel Ana

### Profesores Mercantiles

González Alvarez, Vicente  
Sampedro Portas, Arturo

### Técnico en Informática

García Rodríguez, Juan Tomás

### Topógrafo

Alquezar Falceto, Ricardo

# SERVICIO DE PUBLICACIONES

2.<sup>a</sup> EDICION 1991 \*

3.<sup>a</sup> EDICION 1991 \*



\* De acuerdo con las Instrucciones EH-91 y EF-88, con referencia al EUROCODIGO EC-2, Model Code CEB-FIP 1990, ACI 318-89

## ULTIMOS CUADERNOS PUBLICADOS

Cuaderno N.º 5 «Tecnología moderna de durabilidad. Aplicación de la experiencia pasada a proyectos futuros».  
Autor: S. Rostam.

Cuaderno N.º 6 «Construcción y seguimiento de una gran obra de tierra».  
Autores: C. Corral y J. Espinós.

## PROXIMOS CUADERNOS

Cuaderno N.º 7 «Diagnosis estructural y rehabilitación de edificios históricos».  
Autor: G. Macchi.

Cuaderno N.º 8 «Estabilidad estática de los cerramientos de fachadas de fábrica».  
Autor: J. M. Luzón Cánovas.

Cuaderno N.º 9 «Estructuras de hormigón para el año 2000».  
Autor: T. Tassios. Dr. Ingeniero Civil.

**"PROYECTO Y CALCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO PARA EDIFICIOS"**

- Autor: J. CALAVERA.
- 2.<sup>a</sup> Edición, 1991, de acuerdo con las Instrucciones EH-91 y EF-88, con referencia a EUROCODIGO EC-2, Model Code CEB-FIP 1990, ACI 318-89.

<b>TOMO I</b> CALCULO DE ESFUERZOS	<b>TOMO II</b> DIMENSIONAMIENTO Y DETALLES CONSTRUCTIVOS
● 568 páginas. ● Encuadernación en gualflex. ● 373 figuras. ● 90 gráficos y tablas auxiliares.	● 871 páginas. ● Encuadernación en gualflex. ● 611 figuras. ● 142 gráficos y tablas auxiliares.

Precio de la obra completa: 15.000 Pts.

**"CALCULO DE ESTRUCTURAS DE CIMENTACION"**

- Autor: J. CALAVERA.
- 3.<sup>a</sup> Edición, 1991, de acuerdo con la Instrucción EH-91, con referencia al EUROCODIGO EC-2, Model Code CEB-FIP 1990 y ACI 318-89. ● 418 páginas.
- Encuadernación en gualflex. ● 40 tablas para el dimensionamiento directo de zapatas corridas y aisladas.
- Precio: 7.000 Pts.

**"CALCULO, CONSTRUCCION Y PATOLOGIA DE FORJADOS DE EDIFICACION"**

- Autor: J. CALAVERA.
- 4.<sup>a</sup> Edición. ● 678 páginas.
- Encuadernación en gualflex. ● 344 figuras. ● 93 tablas y abacos. ● 16 ejemplos resueltos. ● 159 referencias bibliográficas. ● 188 detalles constructivos. ● Precio: 6.770 Pts.

**"MUROS DE CONTENCION Y MUROS DE SOTANO"**

- Autor: J. CALAVERA.
- 2.<sup>a</sup> Edición. ● 308 páginas.
- Encuadernación en gualflex. ● 26 gráficos y tablas auxiliares. ● 22 tablas para el dimensionamiento directo. ● Precio: 5.900 Pts.

**"TECNOLOGIA Y PROPIEDADES MECANICAS DEL HORMIGON"**

- Autor: A. DELIBES.
- 266 páginas. ● Encuadernación en gualflex. ● AGOIADO. (Próxima edición 1992).

## TRABAJOS PUBLICADOS EN REVISTAS

Nuestro INSTITUTO dispone de una amplia serie de trabajos publicados por nuestros técnicos en diferentes revistas que por su número no pueden reproducirse aquí. Solicite relación de títulos si está interesado.

Los precios indicados son para entregas dentro del territorio español.



# INTEMAC

Monte Esquinza, 30, 4.º D. 28010 MADRID

Tels.: (91) 410 51 58-62-66. Télex: 49987 INTEM E - Fax: (91) 410 25 80