

CUADERNOS INTEMAC

Varias experiencias en tramos de ensayo y rellenos todo-uno

Rock and random fill test fills

Francisco Fernández de la Llave
Geólogo. Demarcación de Carreteras
del Estado en Extremadura

Juan José González González
Ingeniero de Caminos
Jefe del Departamento de
Ferrocarriles. INTEMAC

J. Andrés de la Rosa Moreno
ITOP. Jefe del Departamento
de Urbanización. INTEMAC



METIRE UT SCIAS

INTEMAC

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

N.º 75

3.º TRIMESTRE '09



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
- AUDITORIAS 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

AUDITORIA MEDIOAMBIENTAL

ASESORAMIENTO EN MATERIA DE MEDIO AMBIENTE

VARIAS EXPERIENCIAS DE TRAMOS DE ENSAYO EN PEDRAPLENES Y RELLENOS TODO-UNO

ROCK AND RANDOM FILL TEST FILLS



Francisco Fernández de la Llave

Geólogo. Demarcación de carreteras del Estado en Extremadura
Geologist. National Roads Authority in Extremadura



Juan José González González

Ingeniero de Caminos, Jefe del Departamento
de Ferrocarriles. INTEMAC
Civil Engineer, Head of Railway
Department. INTEMAC



J. Andrés de la Rosa Moreno

ITOP. Jefe del Departamento de Urbanización. INTEMAC
ITOP. Head of the Department of External Works. INTEMAC

Copyright © 2009, 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-4699-2010
Infoprint, S.A. - San Vicente Ferrer, 40

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES
2. REGLAMENTACIÓN
 - 2.1. NORMATIVA
 - 2.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
3. TRAMOS DE ENSAYO EN PEDRAPLÉN Y TODO-UNO
 - 3.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES
 - 3.2. DEFINICIÓN Y EJECUCIÓN DEL TRAMO DE PRUEBA
 - 3.2.1. PREPARACIÓN DE LA PRUEBA
 - 3.2.2. PROCEDIMIENTO DEL TRAMO DE ENSAYO
 - 3.2.3. DECISIONES DERIVADAS DEL PROCESO
 - 3.2.3.1. *INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS*
 - 3.2.3.2. *TIPOS DE CONTROL*
4. EXPERIENCIAS DE TRAMOS DE ENSAYO
 - 4.1. EXPERIENCIAS EN PEDRAPLÉN
 - 4.2. EXPERIENCIAS EN TODO-UNO
5. RECOMENDACIONES DE PUESTA EN OBRA
6. CONCLUSIONES
7. BIBLIOGRAFÍA

CONTENTS

1. INTRODUCTION
2. REGULATIONS
 - 2.1. LEGISLATION
 - 2.2. TECHNICAL SPECIFICATIONS
3. ROCK AND RANDOM MATERIAL TEST FILLS
 - 3.1. CHARACTERIZATION OF MATERIALS
 - 3.2. TEST FILL DESIGN AND CONSTRUCTION
 - 3.2.1. TEST PREPARATION
 - 3.2.2. TEST FILL PROCEDURE
 - 3.2.3. DECISIONS STEMMING FROM THE PROCESS
 - 3.2.3.1. *INTERPRETATION OF RESULTS*
 - 3.2.3.2. *TYPES OF CONTROL*
4. TEST FILLS. PRACTICAL EXPERIENCE
 - 4.1. ROCK FILLS
 - 4.2. RANDOM FILLS
5. RECOMMENDATIONS FOR ON-SITE PLACEMENT
6. CONCLUSIONS
7. REFERENCES

ABSTRACT

When coarse materials such as rock or random aggregate are used in embankments, high construction costs, on-site complexities and the dispersion of test findings make verification of the quality of the end product a cumbersome process.

An alternative method of ensuring the efficient use of machinery is to build test fills on which a short number of trials are conducted. Depending on the type of equipment, the nature of the material and the test findings, basic on-site placement parameters can be defined to perform so-called "procedural control".

The present Review compiles the most prominent conclusions about the application of information obtained from test fills to the construction of coarse rock and random material embankments, based on experience acquired during the control and monitoring of these structures, which vary substantially from more conventional embankments.

1. INTRODUCTION

The construction of new landways and their increasingly demanding layouts, along with the erection of huge loose lift dams, have led to the use of greater and greater volumes of natural excavation materials for embankments, usually on fairly tight construction schedules.

For reasons of construction speed and simplicity, as well as for their ease of excavation and on-site placement, fine grain, low plasticity soils have traditionally been used for these purposes. These are what are known as earthfills which, in addition to their ease of construction, can be conveniently monitored for quality control in accordance with perfectly defined and readily applicable standards.

At present, with the use of new blasting techniques and the rapid development of excavation, spreading and compaction equipment, coarser materials can be deployed. If handled correctly, these materials can be placed on site in volumes and with a quality that only a few decades ago would have been regarded to be impossible. Hence their growing use at a cost and with a durability comparable to earthfills.

Another no less important advantage to this type of fill is that it minimizes the environmental impact generated by the construction of large-scale infrastructure, for instead of resorting to borrow pits and/or dumps, it entails the use of excavated natural materials excavated for the works at hand, whose fragments would be too large for conventional embankments.

The foregoing has led to a reform of the respective building standards and codes. The two types of fill addressed in the former legislation, earth- and rock, have been more accurately defined and a new article, 333, has been included on materials with an intermediate gradation, namely "random fill". This new legislation, in addition to introducing other types of materials whose use was formerly prohibited, such as marginal soils, defines fill zoning, details on-site placement and partially modifies quality control systems.

The use of coarse-grained materials in random and rock fills has necessitated the design of control methods that differ from the conventional systems used to supervise earthfill embankment construction.

The complexity of such trials and their high cost often render end product control unfeasible. For that reason, the tendency in rock, and to a lesser extent random, fill construction is to design and approve construction procedures, on which worksite control is subsequently based.

RESUMEN

En la construcción de rellenos, cuando se emplean materiales con granulometría gruesa, tipo pedraplén o todo-uno, se presenta la dificultad de verificar su correcta ejecución, dado el alto coste de los ensayos de producto terminado, la dificultad de realización de los mismos y la dispersión que, en ocasiones, presentan sus resultados.

La forma de asegurar que la maquinaria utilizada se emplea de la forma más eficaz, consiste en la realización de tramos de ensayo a partir de los cuales, dependiendo de los equipos y de la naturaleza del material, y tras analizar un pequeño número de ensayos de producto terminado, se definen los parámetros básicos de puesta en obra que permitirán llevar a cabo el denominado "control de procedimiento".

Basándose en las experiencias adquiridas en rellenos con materiales de granulometría gruesa tipo pedraplén o todo-uno, deseamos transmitir las conclusiones más destacadas que, obtenidas de los tramos de ensayo y posterior aplicación en la etapa constructiva, hemos recopilado durante el control y seguimiento de dichos rellenos, menos convencionales que los terraplenes.

1.- INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES

Las necesidades generadas en la construcción de las nuevas vías de comunicación, con trazados cada vez más exigentes, así como la ejecución de grandes presas de materiales sueltos, han obligado a emplear materiales naturales en volúmenes cada vez más importantes procedentes de las excavaciones y, la mayoría de las veces, con plazos de ejecución relativamente cortos.

Por rapidez y sencillez constructiva, históricamente se ha tendido a utilizar suelos de granulometría fina y baja plasticidad, que fueran de fácil excavación, y que a su vez presentasen una puesta en obra sencilla. Son estos los denominados rellenos tipo terraplén, a cuyas facilidades constructivas, ya mencionadas, se unen unas pautas de control de calidad perfectamente definidas y de fácil aplicación, que posibilitan un adecuado seguimiento del proceso de ejecución.

Actualmente, con el empleo de las nuevas técnicas de voladuras y la gran evolución desarrollada en la maquinaria empleada en las excavaciones, extendidos y compactaciones, es posible manejar materiales naturales de granulometría más gruesa que, manipulados de forma conveniente, pueden ponerse en obra en cantidades y calidades que hasta hace unas décadas no se habría considerado posible para su empleo en la construcción de rellenos, asegurando además la durabilidad del producto final a un coste similar al de un relleno tipo terraplén.

Otro factor de peso, no menos importante, es el hecho de minimizar los impactos ambientales generados con las construcciones de grandes infraestructuras, lo que obliga a tener que utilizar los materiales naturales procedentes de las propias excavaciones realizadas en las obras, aunque sus tamaños no sean los adecuados para terraplenes, con el fin de evitar, siempre que sea posible, la generación de préstamos y/o vertederos.

Todo esto ha llevado a actualizar la normativa referente a rellenos. Se han definido con mayor precisión los distintos tipos de rellenos, terraplén o pedraplén, incorporando un nuevo artículo que recoge aquellos materiales de granulometría intermedia entre los anteriores: el Artículo 333, "Rellenos todo-uno". En esta normativa, además de contemplar otros tipos de materiales cuyo empleo antes no era permitido, como es el caso de los suelos marginales, se han definido las diferentes zonas que componen los rellenos, detallando su puesta en obra y modificando, en parte, los sistemas de control de calidad.

This process, known as procedural control, calls for establishing a series of parameters prior to construction that depend, among others, on material placement and compaction and the machinery to be used. On this basis, an optimal construction process is designed for this unit of work using what are known as "test fills".

Such test fills are small-scale embankments built with the same materials and using the same means as in the actual works. A sufficient number of end product trials must be conducted on these smaller structures to ensure that the findings can be extrapolated to verify that the actual fills are built to design quality standards. Under these arrangements, only a small number of end product trials need to be conducted to confirm the suitability of the construction procedure.

The following on-site placement and quality control recommendations, based on the experience acquired in recent years with test fills and the construction of a fair number of random and rock fill structures, are put forward as a guide for building embankments that perform to standard. Of particular interest in this regard are the findings on stability, durability and absence of excessive post-construction settlement, which can guarantee the service life of the earthworks in question.



Photograph 1. Test fill construction
Foto 1. Tramo de ensayo en ejecución

2. REGULATIONS

The amendments to the former Spanish codes and standards on this type of fills are summarized below.

2.1. LEGISLATION

While the legislation on embankments contains references to both European and (Spanish) regional codes, the discussion below addresses only Ministry of Internal Development regulations.

The historical precedent to these regulations was the Ministerial Order of 6 February 1976 that adopted the "General Technical Specifications for Road and Bridge Construction" ⁽³⁾ (PG-3/75), which defined the specifications for earth and rock fills.

In 1989, the Directorate General of Roads published a book titled "Terraplenes y Pedraplenes" ⁽⁴⁾ (Earth and Rock Fill Embankments), that served as a guide for non-conventional fills until very recently.

Circular Order 326/00 on "Geotechnical Engineering for Road Building" issued in 2000 dealt with grading and draining materials, included newly applicable items, criteria and specifications, and introduced an article dealing with random fills for the first time in Spanish legislation. These provisions were officially updated in **Order FOM/1382/2002** ⁽¹⁾. The innovations relative to embankments are contained in the following articles:

PART 3: GRADING. CHAPTER III. EMBANKMENTS

Article 330.- Embankments

Article 331.- Rock fill embankments

Article 332.- Localized fills

Article 333.- Random fill embankments

El empleo de materiales de granulometría gruesa en los rellenos tipo todo-uno y pedraplén ha supuesto la necesidad de diseñar métodos de control diferentes a los convencionales, empleados para la supervisión de la construcción de rellenos tipo terraplén.

La complejidad de estos ensayos, unida a su elevado coste, hace a veces inviable la realización de un Control de Producto Terminado. Es por ello que en la ejecución de pedraplenes y, en menor medida, en los todo-uno, la tendencia sea el diseño, aprobación y control del procedimiento constructivo.

Para llevar a cabo este proceso, denominado Control de Procedimiento, es preciso establecer antes del inicio de la construcción una serie de parámetros que dependerán, entre otros, de la excavación, extensión y compactación del material a emplear, así como de la maquinaria a utilizar, diseñando un proceso constructivo óptimo para esta unidad de obra, mediante los denominados "**tramos de ensayo**".

Estos tramos de ensayo consisten en la ejecución de un relleno de dimensiones reducidas, construido con los mismos materiales y medios que se van a emplear durante las obras. Sobre estos pequeños rellenos se deben realizar ensayos de producto terminado en número suficiente, con resultados extrapolables al conjunto de los rellenos, que permitan así asegurar que la ejecución de estos se realiza en las condiciones de calidad exigidas en el proyecto, a partir de un reducido número de ensayos de producto terminado que sirvan para verificar que el procedimiento constructivo es adecuado.

Basándonos en la experiencia adquirida durante los últimos años en la ejecución de un número importante de tramos de ensayo y posterior construcción de rellenos tipo todo-uno y pedraplén, intentaremos a continuación plasmar una serie de recomendaciones para la puesta en obra y métodos de control a emplear, de forma que en la ejecución de estos rellenos se obtengan los resultados previstos para el uso al que se destinan. Entre estos resultados podemos destacar la resistencia, estabilidad, durabilidad y la ausencia de asientos posconstructivos excesivos, lo que permitiría asegurar la vida útil a la que se destina la obra de tierra en cuestión.

2. REGLAMENTACIÓN

En lo referente a normativa y prescripciones técnicas de estos tipos de rellenos, a continuación se hace un resumen de las actualizaciones que se han producido en esta materia.

2.1. NORMATIVA

Si bien en lo referente a reglamentación de rellenos, aparecen referencias tanto a nivel europeo como autonómico, aquí únicamente se contempla la existente del Ministerio de Fomento.

Como antecedente histórico, indicar que en la Orden Ministerial de 6 de febrero de 1976 se aprobó el "**Pliogo de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes**" ⁽³⁾ (PG-3/75), en el cual quedaban definidas las prescripciones referentes a terraplenes y pedraplenes.

A su vez, la D.G. de Carreteras publicó en 1989 el libro "Terraplenes y Pedraplenes" ⁽⁴⁾, que ha servido de guía para la ejecución de rellenos no convencionales hasta la actualidad.

