

Determinación del contenido mínimo en finos con influencia en el hinchamiento de las gravas arcillosas

Determination of Minimum Fine Content With Influence on Swelling of Clay Gravels

José Estaire^{1*}, María Santana²

Resumen

Es sabido que el material con el que se construyen los terraplenes debe tener un mínimo de fracción fina para permitir una compactación adecuada durante su construcción. No obstante, algunos materiales finos son susceptibles de presentar problemas al interactuar con el agua, entre los que cabe mencionar principalmente el aumento en su deformabilidad y la presencia de cambios de volumen, si contienen materiales expansivos.

Teniendo en cuenta esta idea, el problema que se plantea es si es posible determinar un límite en el contenido de material fino existente en el suelo por debajo del cual no se presentan los problemas antes indicados, independientemente de la naturaleza de dichos materiales finos.

Este es el caso, por ejemplo, de las que se suelen denominar como “gravas arcillosas”, es decir, un material con predominancia de tamaños tipo grava inmersos en una matriz arcillosa. Este material es, a priori, de buenas características geotécnicas que, se compacta adecuadamente y proporciona un material muy resistente, poco deformable, poco permeable y poco alterable.

De forma previa a la realización de los ensayos de laboratorio correspondientes a este estudio se ha considerado conveniente realizar una revisión de los manuales y pliegos existentes en España y en otros países relativa a la construcción de rellenos para analizar las características granulométricas que deben cumplir los materiales en función de las diferentes capas que constituyen un relleno.

Los resultados obtenidos mostraron que la presencia de un 15% de finos con muy elevada expansividad en un material granular ha provocado hinchamientos muy inferiores al límite permitido.

Palabras clave: gravas arcillosas, finos, hinchamiento, expansividad, terraplén.

Abstract

It is known that the material used in the construction of embankments should have a minimum of fine contents to allow an adequate compaction. However, some fine materials are susceptible to have problems when interacting with water. Among those problems, it is worth noting the increase in deformability and the possible changes in volume, especially if expansive materials are present.

Taking that idea into account, the matter to be faced is if it is possible to determine a limit in the fine content existing in the construction soil, below it the problems mentioned previously do not appear, regardless the nature of such fine materials.

This is the case, for instance, of the material usually named as “clay gravels” that is a material composed mainly by gravel-sized particles in a clay matrix. This kind of material has, a priori, of good geotechnical properties as it is easily compacted producing, with such compaction, a material with high strength and low deformability, permeability and alterability.

Previously to the test performance, it was made a revision of normative documents existing in Spain and other countries standards relative to the particle size distribution requirements that the construction materials used in the different embankment zones have to fulfill.

The results obtained showed that the presence of 15% of fines with very high expansive potential in a granular material provoked swellings very much inferior to the required limits.

Keywords: clay gravels, fines, swelling, expansivity, embankment.

1. INTRODUCCIÓN

La construcción de rellenos, con materiales y suelos granulares, como apoyo para la ejecución de carreteras y líneas férreas conlleva la caracterización geotécnica de dichos materiales.

Dentro de las especificaciones técnicas para la construcción de terraplenes, tanto en carreteras como en líneas

de alta velocidad, se establecen unos husos granulométricos, entre los que se limita el porcentaje máximo de material de fracción fina.

Si bien es cierto que la presencia de una fracción fina en el material a colocar en el terraplén facilita una correcta ejecución de la compactación, la presencia de una elevada cantidad de material fino puede acarrear otro tipo de problemas. En general, la fracción más fina del terreno está compuesta por materiales arcillosos y limosos. Como es sabido, las arcillas son materiales geotécnicamente problemáticos al depender su comportamiento de la composición mineralógica y de las condiciones geoquímicas y ambientales del medio (González de Vallejo et al. 2002).

* Autor de contacto: jose.estaire@cedex.es

¹ Doctor en Ingeniería Civil. Laboratorio de Geotecnia del CEDEX.

² Geóloga. Laboratorio de Geotecnia del CEDEX.

Dentro de los problemas geotécnicos más habituales de las arcillas se encuentra la posible expansividad de las mismas. Dichos materiales presentan una estructura y fábrica que les permite absorber agua con un consecuente cambio de volumen importante. Los ensayos más habituales para determinar el poder expansivo de los suelos son: ensayo de presión de hinchamiento (UNE 103602), ensayo de hinchamiento libre (UNE 103601) y ensayo Lambe (103600). También es habitual hacer correlaciones cualitativas entre el contenido en finos y/o el límite líquido y el grado de expansividad. (Chen, 1975).

Por otra parte, hay que tener en cuenta, que la construcción de los terraplenes se realiza con materiales con una distribución de tamaños más o menos graduada, en los que se distingue una fracción gruesa y otra más fina. Es, por tanto, importante determinar el porcentaje de material fino que puede llegar a causar problemas geotécnicos en dicha mezcla.

En este trabajo, en primer lugar se hace una recopilación de las especificaciones geotécnicas para la construcción de terraplenes, con el objetivo de identificar los límites de contenido de material fino que admite cada una de ellas. Se piensa que este contenido de finos se ha establecido como el límite por debajo del cual no se esperan problemas de expansividad, independientemente de la capacidad expansiva del material fino. A este respecto, también se presentan los resultados de ensayos de hinchamiento realizados en células Rowe, para determinar el porcentaje de material fino capaz de influir en el comportamiento expansivo de un material formado por gravas en matriz arcillosa.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. PGP 2011 de ADIF

La edición del año 2011 del Pliego de Prescripciones Técnicas Tipo para los Proyectos de Plataforma (PGP-2011) de ADIF establece restricciones en el contenido en finos en algunas de las capas con las que se construyen los terraplenes.

Así, en el caso de los materiales a emplear en el núcleo y coronación de los terraplenes, se establece que: “*Cuando existan condiciones de posible saturación se limitará el contenido de finos*” aunque no se especifica un porcentaje concreto.

Por lo que respecta a los materiales a utilizar en el ciemiento, se indica que el contenido de finos se limita al 15%, en el caso de que existan condiciones de posible saturación.

Por su parte, en los espaldones el porcentaje de finos también se limita al 15% en el caso de que se aprecien problemas de erosión.

Por último, en la capa de forma se limita el porcentaje de material fino al 5%, pudiéndose llegar al 15% si, “en todas las muestras ensayadas, la fracción fina del material cumple simultáneamente que el límite líquido es inferior a 30 y el índice de plasticidad es inferior a 10”.

Por lo que respecta, a la expansividad de los materiales, en este documento se indica que un material es “apto” para la ejecución de terraplenes si el hinchamiento libre medido en célula edométrica, preparado en las condiciones del Proctor Modificado (PM), es inferior a 2%. Esta condición sólo es de aplicación a aquellos suelos cuyo contenido de finos sea superior a 15%.

2.2. PG3 del Ministerio de Fomento

El “Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG3)” del Ministerio de

Fomento contiene especificaciones sobre los materiales a utilizar en terraplenes en su artículo 330 “Terraplenes”.

En dicho artículo, los suelos a emplear en las diferentes capas del terraplén se clasifican en cinco grupos: Seleccionados, Adecuados, Tolerables, Marginales e Inadecuados.

Respecto al contenido de finos, entendidos como las partículas inferiores a 0,08 mm, el PG3 indica que los suelos Seleccionados y Adecuados deben tener un máximo de 25 y 35%, respectivamente, mientras que para el resto de los tipos de suelo no indica ninguna restricción relativa al contenido máximo de finos.

Por lo que respecta, a