Posteriormente se emite la **Orden Circular 326/00** sobre "**Geotecnia Vial**" en lo referente a materiales para la construcción de explanaciones y drenajes, que recoge conceptos, criterios y prescripciones de nueva aplicación y donde aparece por primera vez un artículo referente a los rellenos todo-uno. Oficialmente se actualizan los artículos comentados en la **Orden FOM/1382/2002** ⁽¹⁾. Las innovaciones, en lo que respecta a los rellenos, quedan encuadradas en el siguiente articulado:

PARTE 3: EXPLANACIONES, CAPÍTULO III. RELLENOS

Artículo 330.- Terraplenes

Artículo 331.- Pedraplenes

Artículo 332.- Rellenos localizados

Artículo 333.- Rellenos todo-uno

Test fills are dealt with in Articles 331.7.5 and 333.7.5 in the current version of PG-3.

2.2. TECHNICAL SPECIFICATIONS

The technical specifications laid down in the articles in PG-3 are discussed below.

Fill zoning

A number of zones have been defined for rock and random fills: foundations, core, shell, transition, special zones and crest.

Of these, the foundations, shells and special zones merit special attention in light of their importance for the structure as a whole and to guarantee good performance in exceptional circumstances: the appearance of soft soils in the natural terrain on which the fill rests; the presence of shallow groundwater tables; the use of low quality materials in the fill core; the existence of floodplains and so on.

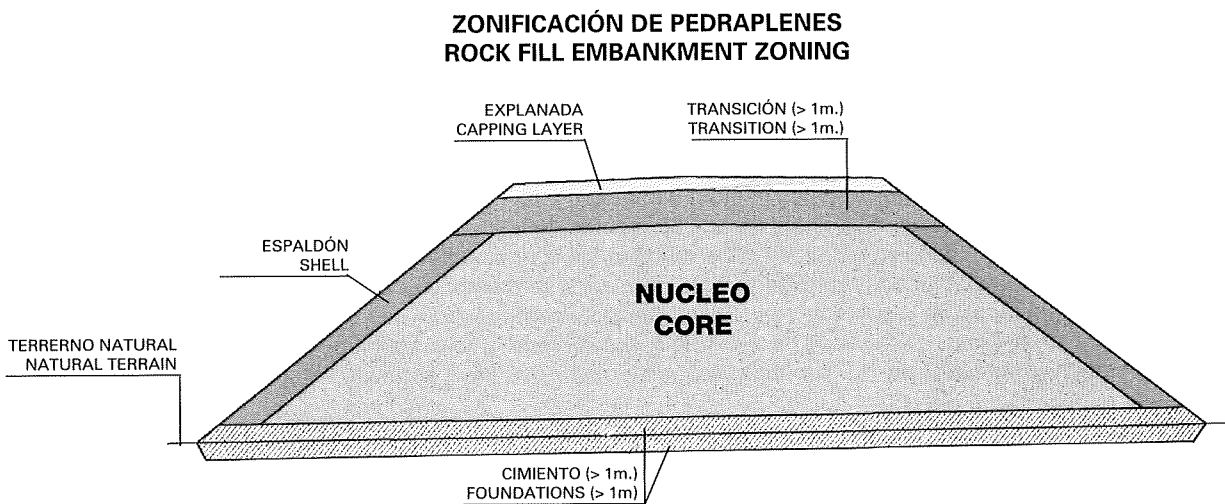


Figure 1. Fill cross-section and zoning
Figura 1. Sección de un relleno y zonas de las que consta

Gradation

Fill gradation is determined after compaction and is subject to a series of constraints that are summarized in the curves shown in Figure 2.

HUSOS GRANULOMÉTRICOS DE LOS DISTINTOS TIPOS DE RELLENO FRAGMENT SIZE ANALYSIS OF THE DIFFERENT FILL TYPES

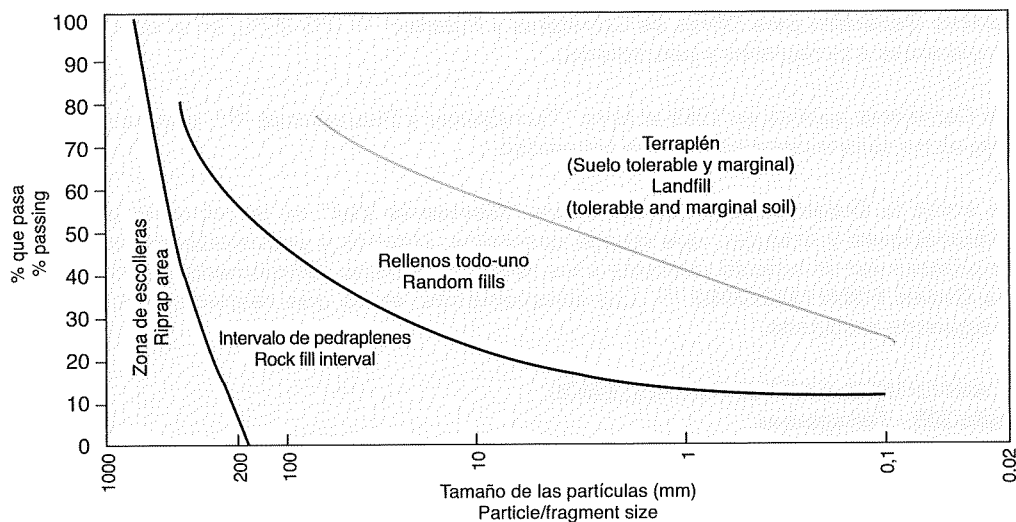


Figure 2. Fill classification based on fragment size analysis
Figura 2. Clasificación de los rellenos, en función de su "huso" granulométrico

Destacar que los tramos de prueba, están actualmente recogidos dentro de los artículos 331.7.5 y 333.7.5, del vigente PG-3.

2.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

A continuación, se recogen y comentan algunas especificaciones técnicas incluidas en los artículos del PG-3.

Zonificación de los rellenos

En los pedraplenes y rellenos todo-uno se distinguen las zonas de cimientó, núcleo, espaldón, transición, zonas especiales y coronación.

De las diferentes zonas de los rellenos, cabe destacar el cimientó, los espaldones y las zonas especiales, por su importancia estructural y para garantizar un buen comportamiento del relleno frente a diferentes problemas como pueden ser la aparición de suelos blandos en el terreno natural de apoyo, la presencia de niveles freáticos muy superficiales, el empleo de materiales de baja calidad en el núcleo del relleno, la existencia de zonas inundables, etc.

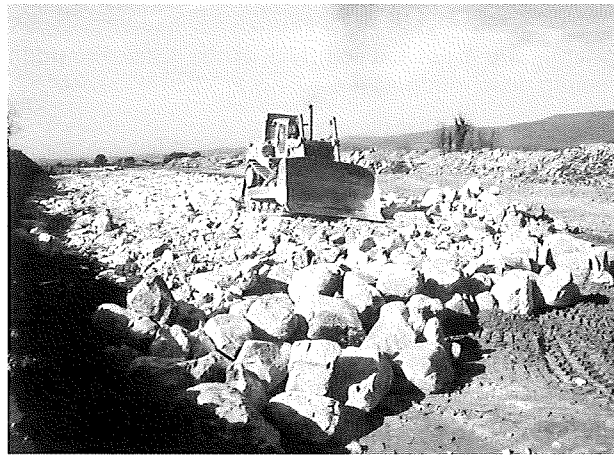


Foto 2. Cimientó de un relleno tipo pedraplén
Photograph 2. Rock fill foundations

Condiciones granulométricas

La granulometría de los distintos tipos de rellenos, se considera una vez compactados y tiene una serie de restricciones, que quedan representadas de forma resumida en el gráfico de los husos de cada uno de ellos, incluida en la Figura 2.

Huso recomendable para pedraplén	
Tamiz UNE(mm)	% que pasa
220	50-100
55	25-50
14	12,5-25

Tabla 1. Granulometría para relleno tipo pedraplén

Materiales para pedraplén

Se consideran adecuadas para pedraplenes las rocas resistentes, sin alteraciones apreciables, compactas y estables frente al agua (según NLT-255 y/o la NLT-260)

Recommended proportions for rock fill fragment size	
Spanish standard sieve (mm)	% passing
220	50-100
55	25-50
14	12,5-25

Table 1. Rock fill gradation

Rock fill materials

Rock is regarded to be suitable when it is strong and compact, has no perceptible alterations and remains stable when exposed to water (pursuant to Spanish transport laboratory standards NLT 255 and/or NLT 260).

The gradation recommended for materials to be used in rock fills is summarized in Table 1, and must meet the following requirements:

- Under 30% of fragments able to pass through a 20-mm Spanish standard sieve.
- Under 10% of fragments able to pass through a 0,080-mm Spanish standard sieve.
- Maximum size ranging from 100 to 900 mm.

Fragments with inappropriate shapes must not exceed 30% of the total. Fragments of inappropriate shapes are defined to be any that fit the following description: $(L + G)/2 \geq 3 E$.

Where L is length, G is depth and E is thickness.

Random fill materials

These materials must have gradations midway between rock and earth fills. In other words, they must meet any one of the following requirements:

- Fines content (material passing through a 0,080-mm Spanish standard sieve) under 35% and fragments passing a 20-mm Spanish standard sieve between 30 and 70%.
- Under 30% of fragments able to pass through a 20-mm Spanish standard sieve but with a fines content of over 10%.
- Materials meeting the requirements for rock fill but whose largest fragments are under 100 mm are also regarded to be random fill.

Depending on the type of rock involved, random fill materials are classified as follows:

- **Stable rock:** materials that exhibit no cracking and a weight loss of under 2% when tested to NLT 255.
- **Transition rock:** materials that exhibit cracking and a weight loss of over 2% when tested to NLT 255.
- **Rock containing oxidizable sulfur** (Spanish standard UNE 83.120) ⁽²⁾: regarded to be "marginal rock" whose use is subject to specific study.
- **Rock containing soluble minerals:** depending on the gypsum content, further to Spanish standard NLT 115:
 - Up to 5%, the rock can be used with no additional precautionary measures.
 - From 5 to 20%, the rock is only usable in the core and providing the shells are water-tight.
 - Over 20%, regarded to be marginal rock whose use is subject to specific study.
 Rock containing over 1% of water-soluble salts (other than gypsum) are regarded to be marginal and their use is subject to specific study.
- **Rock containing combustible minerals:** when the organic matter (such as in coal spoils), determined as specified in Spanish standard NLT 118, is over 2%, such rock is regarded to be marginal and its use is subject to specific study.

Acceptance criteria

- Random fill: dry density over 95% of the Modified Proctor (M.P.)
Settlement during the last roller pass must be under 1% of the lift thickness measured after the first roller pass.
Wheel track test: transition zone < 3 mm; rest of fill < 5 mm.
- Rock fill: porosity (n) under 30%.
Settlement during the last roller pass must be under 1% of the lift thickness measured after the first roller pass.
Wheel track test: transition zone < 3 mm; rest of fill < 5 mm.

Para la granulometría del material emplear en pedraplenes, se recomienda el "huso" incluido en la Tabla 1, y deberá cumplir las siguientes condiciones granulométricas:

- Contenido en peso de partículas que pasen por el tamiz UNE 20 mm inferior al 30%.
- Contenido en peso de partículas que pasen por el tamiz UNE 0,080 mm inferior al 10%.
- El tamaño máximo estará comprendido entre 100 y 900 mm.

La cantidad de partículas con forma inadecuada deberá ser inferior al 30%. Se entiende por partículas de forma inadecuada aquellas en que se verifique: $(L + G)/2 \geq 3 E$.

Donde L: longitud, G: grosor, E: espesor.

Materiales para todo-uno

Deben tener condiciones granulométricas intermedias entre las de pedraplén y terraplén. Es decir, aquellas que cumplen las condiciones siguientes:

- Contenido en finos (material que pasa por el tamiz UNE 0,080 mm) inferior al 35% y contenido de partículas que pasen por el tamiz 20 UNE este comprendido entre 30 y 70%.
- Contenido en peso de partículas que pasan por el tamiz 20 UNE inferior al 30%, pero tienen un contenido en finos superiores al 10%.
- Además, también se consideran materiales para rellenos todo-uno aquellos que cumplen las condiciones de pedraplén, pero en los que el tamaño máximo es inferior a los 100mm.

Según el tipo de roca del que procedan, los materiales para todo-uno se clasifican en los siguientes grupos:

- **Rocas estables:** Son aquellas que aplicando el ensayo de la NLT 255, no manifiestan fisuración y en las que la pérdida de peso es inferior al 2%.
- **Rocas evolutivas:** Las que aplicando el ensayo de la NLT 255, manifiestan fisuración o la pérdida de peso es superior al 2%.
- **Rocas con sulfuros oxidables** (UNE 83.120) ⁽²⁾: Se consideran "rocas marginales" y para su uso será necesario un estudio especial.
- **Rocas con minerales solubles** Por su contenido en yeso, según la NLT 115:
 - Hasta 5%, se pueden utilizar sin precauciones adicionales.
 - Entre el 5% y el 20%, se utilizarán en el núcleo con espaldones impermeables.
 - Por encima del 20%, se considerarán rocas marginales y su uso requiere un estudio especial.Salas solubles en agua (diferentes del yeso) superior al 1%, se considerarán rocas marginales y para su uso será necesario un estudio especial.
- **Rocas con minerales combustibles:** Cuando el contenido en materia orgánica, determinado según la NLT 118, sea superior al 2%, se considerarán rocas marginales y para su uso será necesario un estudio especial (por ejemplo los estériles del carbón).

Criterios de aceptación

- Todo-uno: Densidad seca superior al 95% del Proctor Modificado (P.M.).
Asiento en la última pasada inferior al 1% del espesor de la tongada medido este después de la primera pasada.
Ensayo de la huella: Zona de transición <3mm. Resto del relleno <5mm.
- Pedraplén: Porosidad (n) inferior al 30%
Asiento en la última pasada inferior al 1% del espesor de la tongada medido después de la primera pasada.
Ensayo de la huella: Zona de transición <3mm. Resto del relleno <5mm.

3. TRAMOS DE ENSAYO EN PEDRAPLÉN Y TODO-UNO

Podría definirse el tramo de ensayo como un relleno de reducidas dimensiones en planta realizado con los mismos materiales, maquinaria y condiciones de puesta en obra con los que se pretende construir el conjunto de los rellenos de la obra. Es importante, para validar un procedimiento constructivo determinado, tomar todos los datos posibles que influyen en la calidad final del relleno y que se refieren, como ya se ha venido señalando, a la granulometría y calidad de la roca empleada, a la maquinaria de extensión y compactación a emplear, al método empleado en la puesta en obra (método de extensión y espesor de la tongada, número de pasadas de compactador, humectación de la capa) y, finalmente, verificar la adecuación de los valores obtenidos en los parámetros de calidad estudiados.

3. ROCK AND RANDOM MATERIAL TEST FILLS

Test fills are structures covering a small area and built with the materials, machinery and placement conditions specified for all the actual fills in a given work. To validate any particular construction procedure, all the data that may affect final fill quality must be gathered. As indicated above, the information involved includes the gradation and quality of the rock used, the spreading and compacting machinery to be used, the on-site placement method (lift spreading method and thickness, number of roller passes, layer wetting), and finally, verification of the suitability of the values found for the quality parameters studied.

Once all the data on the above variables are compiled, the construction procedure that will ensure optimal quality and productivity is defined.

The next step is to ensure that the procedure is implemented, i.e., that the gradation of the material actually used and its on-site placement conform to the approved test fill conditions.

One of the first considerations to bear in mind in fill design and construction is the classification of the materials, to define the type of structure to be built: an earth, rock or random fill.

Consequently, fill construction should not be begun until the nature of the available materials can be ascertained. This, in turn, entails dedicating the resources and time required (prospecting, conducting laboratory trials, performing volume assessments and so on), building the respective test fills and analyzing their performance.

3.1. CHARACTERIZATION OF MATERIALS

Random and rock fill tests (especially the latter) pose two problems not present in trials on earthfill materials: sample size and representativeness, whose lack of definition often leads to erratic classification of these materials.

Specifically, information is required on the following:

- Geological and geotechnical characterization of the rock massif: lithology, matrix rock strength, alterability, fracturing, degree of weathering and so on. The rock quality and alterability criteria laid down in PG-3 must be followed in this regard.
- Extraction method to ensure the best possible gradation: ripping and/or blasting. As a rule, ripping yields discontinuous gradations with gaps in the intermediate sizes, whereas blasting, if suitably designed, generally yields continuous fragment size distributions.
- Fragment shapes. This factor is important for final compacting.

In addition to the properties described above, the geomechanical performance of random and rock fill materials is also impacted by external factors such as climate (temperature and rainfall). The effect of such outside factors on performance, which is greater in the shells and foundations than in the core, depends on fill permeability and how the materials are positioned.

3.2. TEST FILL DESIGN AND CONSTRUCTION

Once the materials have been analyzed and classified and their response calibrated, the test fills are designed and built as discussed below.

3.2.1. TEST PREPARATION

A) General considerations

- Locating the excavation site and positioning the fill in a representative area (mid-slope, large-scale embankments, troughs or similar). The decisions to be made in this regard are heavily dependent upon worksite particularities (site contour lines, access roads, terrain availability, services affected and so on).
- Definition of the lift area in test fills.
 - Lift length: a minimum length of at least 50 m is recommended.
 - Effective width: around 10 m. The effective width is the width remaining after deducting 1,5 m on each side to avoid the edge effect typical of unconfined structures.

Una vez tomados todos los datos con las variables indicadas anteriormente, se concretará el procedimiento constructivo más adecuado desde el punto de vista de calidad y producción.

Definido el procedimiento constructivo a partir de los resultados obtenidos en el tramo de ensayo, es necesario controlar el cumplimiento del mismo: es decir, que se mantengan durante la ejecución de los rellenos las condiciones de granulometría del material y de puesta en obra del tramo de ensayo aprobado.

Cuando se va a proyectar o construir un relleno, uno de los primeros puntos a considerar es la clasificación de los diferentes materiales que se van a emplear, con el objeto de definir el tipo de relleno, terraplén, pedraplén o todo-uno, que se va a ejecutar.

Por tanto antes de comenzar con la construcción de cualquier tipo de relleno, y como regla general, es imprescindible conocer lo mejor posible la naturaleza de los materiales disponibles, para lo cual se hace necesario dedicar los medios y tiempo necesarios (prospecciones, ensayos de laboratorio, cubicaciones etc.), así como realizar los pertinentes tramos de prueba de puesta en obra y el posterior análisis de su comportamiento.

3.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

A diferencia de lo que ocurre con los materiales para terraplenes, los ensayos a realizar en los rellenos todo-uno y pedraplén (especialmente en este último caso) encierran una doble dificultad: los tamaños de las muestras y la representatividad de las mismas, por lo que su clasificación frecuentemente es errática.

En cualquier caso se hace necesario tener información sobre los siguientes aspectos:

- Caracterización geológica geotécnica del macizo rocoso: litología, resistencia de la roca matriz, alterabilidad de la roca, fracturación, grado de meteorización, etc. En este Apartado se deben tener presente los criterios del PG-3 referente a calidad y alterabilidad de las rocas.
- Método de extracción para fijar la mejor granulometría posible: ripado y/o voladura. En general, el ripado tiende a producir granulometrías discontinuas con déficit de tamaños intermedios, mientras que las voladuras, debidamente proyectadas, suelen dar granulometrías continuas.
- Forma de las partículas. Por la importancia que este factor tiene en la compacidad final.

Aparte de las propiedades descritas anteriormente, el comportamiento geomecánico de los materiales en los rellenos todo-uno y en pedraplenes, obedece también a factores externos como el clima (temperatura y precipitaciones). Estos factores externos tendrán mayor o menor incidencia dependiendo de la permeabilidad del relleno y de la situación de los materiales dentro de éste, teniendo menor incidencia en el núcleo que en los espaldones o en el cimientó.

3.2. DEFINICIÓN Y EJECUCIÓN DEL TRAMO DE PRUEBA

Con los materiales analizados, clasificados y prevista su respuesta, se adoptarán una serie de fases en la definición y ejecución de los tramos de ensayo como son:

3.2.1. PREPARACIÓN DE LA PRUEBA

A) Planteamientos generales

- Localización del desmonte de procedencia y de la ubicación del relleno en zona representativa (media ladera, grandes rellenos, zona de vaguada etc.). Este Apartado está muy condicionado por las particularidades de cada obra (perfiles de obra, accesos, disponibilidad de terrenos, servicios afectados etc.)
- Definición de la superficie de las diferentes tongadas del tramo de prueba.
 - Largo de tongada: se recomienda una longitud mínima de al menos unos 50 m.
 - Ancho efectivo: unos 10 m. La anchura efectiva se considera descontando 1,5 m a cada lado por efecto de borde, es decir, por la falta de confinamiento.
- Apoyar el tramo, aislándose del terreno natural desbrozado y compactado, sobre al menos dos tongadas construidas con materiales de características similares.
- Determinación de los espesores de las diferentes tongadas a ensayar y por tanto definición del tamaño máximo granulométrico que se admite. Hay que recordar que la granulometría es la que resulta después del proceso de compactación.

- Placement: over at least two lifts built with similar materials and laid on cleared, grubbed and compacted natural terrain.
- Determination of test lift thicknesses and therefore definition of the maximum allowable fragment size. As indicated earlier, gradation is measured after compaction.
- Determination of compacting moisture and wetting method and timing.
- Definition of the tests to be conducted and their frequency during the trial.

B) Arrangements for preliminary tests on the materials to be used:

- Mechanical properties of the rock, primarily strength and alterability:
 - Compressive strength (Spanish standard UNE 22950-1)
 - Point load strength (Spanish standard UNE 22950-5)
 - Resistance to spalling in soft rocks (Spanish standard NLT 251)
 - Rock aggregate and fragment resistance to spalling when exposed to water (Spanish standard NLT 255)
 - Rock aggregate and fragment stability when exposed to wet-dry cycles (Spanish standard NLT 260)
- Gradation and fragment shape
- Soil fragment size analysis ascertained by sieving (Spanish standard UNE 103101)
- Characterization of fines (particularly in random fill)
 - Determination of soil liquid limit using a Casagrande Apparatus Method (Spanish standard UNE 103103)
 - Determination of soil plastic limit (Spanish standard UNE 103104)
 - Soil swell test using an oedometer (Spanish standard UNE 103601)
 - Test for soil collapse potential (Spanish standard NLT 254)
- Modified Proctor for the fraction under 40 mm (20 mm is the minimum requirement) and saturation curves (in random fills only)
 - Modified Proctor compaction test (Spanish standard UNE 103501)
 - Determination of the relative density of soil particles (Spanish standard UNE 103302)
- Chemical tests, primarily in soils thought to contain gypsum or other salts
 - Quantitative determination of the soluble sulfate content in soils (Spanish standard UNE 103201)
 - Determination of the soluble salt content in soils (Spanish standard NLT 114)
 - Determination of the gypsum content in soils (Spanish standard NLT 115)

C) Machinery specifications sheet, which must be representative of the equipment to be used in the actual works.

The following must be included:

- Blasting, ripping, loading and hauling equipment. Description of horsepower and tonnage.
- Machinery to be used to spread the lifts. Description of horsepower and tonnage.
- Wetting equipment. Capacity and wetting method.
- Compacting equipment. Weight (≥ 18 t), vibration frequency-amplitude (nominal-actual maximum) and forward speed.

3.2.2. TEST FILL PROCEDURE

The procedure to be followed must address at least the following:

1. Prepare the settlement layer. Effects due to the natural terrain must be avoided by spreading the test fill over two or three insulating sub-lifts built with the same fill material.
2. Spread the material with crawler machines, preferably heavy bulldozers. The hauling equipment must be driven across the layer under construction to break the more fragile stones and initiate the compacting process. The material must be unloaded onto the lift under construction, a few metres behind the spreading front. The bulldozer rolls the material forward, enhancing uniformity and at least partially correcting any possible segregation.
3. Wet the sections at different rates to verify the most suitable moisture for subsequent compacting.
4. Level the lift after it is fully spread to obtain a datum plane. The surface can be prepared with the bulldozer itself or a static compactor.
5. Stake out the levelling points (10 to 20, depending on test fill dimensions). Stake out the lines to be followed by the lorries in the wheel track test.
6. Initiate roller passes.

- Ajuste de las humedades con las que se pretende compactar, método de irrigación a emplear y el momento de realizar dicho riego.
- Planteamiento de los sistemas y frecuencias de control a realizar durante la prueba.

B) Disposición de los ensayos previos de los materiales a emplear, como son:

- Propiedades mecánicas de la roca, principalmente su resistencia y alterabilidad:
 - Resistencia a la compresión uniaxial (UNE 22950-1)
 - Resistencia a la carga puntual (UNE 22950-5)
 - Determinación de durabilidad al desmoronamiento de rocas blandas (NLT-251)
 - Estabilidad de los áridos y fragmentos de roca frente a la acción de desmoronamiento en agua (NLT-255)
 - Estabilidad de los áridos y fragmentos de roca frente a la acción de los ciclos de humedad-sequedad (NLT-260)
- Granulometrías y formas de las partículas
- Análisis granulométrico de suelos por tamizado (UNE 103101)
- Caracterización de los elementos finos (especialmente en el todo-uno)
 - Determinación del límite líquido de un suelo por el Método del Aparato de Casagrande (UNE 103103)
 - Determinación del límite plástico de un suelo (UNE 103104)
 - Ensayo del hinchamiento libre de un suelo en edómetro (UNE 103601)
 - Ensayo de colapso en suelos (NLT 254)
- Próctor Modificado de la fracción inferior a 40mm (20mm es el preceptivo) y la representación de las curvas de isosaturación (este Apartado es aplicable solo a los rellenos todo-uno)
 - Ensayo de compactación Próctor Modificado (UNE 103501)
 - Determinación de la densidad relativa de las partículas de un suelo (UNE 103302)
- Ensayos químicos, principalmente si se sospecha de la existencia de yesos u otras sales.
 - Determinación cuantitativa del contenido en sulfatos solubles en un suelo (UNE 103201)
 - Determinación del contenido de sales solubles de los suelos (NLT-114)
 - Contenido de yeso en suelos (NLT-115)

C) Ficha técnica de la maquinaria a utilizar, que debe ser representativa de la que se utilizará durante la obra. Es necesario incluir los siguientes aspectos:

- Equipos de voladura y/o ripado, carga y transporte. Descripción de su potencia y tonelaje.
- Maquinaria a emplear en la extensión de las tongadas. Descripción de su potencia y tonelaje.
- Equipos de humectación. Capacidad de carga y sistema de irrigación.
- Equipos de compactación. Peso ($\geq 18t$), frecuencia-amplitud (nominal-real máxima) de vibración y velocidad de trabajo.

3.2.2. PROCEDIMIENTO DEL TRAMO DE ENSAYO

El procedimiento de realización debe contemplar, al menos, los siguientes aspectos:

1. Preparación de la capa de asiento. Hay que evitar la influencia del terreno natural, aislándose de este con 2-3 tongadas inferiores, realizadas con el material del futuro relleno.
2. Extendido del material con máquinas de cadenas, preferentemente tipo Bulldozer pesado. Es fundamental que los elementos de transporte circulen por la capa en ejecución, lo que permitirá romper las piedras más frágiles y dar una primera compactación a la capa. Además, la descarga del material se debe producir sobre la tongada que se está ejecutando, a unos metros del frente de extendido. De esta forma, al empujar el Bulldozer el material descargado se producirá una homogeneización del mismo, corrigiendo al menos en parte la segregación que pudiera haber.
3. Riego de los tramos que se realicen, con diferentes dotaciones, que permitan comprobar cual es la humedad más adecuada para la compactación posterior.
4. Una vez extendida la tongada, realizar la primera nivelación de la misma para tener un plano de comparación. La preparación de la superficie la puede realizar el propio Bulldozer o bien el compactador sin vibrar.
5. Replanteo de los puntos de nivelación (de 10 a 20 puntos, dependiendo de las dimensiones del tramo de ensayo). Replanteo de ejes de paso de camión para ensayo de la huella.
6. Comienzo de las pasadas.

7. Conduct field testing. Testing frequency is given in Table 2.

Roller pass No. Test	Levelling	Wheel track test (NLT-256)	Plate bearing test (NLT-357)	Density ⁽²⁾
1	X			
2	X	X		X
3	X	X		X
4	X	X	X	X
5	X	X	X	X
6	X	X	X	X
7 ⁽¹⁾	X	X		X
8 ⁽¹⁾	X	X		X

⁽¹⁾ These passes may not be necessary.

⁽²⁾ Given the properties of the materials and lift thickness, density testing is approximate and conducted in random fills only.

Table 2. Trial types and timing for test fills

Macro-gradation and macro-density trials are conducted frequently, primarily in rock fills.

Lifts are usually from 60 to 100 cm thick, while the maximum fragment size should never exceed 2/3 of that value.

Comments on field testing

The trials listed in Table 2 are described below.

Topographic levelling to prevent deformation

A lattice of topographic control points must be staked out on the top of the lift. A 25x25-mm steel plate, fitted with a pin for attachment to the lift, is positioned on each point. The readings are taken at the centre of these plates after each roller pass. The difference in the elevation readings before and after a given pass are used to find the mean settlement for that pass.

The levelling plates should be positioned outside the area of influence of compactor and bulldozer vibrations and dumper traffic.

Wheel track test

This test is conducted as specified in Spanish standard NLT 256, measuring the settlement generated by a twin wheel axle lorry with a 10-t axle load.

The lines along which the lorry should be driven and the points (at least 10 per trial) where "H"-shaped steel plates are to be positioned are staked out on the lift. Levelling techniques are used to measure the elevation at each of these points before and after the loaded lorry trial to determine the mean subsidence.

More than one trial should be conducted after each roller pass, immediately after compaction.

7. Realización de los diferentes ensayos "in situ". La frecuencia de estos ensayos se refleja en la Tabla 2.

Pasada n° Ensayos	Control de nivelación	Ensayo de la huella (NLT-256)	Ensayo de carga con placa (NLT-357)	Densidad ⁽²⁾
1	X			
2	X	X		X
3	X	X		X
4	X	X	X	X
5	X	X	X	X
6	X	X	X	X
7 ⁽¹⁾	X	X		X
8 ⁽¹⁾	X	X		X

⁽¹⁾ Estas pasadas a veces no son necesarias

⁽²⁾ Dada las peculiaridades de los materiales y el espesor de las tongadas, la densidad solo se realizará con carácter orientativo en los todo-uno

Tabla 2 Tipología y frecuencia de controles a efectuar en tramo de ensayo.

Con frecuencia se realizan macrogranulometrías y macrodensidades, principalmente en los pedraplenes.

Generalmente las tongadas suelen ser de 60 a 100 cm, procurando en todo momento que los tamaños máximos no sobrepasen los 2/3 de estos espesores.

Comentarios a los ensayos "in situ"

A continuación se describen de forma general los indicados en la Tabla 2.

Control de deformaciones mediante nivelación topográfica

Se deberán replantear en la cara superior de la tongada una serie de puntos de control topográfico, formando una malla, sobre los que se dispondrán placas metálicas (25x25mm) fijadas a la tongada por un puntero. La lectura se realiza sobre el centro de dichas placas después de cada pasada. Con la diferencia de cotas medida tras cada pasada de compactador, se obtiene el asiento medio para dicha pasada.

Conviene que las bases de nivelación queden fuera de la zona de influencia de las vibraciones del compactador y Bulldozer, así como del tránsito de los Dumpers.

Ensayo de la huella

Se realiza según la NLT-256, para lo cual se hace necesario disponer de camión con carga por eje de 10 t, que define la norma, midiéndose el asiento que origina el paso de un eje con ruedas gemelas.

Se replantearán en la tongada las líneas por donde debe desplazarse el camión y los puntos (10 puntos mínimo por prueba) donde se colocará la "hache" metálica. En cada uno de estos puntos se debe medir por nivelación, antes y después del camión cargado, el descenso originado por la rodera para así determinar el descenso medio.

Es conveniente que se realice más de un ensayo en cada pasada, y apenas terminada la compactación.



Photograph 3. Wheel track test, with the detail of an "H" shaped plate
Foto 3. Ejecución de ensayo de la huella. Véase el detalle de "hache" empleado

Plate bearing test

This trial is conducted as specified in Spanish standard NLT 357. The plate diameter should be as large as possible ($D \geq 700$ mm) to find moduli of deformation Ev_1 and Ev_2 and the dimensionless coefficient "K".

At least two plate bearing trials should be conducted per embankment, in pre-established lifts.

The main limitation in this trial is generally lift gradation, for theoretically the maximum fragment size should not exceed 1/5 of the plate diameter.

Moreover, the values obtained in this trial vary widely from point to point due to the "hard point" effect caused by large fragments masked near the top of the lift. The findings must therefore be interpreted very cautiously and never before confirming the representativeness of the points chosen.

The results of this test are also impacted by terrain moisture conditions.

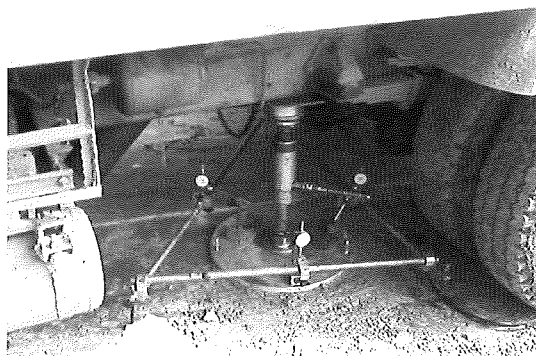
Density

As noted above, this test is used as an indication only and is only applicable to random fills. These reservations are due to the lack of a suitable Proctor and the distortion of field density values because of the presence of rock fragments and lift thicknesses which are obviously not verified in depth. Gamma densimeters are the instruments used for these readings.

Macro-gradation and macro-density

These tests entail taking one- to three-square metre probes along the entire depth of the lift. The material extracted is weighed and the gradation is found "manually" for the larger fragments using the sieve sizes specified in the legislation.

Density is found by weighing the material extracted and calculating the volume of the probe. In practice, this operation generally involves measuring the volume of water that can be accommodated by the probe hole, lined with a water-tight membrane (Photograph 5).



Photograph 4. Plate bearing test
Foto 4. Ejecución de ensayo de placa de carga

Placa de carga

Se realiza según la NLT-357. El diámetro de placa debe ser el mayor disponible ($D \geq 700\text{mm}$). Permite obtener los módulos de deformación E_{v1} , E_{v2} y el factor adimensional "K".

Es conveniente la realización de, al menos, dos determinaciones de placa de carga en las tongadas previstas.

La limitación fundamental que presenta este ensayo suele ser la granulometría presente en la tongada, ya que teóricamente el tamaño máximo debería ser 1/5 del diámetro de la placa.

Por otro lado, en este ensayo se obtienen valores dispares de unos puntos a otros, debido al efecto de "punto duro" que suelen dar los tamaños grandes que quedan enmascarados en las tongadas, por lo que debería ser aplicado con mucha prudencia y, siempre, tras la confirmación de que se cumplen los requisitos para su representatividad.

También los resultados de este ensayo están muy influenciados por las condiciones de humedad del terreno.

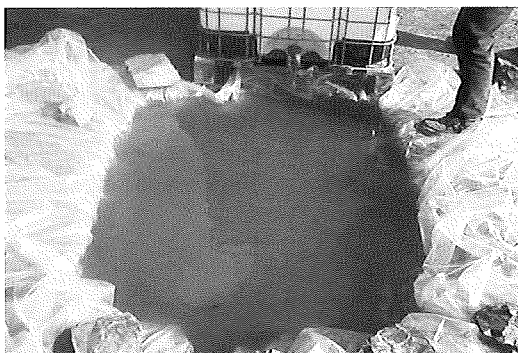


Foto 5. Ensayo de macrodensidad
Photograph 5. Macro-density test

Densidad

Como se ha comentado, este ensayo es meramente orientativo y únicamente aplicable a los rellenos tipo todo-uno, ya que tiene muchas limitaciones derivadas tanto de no poder disponer de un Próctor de referencia adecuado como de la distorsión de los valores de la densidad "in situ" por la presencia de fragmentos de roca y el espesor de las tongadas que, obviamente, no se chequea en profundidad. Los equipos empleados en estas determinaciones están basados en gammadensímetros nucleares.

Macrogranulometría y macrodensidad

Consisten en la realización de calicatas, cuya superficie oscila entre 1 y 3 m², con la profundidad del espesor la tongada. El material extraído se pesará y sobre el que se hará una "granulometría artesanal" de las partículas mayores y convencionales sobre los tamaños que contempla la normativa de tamices.

La densidad se obtiene pesando el material extraído y calculando el volumen del vaciado de la cata. En la práctica, esta operación suele hacerse disponiendo una lámina impermeable que cubra las paredes de la cata y posteriormente rellenando el hueco con agua (Foto 5).

Estas excavaciones (macrocatas) son aprovechadas a su vez para visualizar las condiciones finales del relleno, mediante inspección de las paredes laterales.

3.2.3. DECISIONES DERIVADAS DEL PROCESO

Una vez concluidos los tramos de ensayo, se deben extrapolar los resultados de todas estas pruebas y ensayos al método de control que se adopte durante la construcción de los rellenos.

The side walls of these excavations (macro-probes) are subsequently inspected to obtain an overview of the final lift conditions.

3.2.3. DECISIONS STEMMING FROM THE PROCESS

After the test fill trials are conducted, the findings must be extrapolated to the control scheme to be applied during construction of the actual fills.

3.2.3.1. INTERPRETATION OF RESULTS

Since the control methods used are fairly arduous, an attempt should be made to establish correlations between the findings to ensure that they are conducted logically and effectively in fill quality control.

This correlation should consist in plotting graphs of the parameters measured (deformability and compactness) versus the number of roller passes, as shown in Figure 3.

Both the settlement and wheel track values decline asymptotically as the number of roller passes rises. Material stiffness, by contrast, rises asymptotically. This means that after a certain number of passes, no significant improvements are observed in fill characteristics. One of the parameters that the test fill is in fact designed to determine is the number of compactor passes beyond which improvements are minimal or nil.

3.2.3.2. TYPES OF CONTROL

When the trials conducted on the test fill are found to be apt and the procedure is therefore validated, work may begin on the actual embankments in strict compliance with the procedure approved.

In light of the foregoing, acceptance for this unit of work may be based on two types of control: procedural control and end product control

- Procedural control (in rock fills and to a lesser extent in random fills): the spreading and wetting methods and the minimum number of compactor passes are established, subject to using the same or similar type of machinery as used in the test fill. Lift approval is based primarily on verifying compliance with the variables initially analyzed: gradation and material quality, lift thickness, machinery and construction process (spreading, wetting and compaction). Tests are conducted periodically to verify the validity of the scheme and the correlation with the test fill values.
- End product control (applicable to rock and random fills): in this case, the lift acceptance criteria are established on the grounds of the lots defined, the samples to be taken and the tests to be run. The lift is approved when the test results meet the acceptance criteria.

4. TEST FILLS: PRACTICAL EXPERIENCE

This section discusses recent experience with test fills used to monitor rock and random fill construction for expressways.

The fills studied, over 10 m high in many cases and over 20 in one, were constructed on both flat terrain and in areas with longitudinal and/or transverse slopes.

4.1. ROCK FILLS

Lithology

Igneous lithology prevailed in these rocks, excavated in the Variscan granite units located in the central-western Iberian Peninsula. Most pertained to the calc-alkalic series and had grain textures ranging from porphyritic to aplitic. Rocks from graywacke massifs were also used, but to a lesser extent.

3.2.3.1. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Dado que los métodos de control empleados son bastantes laboriosos, se debe intentar establecer una correlación entre los ensayos efectuados, de forma que se empleen de una forma lógica y eficaz en el control de ejecución del relleno.

Esta correlación se suele realizar representando en gráficos la evolución de los distintos parámetros medidos (deformabilidad y compacidad) frente a las pasadas del compactador. La representación de estos valores suele dar unas gráficas como las que se reflejan en la Figura 3.

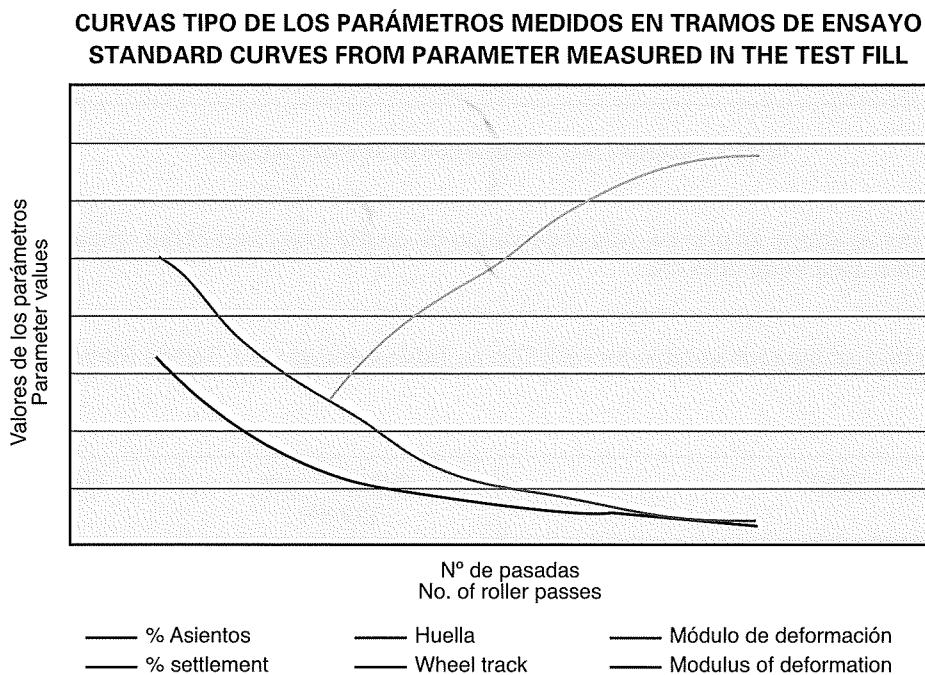


Figura 3. Gráfico con características de parámetros medidos en tramo de ensayo
Figure 3. Parameters measured in the test fill versus number of roller passes

Tanto los valores de los asientos medidos como los obtenidos en el ensayo de la huella forman una asíntota hacia valores bajos al aumentar el número de pasadas de rodillo. La rigidez del material, por el contrario, forma una asíntota hacia valores altos. Esto significa que, a partir de cierto número de pasadas, la acción del rodillo no produce una mejora significativa sobre las características del relleno que se está ejecutando. Uno de los parámetros que se pretende calcular en el tramo de ensayo es el número de pasadas de compactador a partir del cual la mejora de la calidad del relleno es mínima o nula.

3.2.3.2. TIPOS DE CONTROL

Cuando las pruebas realizadas en el tramo de ensayo se consideren aptas y, por consiguiente, se haya validado el procedimiento, podrá empezarse con la ejecución de los rellenos de la obra, que deberán ceñirse de forma rigurosa al procedimiento aprobado.

Del análisis anteriormente citado, se pueden plantear dos tipos de recepción de la unidad de obra: Control de Procedimiento y Control de Producto acabado.

- Control de procedimiento (a utilizar en pedraplenes y, en menor medida, en rellenos todo-uno): Se fijará el método de extendido, humectación y el número mínimo de pasadas del compactador, siempre utilizando una maquinaria igual o al menos similar a la empleada en el tramo de ensayo. La aprobación de las tongadas se realizará principalmente con la comprobación, mediante vigilancia, de que se cumplen todas las variables inicialmente analizadas: granulometría y calidad de los materiales, espesor de tongada, equipo de maquinaria y proceso constructivo (extendido, humectación y compactación). Periódicamente se realizarán ensayos que verifiquen la validez del sistema empleado y su correlación con los valores obtenidos en los tramos de ensayo.
- Control de producto terminado (de aplicación en pedraplenes y todo-uno): En este caso, se fijarán los criterios de aceptación de la tongada, definiendo el lote, las muestras y ensayos a realizar. La aprobación de la tongada se producirá cuando los resultados de los ensayos realizados cumplan con los criterios de aceptación definidos.

The compressive strength of the respective parent stone logically varied with the degree of alteration and fracturing observed as a result of the earthworks. These strength values may be classified, by way of indication, as shown in Table 3.

Lithology	Compressive strength (MPa)		
	High strength	Medium strength	Low strength
Granite	80-100	40-50	20-25
Graywacke	25-30 (for rocks used in rock fills)		

Table 3. Indicative rock classification by strength category

Graywacke, which is not as strong as granite, was observed to be on the lower end of the range allowed for rock fills and as a result was often used in random fills.

Rock quality

Granite was found to be a stable rock suitable for rock fills, as Table 4 shows (J. J. Tejado Ramos, F. Fernández de la Llave, 2004⁽⁶⁾).

TEST ¹		High-strength granite	Low-strength granite
Specific weight (g/cm ³)		2,708	2,585
Open porosity (%)		1,44	2,07
Wave velocity (m/s)		4.892	1.759
Spalling in water (% loss) NLT 255	40-20 mm	0,00	0,0
	20-10 mm	0,00	0,10
Wet-dry cycles (% loss) NLT 260	40-20 mm	0,07	0,30
	20-10 mm	0,33	0,53
Frost resistance (25 cycles,% loss) UNE 22174		0,021	0,10
Wave velocity after freeze-thaw cycles (m/s)		4.541	2.043
Resistance to salt crystallization (%Δ mass in g) UNE EN 12370		0,043	0,070

¹Mean test values

Table 4. Basic parameters for the granite used in rock fills

Graywacke was also found to be a stable rock suitable for rock fills, providing the rock massif excavated was homogeneous (i.e., with no slate or schist intercalations). Table 5 gives the results of some of the tests conducted on graywacke rock (modified and enlarged by F. Fernández de la Llave, 2000).

4. EXPERIENCIAS DE TRAMOS DE ENSAYO

En este Apartado se pretende dar a conocer algunas experiencias obtenidas en la ejecución de tramos de ensayo de rellenos tipo todo-uno y pedraplén en obras de autovía de reciente construcción.

Los rellenos estudiados en muchos casos superan los 10m, llegando en alguna ocasión a los 20m de altura. Estos rellenos se han realizado tanto en zonas de apoyos horizontales como con pendientes longitudinales y/o transversales.

4.1. EXPERIENCIAS EN PEDRAPLÉN

Litología

La litología predominante ha sido de rocas ígneas, proveniente de las Unidades Graníticas Variscas del centro-oeste peninsular, en su mayoría de la serie calco-alcalina y con texturas de granos de porfídica a aplítica. En menor cantidad se han utilizado rocas procedentes de macizos de grauvacas masificadas.

La resistencia a compresión uniaxial de la roca matriz de estas litologías es, como cabe esperar, muy variable dependiendo del grado de alteración y la fracturación que presente cada desmorte. A título orientativo estas resistencias se pueden clasificar según la Tabla 3

Litología	Resistencia a compresión uniaxial (MPa)		
	Resistencias altas	Resistencias medias	Resistencias bajas
Granito	80-100	40-50	20-25
Grauvaca	25-30 (para las rocas que se han empleado en pedraplenes)		

Tabla 3. Clasificación orientativa de rocas en función de su resistencia

Las rocas grauváquicas, en general, tienen una resistencia mecánica inferior a los granitos, estando situada en el límite que se admite como adecuada para pedraplenes, por lo que en muchos casos terminan formando parte de rellenos todo-uno.

Calidad de la roca

Los granitos, se pueden considerar como rocas estables y adecuadas para pedraplenes, como se aprecia en la Tabla 4. (J. J. Tejado Ramos, F. Fernández de la Llave. 2004⁽⁶⁾)

ENSAYOS ¹		Granito de resistencias altas	Granito de resistencias bajas
Peso específico (g/cm ³)		2,708	2,585
Porosidad abierta (%)		1,44	2,07
Velocidad de propagación (m/s)		4.892	1.759
Desmoronamiento en agua (% pérdida) NLT-255	40-20 mm	0,00	0,0
	20-10 mm	0,00	0,10
Ciclos humedad-sequedad (% pérdida) NLT-260	40-20 mm	0,07	0,30
	20-10 mm	0,33	0,53
Resistencia a las heladas (25 ciclos,% pérdida) UNE-22174		0,021	0,10
Velocidad de propagación después de ciclos de hielo-deshielo (m/s)		4.541	2.043
Resistencia a la cristalización de sales (%Δ masa en g) UNE-EN 12370		0,043	0,070

¹Valores medios de los ensayos.

Tabla 4. Parámetros básicos de rocas graníticas empleadas en pedraplenes.

TEST	Mean value
Specific weight (g/cm ³)	2,71
Absorption (%)	2,62
Compressive strength (MPa)	25-30
Indirect tensile test Tensile strength (MPa)	3,0
Slake Durability Test (I _D)	95,5%
Immersion test (I _i)	5,80
Sulfur (%)	Imperceptible

Table 5. Basic parameters for the graywacke used in rock fills

Gradation

Material gradation generally complied with the boundaries recommended in PG-3, particularly in the case of the graywacke. Granite fragments tended to hover around the high end of the range.

Fragment shape posed no problems in the case of the granite, whereas the high values observed for this parameter in graywacke were due to the stratiform structure of the original matrix and the greater volume of rock extracted by ripping (in which case tensile strength tests are highly recommended).



Photograph 6. Rock fill material
Foto 6. Material tipo "pedraplén"

Lift thickness

In granite rock fills, the lifts were generally 80 cm thick, although in large embankments (>10 m) where healthy rock was available, the bottom lifts were up to 100 cm thick to optimize the use of the larger fragments, among other reasons.

The graywacke lifts ranged in thickness from 60 to 80 cm.

Acceptance criteria

Both end product and procedural criteria were established for each case, and both were used indistinctly depending on the circumstances prevailing on site at any given time.

Tabla 4. Parámetros básicos de rocas graníticas empleadas en pedraplenes.

Las grauvacas, se pueden considerar como rocas estables y adecuadas para pedraplenes, siempre que el macizo rocoso del desmonte sea homogéneo (es decir que no presente intercalaciones de pizarra y esquistos). En la Tabla 5 se expone un cuadro con resultados de algunos ensayos realizados en grauvacas (Modificado y ampliado de F. Fernández de la Llave 2000).

ENSAYOS	Valores Medios
Peso específico (g/cm ³)	2.71
Absorción (%)	2.62
Resistencia a compresión uniaxial (MPa)	25-30
Ensayo Brasileño. Resistencia a la tracción (Mpa)	3,0
Slake Durability Test (I _D)	95.5%
Ensayo de Inmersión (I _i)	5.80
Sulfuros (%)	Inapreciable

Tabla 5. Parámetros básicos de grauvacas empleadas en pedraplenes

Granulometría

La granulometría en general ha cumplido con el huso recomendado en el PG-3, mayormente en el caso de las grauvacas, presentando en el caso de los granitos una tendencia a situarse en la parte alta de dicho huso.

La forma de las partículas no ha presentado ningún problema en el caso de los granitos, mientras que en las grauvacas este parámetro se puede presentar con valores altos debido a dos factores: primero al carácter estratiforme que da la fábrica original de la roca y, segundo, al mayor volumen de roca extraída mediante ripado (en este último caso es interesante realizar ensayos de resistencia a tracción).

Espesor de tongada

En el caso de los granitos, el espesor de tongada empleado mayoritariamente es de 80 cm, si bien en algunos casos, con rocas sanas, y en grandes pedraplenes (>10 m), las tongadas iniciales han sido de 100 cm, entre otros objetivos para optimizar la utilización del material de mayor tamaño.

En el caso de las grauvacas, el espesor de las tongadas ha sido variable entre 60 y 80 cm.

Criterios de aceptación

En cada caso, se establecieron criterios tanto de producto acabado como de procedimiento, pasando indistintamente de uno a otro según la circunstancias del momento de cada obra.

Table 6 summarizes some of the criteria used for end product acceptance.

Lithology	Lift (cm)	End product Specifications				Procedural control (No. of passes)
		Compactness	Wh.tr. (mm)	Stlment	Stiffness (MPa) E_{v1} (K)	
Granite	100	Porosity < 30%	3- 5	<1%	> 50 (<3-3,2)	6
	80	Porosity < 30%	3-5	<1%	>40 (<3)	5-6
Graywacke	80	Porosity < 30%	3-5	<1%	35-50 (<3-3,5)	5
	60	Porosity < 30%	3-5	<1%	35-50 (<3-3,5)	4-5

Table 6. Rock fill acceptance criteria

4.2. RANDOM FILLS

Lithology

Slate and schist prevailed in this type of fills, although smaller quantities of graywacke were also present. These materials form part of the Graywacke Schist Complex in the central Iberian zone of the Hesperian Massif⁽⁵⁾.

Compressive strength was found to vary widely in these lithologies, given their variable petrographies (these rocks range from pure graywacke to lutitic slate) and concomitant differences in alterations and fracturing, making it very difficult to typify this parameter in any given excavation site.

Rock quality

The slate and schist used in random fills, while not exhibiting quality as high as graywacke, can be regarded to be stable rocks and suitable for this type of fills.

Table 7 contains the results of some of the tests conducted on slate used in random fills.

TEST	Mean value
Resistance to spalling in soft rocks (Spanish standard NLT 251)	Sehudes index 1 st cycle I_{d1} = 98,5 2 nd cycle I_{d2} = 97,7
Spalling in water (% loss) NLT 255	% loss Coarse fraction = 1,10 Fines fraction = 0,42
Wet-dry cycles (% loss) NLT 260	% loss Coarse fraction = 1,88 Fines fraction = 1,36

Table 7. Test results for random fill materials

Gradation

Although the gradation values for random fills were often very close to the legal requirements, not all the specifications could always be met, for in slate especially, post-compaction gradation decay is difficult to foresee.

As noted in the above discussion on graywacke for rock fill, in random fill where slate and schist prevail, fragment shape tends to pose problems. This is because the severe anisotropy generated by schistosity and/or stratification gives rise to a high percentage of platy fragments.

De forma resumida, se exponen en la Tabla 6 algunos de los criterios utilizados en la recepción de producto acabado.

Litología	Tongada (cm)	Producto acabado. Prescripciones técnicas				Control procedimiento (N° de pasadas)
		Compacidad	Huella (mm)	Asiento	Rigidez (MPa) E_{v1} (K)	
Granito	100	Porosidad <30%	3- 5	<1%	> 50 (<3-3,2)	6
	80	Porosidad <30%	3-5	<1%	>40 (<3)	5-6
Grauvaca	80	Porosidad <30%	3-5	<1%	35-50 (<3-3,5)	5
	60	Porosidad <30%	3-5	<1%	35-50 (<3-3,5)	4-5

Tabla 6. Criterios de aceptación empleados en rellenos tipo pedraplén

4.2. EXPERIENCIAS EN TODO-UNO

Litología

En este tipo de rellenos, las litologías predominantes han sido pizarras, esquistos y en menor medida grauvacas. Estos materiales pertenecen a la formación geológica del Complejo Esquisto Grauváquico de la Zona Centro Ibérica del Macizo Hespérico⁽⁵⁾

La resistencia a compresión uniaxial de estas litologías presenta gran dispersión, dada su variable condición petrográfica (esta rocas pueden cambiar de grauvacas puras a pizarras lutíticas), aparte de las alteraciones y fracturación, por lo que se hace muy difícil tipificar este parámetro en un determinado desmonte.

Calidad de la roca

Las pizarras y esquistos utilizados en los rellenos tipo todo-uno, si bien su calidad no llega a la de las grauvacas, se pueden considerar como rocas estables y adecuadas para estos tipos de rellenos.

En la Tabla 7 se expone un cuadro con resultados de algunos ensayos realizados a las pizarras empleadas en los rellenos todo-uno.

ENSAYOS	Valores Medios
Durabilidad al desmoronamiento de rocas blandas NLT-251	Índice Sehudes Ciclo 1° I_{d1} = 98,5 Ciclo 2° I_{d2} = 97,7
Desmoronamiento en agua (% pérdida) NLT-255	% Pérdida Fracción gruesa = 1,10 Fracción fina = 0,42
Ciclos humedad-sequedad (% pérdida) NLT-260	% Pérdida Fracción gruesa = 1,88 Fracción fina = 1,36

Tabla 7. Resultados de ensayos en materiales empleados en todo-uno.

Granulometría

Esta característica, aunque suele aproximarse bastante a lo recogido en el Pliego, es complicado que se cumpla en todos sus requisitos, pues suele ocurrir que la degradación granulométrica tras la compactación, principalmente en pizarras, en ocasiones es de difícil previsión.

Como ya se ha comentado, para el caso de las grauvacas en pedraplenes, la forma de las partículas en los rellenos todo-uno, en los que abundan las pizarras y esquistos, suele presentar problemas. Esto se debe a que, en este caso, la fuerte anisotropía generada por la esquistosidad y/o la estratificación da lugar a porcentajes altos de formas lajas.



Photograph 7. Ripping random fill material
Foto 7. Extracción de material tipo todo-uno mediante "ripado".

Lift thickness

Sixty-cm lifts were used in most random fills, although in some cases involving high embankments (>10 m), the bottom lifts were 80 cm thick to be able to use larger fragments. Attempts were made at all times to comply with the maximum size limit (2/3 lift), which was easier in this case than in rock fills in light of the softer nature of the rock.

Acceptance criteria

As in the rock fills, both end product and procedural criteria were established. Here, however, end product control was used more frequently since the test values exhibited less dispersion than in rock fills.

These criteria are summarized in Table 8.

Lithology	Lift (cm)	End product Specifications				Procedural control (No. of passes)
		Compactness	Wh.tr. (mm)	Sltmnt	Stiffness (MPa) E_{v1} (K)	
Graywacke, slate and schist	80	≥95% P.M.	3- 5	<1%	> 35-50 (<3-3,5)	5-6
	60	≥95% P.M.	3-5	<1%	>35-40 (<2-3)	4-6

Table 8. Acceptance criteria used for random fills

5.- RECOMMENDATIONS FOR ON-SITE PLACEMENT

The recommendations discussed below are intended to supplement the foregoing descriptions of practical experience with test fills in rock and random fill construction. While subjective, the grouping provides an overview of fill construction monitoring.

Material reuse:

Blasting must be designed to ensure that the blast hole lattice and the specific loads in each yield materials of the desired characteristics. Removal of the material from the upper zones prior to blasting is not recommended unless the soil is very deep, for its contribution to the whole favours more continuous gradations.

Excavation should be planned in general so that:

- Topsoil is removed and stored in subsequently accessible areas.
- The materials with the highest bearing capacity are placed, whenever possible, in foundations and/or shells (material strength rises, as a general rule, with excavation depth).
- The largest rock fragments are hauled away from the loading area for further fragmentation with mechanical means or snakeholing.
- Provision is made for the finer and/or plastic materials needed for transition zones and gutter and berm fills.

Espesor de tongada

En el caso de los rellenos todo-uno, el espesor de tongada ha sido mayoritariamente de 60cm, si bien, en algunos casos y en grandes rellenos (>10m), las tongadas iniciales han sido de 80cm, para poder utilizar el material de mayor tamaño. Se ha intentado respetar, en todo momento, el cumplimiento del tamaño máximo (2/3 tongada), que en este caso es más fácil de conseguir que en los pedraplenes, dado que la dureza de las rocas es menor.

Criterios de aceptación

Al igual que en los pedraplenes, se establecieron criterios tanto de producto acabado como de procedimiento. Sin embargo, en este caso se ha utilizado más el control de producto acabado, al tener los valores de los ensayos menor dispersión que en el caso de los pedraplenes.

De forma resumida, se exponen en la Tabla 8 dichos criterios.

Litología	Tongada (cm)	Producto acabado. Prescripciones técnicas				Control procedimiento (Nº de pasadas)
		Compacidad	Huella (mm)	Asiento	Rigidez (MPa) E_{v1} (K)	
Grauvacas, pizarras y esquistos	80	≥95% P.M.	3- 5	<1%	> 35-50 (<3-3,5)	5-6
	60	≥95% P.M.	3-5	<1%	>35-40 (<2-3)	4-6

Tabla 8. Criterios de aceptación empleados en rellenos tipo todo-uno.

5. RECOMENDACIONES DE PUESTA EN OBRA

Como complemento a las experiencias obtenidas en los tramos de ensayo en rellenos tipo pedraplén y todo-uno, se han incluido una serie de recomendaciones, agrupando estas en aspectos que si bien se pudieran considerar subjetivos, nos den una visión global de su ejecución.

Aprovechamiento de materiales:

El diseño de las voladuras se debe realizar de forma que la malla empleada y carga específica de los barrenos permitan obtener un material con las características deseadas. No es recomendable la extracción previa del material de las zonas superiores de los desmontes a volar, salvo que existan grandes espesores de suelo, ya que su aportación al conjunto facilita la consecución de granulometrías más continuas.

En general se deben planificar la explotación de los desmontes, de forma que:

- Se retire y acopie la tierra vegetal en zonas posteriormente accesibles.
- Los materiales con mayor capacidad portante se coloquen, siempre que sea posible, en los cimientos y/o espaldones de los rellenos (la resistencia de los materiales mejora, generalmente, con la profundidad de las excavaciones).
- Es preferible apartar los tamaños mayores de roca en la zona de carga, y proceder a su fragmentación mediante medios mecánicos o taqueo, aprovechando nuevas voladuras.
- Se prevea la necesidad de materiales más finos y/o plásticos, para las zonas de transición, rellenos de cunetas y bermas que, en caso de existir volúmenes significativos, pueden ser acopiados.

En la medida de lo posible, la ejecución de los rellenos habrá de ser planificada con el objetivo, ya expresado anteriormente, de situar los materiales de mejor calidad en los cimientos y espaldones, donde se precisa un volumen menor; previendo la necesidad de un material de granulometría más fina y calidad adecuada, para su empleo en las capas de transición, con un espesor mínimo de un metro, hasta la coronación del relleno con la explanada.

Una forma de optimizar el balance del movimiento de tierras, consiste en dotar de una mayor anchura a los rellenos en caso de que existan excedentes de material, para no generar vertederos. Por el contrario, si la obra es deficitaria, se puede aumentar la sección de los desmontes, con la consecuente mejora de la visibilidad en curvas y en la sensación de amplitud de la vía, a la vez que evita la apertura de préstamos. Como contrapartida, en ambos casos, se precisaría una mayor superficie de ocupación.

Fill construction should be planned as far as possible with the aim, mentioned earlier, of placing the highest quality materials in the foundation and shells, where lesser volumes are required. Provision must also be made for finer materials of a quality suitable for use in the transition layers, at least one metre thick and positioned immediately below the crest and the capping layer.

In the event of a surplus of fill materials, one way of balancing the earthwork equation is by building wider fills instead of generating dump yards. If, on the contrary, there is a shortage of material, the excavation site can be enlarged, enhancing visibility in curves and the sensation of spaciousness while avoiding the need for borrow pits. In both cases, the trade-off is that the area occupied is larger.

Materials:

The questions to bear in mind with respect to material quality are listed below.

- Fill gradation requirements **always refer to compacted material**. Account must therefore be taken of the significant variation in gradation in friable materials.
- Water is the first cause of material decay and evolution. Special attention must be paid to proper wetting during construction and fill protection from possible inflowing water by providing for suitable drainage.
- The use of the term “strong rocks” in rock fills is subjective, with no explicit specification of rock strength. Rocks with a compressive strength of over 50 MPa may be regarded to be suitable, materials with compressive strength between 25 and 50 MPa to be soft, and any under 25 MPa to be unsuitable (although usable in random fills).
- As an initial approximation, in rock fills thicknesses of 1,0 m may be regarded to be appropriate for strong rocks, and of 0,60 and 0,80 m for all other rocks, which are much more abundant.

On-site placement:

The material hauled to the worksite must be unloaded on the lift under construction two to four metres behind the front edge, where a crawling tractor fitted with a heavy duty dozer shovel can increase material uniformity while rolling it to the spreading point.

The lift under construction and the one immediately below it should be wetted wherever possible, preferably at the front edge before placing the material in its final position in the lift. Wetting improves fragment adaptation and eliminates sharp edges and the potentially friable angles on pre-cracked material, reducing long-term settling. The wetting intensity generally established for rock fills is two to three bucket passes (one pass is approximately equal to 4 l/m²). These amounts must be revised for random fills depending on the nature of the fines and the difference between actual material moisture and the optimum for the reference Proctor used.

For all relevant intents and purposes, the definition of “roller pass” is one full cycle in both directions, in which the compactor passes over each point twice.

Reducing the lift thickness to the maximum fragment size is unadvisable, for this practice may create “hard points” surrounded by low density areas. If the proportion of fragments of a size close to the total lift thickness is high, it may be advisable to increase the thickness, even if that means exceeding the stipulated maximum, subject to ensuring good compaction. The alternative is to rectify the excavation method to obtain smaller size fragments.

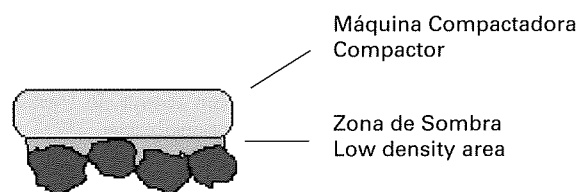


Figure 4. “Hard point” and surrounding lower density areas
 Figura 4. Esquema de “punto duro”

Lift compaction should begin on the outer edges, over the shells, and continue inward.

Compacting is more homogeneous if dumper traffic is distributed uniformly over the fill being built.

Low compaction or “soft” areas can be detected by conducting the super-compactor test described in Article 304 of PG-3.

Materiales:

En cuanto a la calidad de los materiales, se debe tener presente que:

- Los requerimientos granulométricos para los rellenos, son **siempre sobre el material ya compactado**. Por tanto, ha de tenerse en cuenta la variación granulométrica muy significativa en el caso de materiales friables.
- El agua es la primera causa de la degradación y evolución de los materiales. Conviene pues prestar especial atención a la correcta humectación durante la ejecución de los rellenos y protegerlos, además, de posibles accesos, mediante un correcto drenaje.
- En pedraplenes, se define el empleo subjetivo de "rocas resistentes", sin incluir ninguna prescripción explícita de resistencia de la roca. Se podrían considerar como adecuadas aquellas rocas cuya resistencia a compresión es superior a 50 MPa, blandas cuando la resistencia a compresión está comprendidas entre 25 y 50 MPa, y no aptas (aunque sí aprovechables en todo-uno) aquellas con resistencias a compresión inferiores a los 25 MPa.
- Como primera aproximación, podría establecerse para los pedraplenes espesores de 1,0m para las rocas resistentes, y entre 0,60 y 0,80m para el resto de rocas, que son las más abundantes.

Puesta en obra:

La descarga del material transportado, ha de efectuarse siempre sobre la tongada en ejecución, y distante entre 2-4m del frente de avance, para ser volteado y homogeneizado por un tractor de orugas equipado con pala de empuje, tipo bulldozer pesado, hasta el punto de extendido.



Foto 8. Detalle de frente de extendido
Photograph 8. Detail of spreading front

Deberán humectarse, siempre que sea posible, las tongadas inferior y tongada en ejecución, siendo recomendable que dicha humectación se realice sobre el frente de extendido, antes de colocar el material en su ubicación final dentro de la tongada. Con el riego se mejora el encaje de los granos y se eliminan las aristas y angulosidades potencialmente friables del material prefisurado, reduciéndose los asentamientos a largo plazo. La intensidad de riego en pedraplenes se suele fijar en 2-3 pasadas de cuba (una pasada se puede estimar en una dotación de 4 l/m²). Esta dotación debe revisarse para los todo-uno, en función de la naturaleza de los finos y de la diferencia entre la humedad del material y la óptima del Próctor de referencia.

Conviene recordar que la definición de "pasada de rodillo", corresponde a un ciclo completo de ida y vuelta, de forma que pase dos veces sobre cada punto.

No es aconsejable apurar el espesor de las tongadas al tamaño máximo del material, para evitar así "puntos duros" que conllevan zonas de sombra o de baja densificación a su alrededor. En el caso de que la proporción de fragmentos rocosos cercanos al límite superior previsto para la tongada sea importante, puede ser recomendable el aumento del espesor de tongada, aun superando el máximo estipulado, siempre que se asegure la compacidad, de forma que se permita el empleo de estos materiales; como alternativa, habría de rectificarse el método de extracción para reducir tamaños.

La compactación de las tongadas se deberá empezar por el exterior, abordando los espaldones, y continuarse desde el borde hacia el centro del relleno.

Se puede lograr una compactación más homogénea organizando el tráfico de dumpers a través de los rellenos en ejecución, distribuyéndolo uniformemente por la superficie de la tongada.

Lifts under construction should be widened on the sides by one to two metres to ensure compaction across their entire section. Part of this extra material may be subsequently recovered in the upper layers and in any case it may be covered with topsoil for better integration into the landscape.

For mid-slope fills or at abutments with existing fills, good bonding must be ensured by benching the existing terrain with a bulldozer shovel, forming terraces over five metres wide. FHWA⁽⁷⁾ standards require the foundations to be benched in all slopes with a grade of over 3(H): 1(V). This procedure must be repeated in all lifts. Prior to benching, drainage between these materials must be ensured, evacuating the natural flow as deemed most suitable (longitudinal/transverse drains, base and wick drains and so on) ⁽⁸⁾.



Photograph 9. "Mid-slope" fill details
Foto 9. Detalles de relleno a "media ladera"

Control methods

Where procedural control is used, productivity can be optimized if all concerned are made aware of the need to comply with the conclusions drawn from the test fills. Otherwise, end product control will have to be used with the concomitant decline in productivity, for these arrangements entail verifying the quality of completed lifts with test methods whose efficiency cannot always be guaranteed.

Where procedural control is adopted, trials that ratify process suitability are recommended. As a rule of thumb for rock fills, the verification rates should be as follows (where a lot is defined to be a lift of 5 000 m² or less or a full day's production if under that amount):

- Levelling checks: once every three lifts, before and after the roller pass.
- Wheel track test: once every three lifts.
- Plate bearing test: once every five lifts. To obtain reliable results, the maximum fragment size should not be over 1/5 of the plate diameter.

If procedural control is to be used for random fills, in addition to the foregoing, density must be verified once every three or four lifts.

The testing frequency and trials to be conducted in end product control are clearly specified in PG-3.

As far as test method representativeness and associated specifications are concerned, experience in field tests on this type of fills shows that:

- The settlement values defined for the wheel track test are not difficult to attain either in the core or at the crest.
- Settlement values vary with the materials used, but if the layer is densely compacted after the established number of roller passes, the required 1% of lift thickness can be reached in most cases.
- Significant dispersion is observed in plate bearing test results, and in many of the trials conducted the value laid down in Art. 330.6.5 of PG-3 for the ratio between the two moduli, $K=Ev_2/Ev_1$, is not attained. More than that, the tendency observed for K to rise with Ev_2 denotes that its value is not constant.

Instrument-based monitoring

Fill foundations in road construction must be studied case by case, as in any other manner of foundations, and this calls for a prior survey of the underlying terrain. The foundation design for any embankment must contain an explicit justification of overall structure stability. The design must also include a settlement estimate for embankments resting on potentially or especially hazardous foundations.

ejecución, distribuyéndolo uniformemente por la superficie de la tongada.

Por otro lado, y de modo adicional para detectar zonas de baja compactación o "blandones", resulta muy útil realizar la prueba con supercompactador, como describe el artículo 304 del PG-3.

Resulta eficaz dotar de sobreebanco lateral a las tongadas en ejecución, del orden de 1-2 m, para asegurar la compactación en toda su sección, pudiendo desde las capas superiores recortar este y recuperar parte el material empleado, así como proceder a un tratamiento con tierra vegetal que permita su integración paisajística.

En el caso de rellenos a media ladera, o en uniones con rellenos ya construidos, es fundamental asegurar estos contactos "mordiendo" con la hoja del bulldozer el terreno existente, de forma que se cree un escalonado entre el terreno natural y/o relleno existente, con el nuevo relleno, formando banquetas laterales de anchura superior a los 5 m. Para laderas con inclinaciones superiores al 3(H):1(V), la FHWA⁽⁷⁾ obliga a esta preparación del cimiento. Este tratamiento debe repetirse de forma sistemática en todas las tongadas. Previamente a los escalonados, ha de asegurarse el drenaje de estos contactos, buscando la salida natural de las aguas de la forma que se estime más conveniente (drenes longitudinales/transversales, bases drenantes, mechas, etc.)⁽⁸⁾.

Métodos de control

En el caso del control de procedimiento, la optimización del proceso productivo se lograría si todas las partes que intervienen en el proceso estuviesen concienciadas de la necesidad de cumplir las conclusiones que se obtengan de los tramos de ensayo. En caso contrario, sería obligado proceder al control de producto terminado, lo que genera disminuciones en la producción, por exigir la verificación de las tongadas ejecutadas, mediante ensayos no siempre eficaces para la comprobación de la calidad conseguida.

Adoptado el control de procedimiento, se recomienda la realización de ensayos que ratifiquen la bondad del proceso. De forma orientativa y para los rellenos tipo pedraplén, se estiman adecuadas las siguientes intensidades de verificación (considerando como lote una tongada de dimensión inferior a los 5.000 m², o la fracción diaria construida si es menor a este valor):

- Verificación mediante nivelación de una de cada tres tongadas, antes y después del paso del compactador.
- Verificación mediante el ensayo de la huella, en una de cada tres tongadas.
- Realización del ensayo de carga con placa en una de cada cinco tongadas. Para obtener resultados fiables con este ensayo, es aconsejable limitar el tamaño máximo a 1/5 del diámetro de la placa.

En el caso de rellenos tipo todo-uno, y siguiendo con la presunción de que el control se realiza por procedimiento, además de los ensayos antes mencionados, se podría pensar en verificar las densidades alcanzadas en una de cada tres o cuatro tongadas.

Para el caso de control de producto terminado, las prescripciones en cuanto a lotes y ensayos a realizar, están claramente especificadas en el PG-3.

En cuanto a la representatividad de los métodos de ensayo y de las prescripciones a ellos asociadas, la experiencia en el control de estos tipos de relleno muestra que:

- La condición de asiento establecida para el ensayo de la huella no es difícil de alcanzar, tanto en lo que se refiere a núcleos como a coronación.
- Los valores de asiento, inferiores al 1% del espesor de tongada, varían según los materiales empleados, pero si la capa está bien compactada con las pasadas preestablecidas, se logra obtener en la mayoría de las ocasiones.
- El ensayo de carga con placa, en general arroja resultados dispersos y, en un gran número de las determinaciones que se realizan, no se alcanza la relación entre módulos $K=Ev_2/Ev_1$, establecida en el Art. 330.6.5 del PG-3. Es más, se percibe una tendencia a que aumente el valor de K cuando lo hace el Ev_2 y por tanto no sea un valor constante.

Auscultación

La cimentación de los rellenos en obras de carretera debe estudiarse caso a caso, igual que el resto de las cimentaciones, exigiendo un reconocimiento previo del terreno de apoyo. A su vez, en el Proyecto de la cimentación de cada terraplén debe existir una justificación expresa de la estabilidad global de la obra. El Proyecto debe incluir

Topographic references such as levelling landmarks should be positioned on the crest to verify fill behaviour during construction and post-completion monitoring. In embankments over 10 m high and/or involving large volumes of fill, these references are mandatory and must be supplemented with other instruments such as settlement cells, inclinometers and so on.

Whenever deferred movements perceptible in the carriageway are expected, levelling references must be installed at no greater than 20-m intervals, along with topographic references that can be used to detect horizontal movements with a precision of 5 mm. Collineating road sections that rest on particularly hazardous foundations may be advisable in some cases.

In all cases, a series of instructions for fill inspection and conservation must be formulated for each work, first as an outline in the design stage and in full detail after construction is completed.

6. CONCLUSIONS

The foregoing can be summarized in the conclusions set out below:

- Due to layout limitations in linear works and terrain geology, random and rock fill construction has become standard practice in most earthwork projects.
- The materials used in these fills qualify as "rock", although the gradation requirements are more difficult to meet.
- As a rule, if well built, these structures are of sufficient quality and durability.
- End product control systems are not always sufficiently representative, and on occasion are overly time-consuming. End product control is unfeasible in some cases due to the complexity and cost of the trials to be conducted. Procedural control schemes have been devised to solve this problem.
- The techniques used in procedural control monitor the methods deployed in actual construction and the time needed by machinery to spread and compact lifts, and verify that these values concur with the conclusions drawn from the test fills. The advantage to this method is that it is compatible with a high pace of construction.
- The existing legislation has been adapted to include random fill and update the provisions on rock fill embankments. In both cases, the stipulations include a full description of how to build and use test fills.
- Works must be built in accordance with the test fill results, for the risk involved in deviating from the approved parameters may lead to the appearance of excessive or inadmissible post-construction settlement. More specifically, uncertainty may arise about fill end quality due to insufficient compacting if the rollers used are smaller than specified, which is often the case, or to an excess of voids if the gradation is varied or the lift thickness increased.
- Test fills, which constitute a refinement of construction procedures and assessment, may compensate for possible shortcomings in the General Programme for Materials Control formulated prior to beginning the works.
- As a supplement to the core object of this article, certain recommendations for on-site placement have been put forward based on the experience acquired during the construction and subsequent monitoring of this type of fills.

una estimación de asientos de los rellenos que apoyen en cimientos potencial o especialmente peligrosos. Para verificar el comportamiento de los rellenos, durante la ejecución y hasta su puesta en servicio, es conveniente la colocación de referencias topográficas, tipo hitos de nivelación, en coronación del relleno, además del seguimiento de su evolución con el tiempo. En el caso de rellenos de gran volumen y/o altura superior a 10 m, estas referencias han de implementarse siempre, complementadas con otros métodos de auscultación como son las células de asiento, inclinómetros, etc.

Siempre que se esperen movimientos diferidos apreciables en la calzada, después de su construcción, se deben disponer referencias de nivelación espaciadas no más de 20 m entre sí y una serie de referencias topográficas que permitan detectar movimientos horizontales con precisión de 5 mm. Puede ser conveniente, en algunos casos, disponer la colimación de tramos de carretera apoyados sobre cimientos especialmente peligrosos

En todos los casos, es recomendable elaborar una serie de instrucciones sobre la inspección y conservación de rellenos, particularizada para cada obra, que deben esbozarse en el Proyecto y concretarse al final de la construcción.

6. CONCLUSIONES

A modo de breve resumen de todo lo expuesto anteriormente, son destacables las siguientes conclusiones:

- Debido a las limitaciones de los trazados en obras lineales y a la geología de los terrenos, la realización de rellenos todo-uno y pedraplén es una realidad existente en la mayoría de las obras con movimientos de tierra.
- Los materiales utilizados en estos rellenos, en general cumplen con los requisitos de la calidad de la "roca", siendo de mayor dificultad el cumplimiento con las condiciones granulométricas.
- En general, la respuesta de estas estructuras de tierra, cuando están bien ejecutadas, es de calidad suficiente y duradera en el tiempo.
- Los sistemas de control de producto acabado adolecen en ocasiones de no ser suficientemente representativos y, en otros, necesitan excesivo tiempo en su realización. El control de producto terminado es inviable en algunos casos debido a la complejidad y precio de los ensayos a realizar, por lo que aparece el control de procedimiento.
- El control por procedimiento necesita del apoyo de técnicas que registren de forma real los métodos y el tiempo empleado por la maquinaria en el extendido y compactación de las tongadas, y su coincidencia con las conclusiones obtenidas en los tramos de ensayo. La gran ventaja de este método de control es que permite adaptarse a altos ritmos constructivos.
- La normativa vigente ha evolucionado recogiendo los materiales todo-uno y ha actualizado el artículo de pedraplenes. Ambos artículos recogen, además, una completa descripción de cómo realizar los tramos de ensayo.
- Es sumamente importante ejecutar las obras según los resultados de los tramos de ensayo, minimizando el riesgo que supone desviarse de los parámetros aprobados (incertidumbre sobre la calidad final del relleno, por la falta de compactación si se emplean máquinas más pequeñas, lo que suele ser habitual) o por un exceso de huecos (variación de las granulometrías o empleo de espesores de tongada excesivos) lo que puede concluir en la aparición de asientos posconstructivos excesivos o inadmisibles.
- Los tramos de ensayo, al tratarse de una puesta a punto del procedimiento de ejecución y su posterior valoración constructiva, pueden suplir las posibles carencias de un Plan General de Control de materiales, de los que generalmente se elaboran previamente al inicio de las obras.
- Adicionalmente al desarrollo del objeto central de este trabajo, se han incluido unas recomendaciones de puesta en obra particularizadas a este tipo de rellenos, y basadas en experiencias adquiridas durante su construcción y posterior seguimiento.

7. REFERENCES

- (1) B.O.E. de 11 de junio de 2002. ORDEN FOM/1382/2002, de 16 de mayo, por la que se actualizan determinados artículos del "Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes relativos a la construcción de explanaciones, drenajes y cimentaciones".
- (2) Catálogo de normas UNE. AENOR. 2009 y NLT
- (3) Dirección General de Carreteras MOPU, 1975. "Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes PG-3".
- (4) Dirección General de Carreteras MOPU, Febrero 1989. Terraplenes y pedraplenes.
- (5) F. Fernández de la Llave (2004): "Caracterización geotécnica del Complejo Esquistoso Grauváquico". En V Congreso Geológico de España, Vol. 1(1), 227-230.
- (6) J. J. Tejado Ramos, F. Fernández de la Llave (2004): "Caracterización geomecánica de granitos. Autovía de la Plata. Tramo: Puerto de Béjar - Aldeanueva del Camino". En VI Congreso Geológico de España, Vol. 6(3), 321-324.
- Rodríguez Miranda, M, Gutiérrez Manjón, J "Comportamiento de un pedraplén de 80m de altura para una autopista", Simposio Nacional sobre rocas blandas, Madrid, Noviembre 1976.
- De Justo Alpañés, J, "Auscultación y comportamiento de pedraplenes y presas de materiales sueltos" Simposio sobre Terraplenes, Pedraplenes y otros rellenos, Madrid, 1986, 317-355
- Soriano, A, "Características del comportamiento de terraplenes y pedraplenes" 3er Simposio Nacional de Geotecnia Vial, Vigo 1994, 207-225
- (7) Federal Highway Administration, 2003. "Standard Specifications for Construction of Roads and Bridges on Federal Highway Projects". FP-03.
- (8) "Guía de cimentaciones en obras de carretera", elaborada por la Dirección Técnica de la Dirección General de Carreteras. MFOM, Septiembre 2002.
- Corral, C, Espinos, J, "Construcción y seguimiento de una gran obra de tierra". Cuadernos Intemac. 1992.

7. BIBLIOGRAFÍA

- (1) B.O.E. de 11 de junio de 2002. ORDEN FOM/1382/2002, de 16 de mayo, por la que se actualizan determinados artículos del "Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes relativos a la construcción de explanaciones, drenajes y cimentaciones".
- (2) Catálogo de normas UNE. AENOR. 2009 y NLT
- (3) Dirección General de Carreteras MOPU, 1975. "Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes PG-3".
- (4) Dirección General de Carreteras MOPU, Febrero 1989. Terraplenes y pedraplenes.
- (5) F. Fernández de la Llave (2004): "Caracterización geotécnica del Complejo Esquistó Grauváquico". En V Congreso Geológico de España, Vol. 1(1), 227-230.
- (6) J. J. Tejado Ramos, F. Fernández de la Llave (2004): "Caracterización geomecánica de granitos. Autovía de la Plata. Tramo: Puerto de Béjar - Aldeanueva del Camino". En VI Congreso Geológico de España, Vol. 6(3), 321-324.
- Rodríguez Miranda, M, Gutiérrez Manjón, J "Comportamiento de un pedraplén de 80m de altura para una autopista", Simposio Nacional sobre rocas blandas, Madrid, Noviembre 1976.
- De Justo Alpañés, J, "Auscultación y comportamiento de pedraplenes y presas de materiales sueltos" Simposio sobre Terraplenes, Pedraplenes y otros rellenos, Madrid, 1986, 317-355
- Soriano, A, "Características del comportamiento de terraplenes y pedraplenes" 3er Simposio Nacional de Geotecnia Vial, Vigo 1994, 207-225
- (7) Federal Highway Administration, 2003. "Standard Specifications for Construction of Roads and Bridges on Federal Highway Projects". FP-03.
- (8) "Guía de cimentaciones en obras de carretera", elaborada por la Dirección Técnica de la Dirección General de Carreteras. MFOM, Septiembre 2002.
- Corral, C, Espinos, J, "Construcción y seguimiento de una gran obra de tierra". Cuadernos Intemac. 1992.

Relación de Personal Titulado de INTEMAC

Arquitectos

Benito Díez, María Pilar
Fernández Sáez, Ana María
Fraile Mora, Serafín
González Balseyro, María José
López-Nava Muñoz, Alberto Ignacio
Luzón Cánovas, José M^a
Nieto Esteban, Eva
Sánchez Arroyo, Jesús M^a
Sicilia Mañá, Beatriz
Vergara Pérez, Carlos

Ingenieros Aeronáuticos

Alonso Gordo, Ana
Hernández Pamplona, Juan Vicente
* París Loreiro, Angel
Moreno Toriz, Juan José

Ingenieros de Caminos

Baena Alonso, Eva
* Barrios Corpa, Jorge
Barrios Corpa, Roberto
Brandán Gordillo, Rubén
* 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 Lorenzo, Lucía
Díaz Lozano, Justo
Díaz Pavón Cuaresma, Eduardo
* Fernández Gómez, Jaime Antonio
Fernández Montes, David Constantino
García de Diego Cano, Eva María
González González, Juan José
González Reyero, Carlos
* González Valle, Enrique
* Hostalet Alba, Francisco
* Izquierdo Bernaldo de Quirós, José M^a
Jiménez Ortiz, Gonzalo
León Bello, Raúl
* Ley Urzaiz, Jorge
López Dormal, Mariano
Menéndez Martínez, Laura
Misol Moyano, Carolina
Pérez Blanco, José Luis
Pérez García, Noemí
* Rodríguez Escribano, Raúl Rubén
* Rodríguez Romero, Jesús M^a
Rueda Contreras, Jorge Ladislao
Ruiz Jiménez-Alfaro, Felipe
Sanz Pérez, Lorenzo
Tapia Menéndez, José

Torre Cobo, María Carmen
Valdés Fernández de Alarcón, Pablo
Villanueva Ramírez, Santiago

Ingeniero en Cartografía y Geodesia

López-Canti Casas, Elisa

Ingenieros Civiles

Almeida da Silva, Pedro Miguel
Giarrizzo, Roberto
Teixeira Martins, Hermano Tiago

Ingenieros Geólogos

Catalán Navarro, Antonio
Hernández Alvarez, José Luis

Ingeniero I.C.A.I.

Marín Estévez, Gonzalo

Ingenieros Industriales

* Alvarez Cabal, Ramón Amado
Argüelles Galán, Manuel
Arroyo Arroyo, José Ramón
Bayonne Sopo, Enrique
Borraz López, Alfonso
De la Cruz Morón, Diego
Estrada Gómez, Rafael
Gasca Martínez, Antonio
González Carmona, Manuel
Ibañez Mayayo, Miguel
Liébana Ramos, Miguel Angel
Mainar Durán, Alejandro
Martos Ojanguren, Víctor
Pou Esquiús, Carles
Ramírez de la Pinta, Rubén
Suárez Fernández, Antonio
* Valenciano Carles, Federico

Ingeniero de Minas

Ramos Sánchez, Adelina

Ingeniero de Montes

Carrillo Bobillo, Oliva

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

Licenciada en Ciencias Políticas y de la Administración

Estébanez Morer, Ana María

Licenciados en Ciencias Químicas

Abril Fort, M^a Inmaculada
Grandes Velasco, Sylvia María
López Sánchez, Pedro
Morgado Sánchez, José Carlos

Licenciado en Derecho

Jarillo Cerrato, Pedro

Licenciados en Geología

Blanco Zorroza, Alberto
Casado Chinarro, Alejandro
Catalán Navarro, Antonio
Lara Avila, Carlos
López Velilla, Oscar
Martín López, Jesús Heliodoro
Tello Gay, Marta
Usillos Espín, Pablo

Licenciada en Filología Hispánica

Valentín Sierra, M^a Consuelo

Licenciada en Psicología

Catalá Pellón, Diana

Master of Science in Civil Engineering

Hoogendoorn, Peter Paul

Arquitectos Técnicos

Carrato Moñino, Rosa M^a
Díaz Lorenzo, Lucía
Jiménez Salado, Borja
Montejano Jiménez, María del Carmen
Muñoz Mesto, Angel
Vicente Minguela, Francisco

Ingeniero Técnico Aeronáutico

Mainar Durán, Alejandro

Ingeniero Técnico Forestal

Carrillo Bobillo, Oliva

Ingeniero Técnico en Informática de Gestión

Esteban Pérez, Ramón

Ingenieros Técnicos Industriales

Alcubilla Villanueva, Rubén
Ases Rodríguez, Cristóbal
Jiménez Rodríguez, José Antonio
Madueño López, Javier
Madueño Moraño, Antonio

Moratilla Gómez, José Manuel

Muñoz Gonzalo, Elena

Pérez Berenguer, José Gil

Remacha Mangado, Mikel

Rodríguez Luque, Ana María

Ruiz Rivera, Rafael

Villar Riñones, Jesús

Ingeniero Técnico de Minas

Fernández Terán, Francisco Javier

Sillero Arroyo, Andrés

Ingenieros Técnicos Obras Públicas

Agudo Cordobés, José Manuel

Carrero Crespo, Rafael

González Isabel, Germán

González Nuño, Luis

Llort Mac Donald, Daniel

Martínez Vicente, Cristina

Mata Soriano, Juan Carlos

Montiel Sánchez, Ernesto

Muñoz Mesto, Angel

Muriel León, Carlos

Ortiz del Campo, Natalia

Pardo de Agueda, Juan Luis

Rivera Jiménez, Marta

Romero García, Daniel

Rosa Moreno, José Andrés

Rozas Hernando, José Juan

Sánchez Tomé, Elena

Sanz Ruiz, Idoya

Sillero Olmedo, Rafael

Vicente Girón, Susana

Ingenieros Técnicos Topógrafos

Amador Orenga, Germán

Barragán Bermejo, M^a Vicenta

Carreras Ruiz, Francisco

López de Castro, Daniel

López Jiménez, Luis

Martínez Ochando, Eduardo

Sánchez Martín, María de la O

Torés Campos, Ana M^a

Técnicos en Administración de Empresas

Cebrián Sobrino, M^a José

González del Olmo, M^a 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 2010: 35 €



ÚLTIMOS TÍTULOS PUBLICADOS

Cuaderno N° 74

"Estanqueidad de ventanas".

Autores: José M. Luzón Cánovas,
Serafín Fraile Mora

Cuaderno N° 75

"Varias experiencias de tramos de ensayo en pedraplenes y rellenos todo-uno"

Autor: Francisco Fernández
de la Llave, Juan José González
y J. Andrés de la Rosa

CUADERNOS DE PRÓXIMA APARICIÓN

Cuaderno N° 76

"Tubería de acero para abastecimiento de agua a presión revestida con dado de hormigón armado".

Autores: Rubén Brandán
Gordillo, Daniel Gálvez Cruz

Cuaderno N° 77

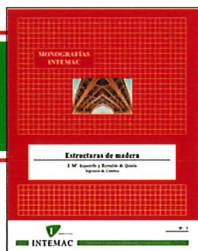
"El muro de contención para el nuevo Museo de Colecciones Reales".

Autores: Alberto Blanco Zorroza
y Roberto Barrios Corpa

Consulte lista completa de la Colección

MONOGRAFÍAS INTEMAC

Publicación de INTEMAC con un carácter eminentemente práctico destinada a tratar temas muy concretos que, o bien presentan un nivel de problemas acusado en la práctica, o bien están insuficientemente cubiertos por la Normativa y la documentación técnica correspondientes.



MONOGRAFÍA INTEMAC N° 5

"Mantenimiento y reparación de paramentos de hormigón".

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

Precio de la Monografía 38 €

MONOGRAFÍA INTEMAC N° 6

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

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

Precio de la Monografía 38 €

MONOGRAFÍA INTEMAC N° 7

"Estructuras de madera".

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

Precio de la Monografía 38 €

NOTAS DE INFORMACIÓN TÉCNICA NIT

Con independencia de la serie de Cuadernos de INTEMAC, de los que se publica un número trimestral, bilingüe en español e inglés, en INTEMAC se producen, con acentuada frecuencia notas de información sobre aspectos concretos que pensamos que no solamente tienen una utilidad interna, sino que pueden resultar interesantes para muchos Técnicos de la Construcción.

Las Notas se envían únicamente por correo (pago por transferencia o tarjeta de crédito).

NIT-5 (06)

Influencia de la oxidación y de las manchas de mortero sobre la adherencia de armaduras de hormigón

J. Calavera Ruiz, A. Delibes, J. M. Izquierdo y
Bernaldo de Quirós, G. González Isabel.

Edición en español, en color. 12 páginas

Precio 14 €



NIT-6 (07)

El previsible descenso de la seguridad en pilares con la entrada en vigor del Eurocódigo EC-2, y la necesidad de un control estricto de la calidad del hormigón en pilares

J. Calavera Ruiz.

Edición en español, en color. 10 páginas

Precio 12 €

VÍDEOS TÉCNICOS Y DVD'S

Fabricación y ensayo de probetas de hormigón.

N° 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 €

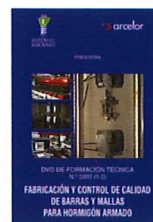


Fabricación y control de calidad de barras y mallas para hormigón armado.

N° 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.

N° 2002 (1-4)

Contempla la rotura de siete pilares a escala real, variando resistencias de hormigón desde 25 Mpa a 70 Mpa, 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.

N° 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 €

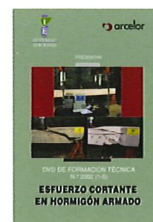


Esfuerzo cortante en hormigón armado.

N° 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 BOLETIN BIBLIOGRAFICO 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 BOLETIN BIBLIOGRAFICO 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) 200 €



Consulte otras publicaciones

www.intemac.es

PUBLICACIONES



Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado

2ª edición (2 tomos)

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 135 €



Fichas de ejecución de obras de hormigón

3ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 68 €



Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón

2ª edición (2 tomos)

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 180 €

Nueva edición



Manual para la redacción de informes técnicos en construcción

2ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 90 €

Nueva edición



Manual de Ferralla

3ª edición

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

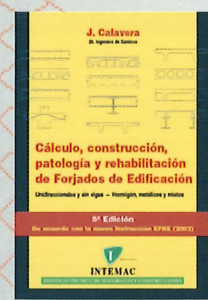
Precio: 45 €



Proyecto de estructuras de hormigón con armaduras industrializadas

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

Precio: 50 €

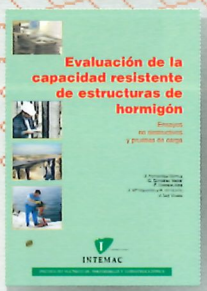


Cálculo, construcción, patología y rehabilitación de forjados de edificación

5ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 113 €



Evaluación de la capacidad resistente de estructuras de hormigón

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

Precio: 64 €

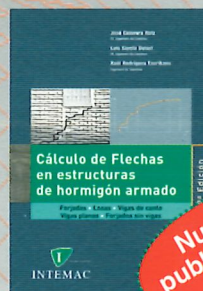


Muros de contención y muros de sótano

3ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 80 €



Cálculo de flechas en estructuras de hormigón armado

2ª edición

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

Precio: 110 €

Nueva publicación



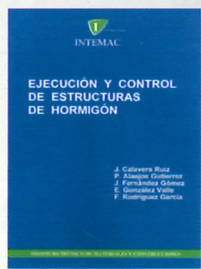
El libro y el CD-ROM pueden adquirirse conjuntamente o por separado.

Software asociado en ficheros de AutoCAD

Manual de detalles constructivos en obras de hormigón armado

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

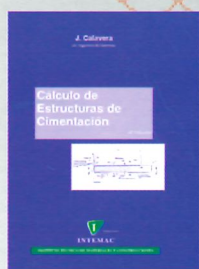
Libro: 123 € CD-ROM: 198 €



Ejecución y control de estructuras de hormigón

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

Precio: 133 €



Cálculo de estructuras de cimentación

4ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

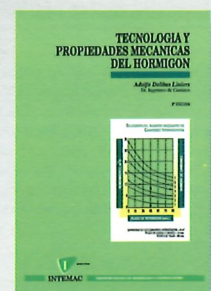
Precio: 80 €



Hormigón de alta resistencia

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

Precio: 47 €



Tecnología y propiedades mecánicas del hormigón

A. Delibes (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 57 €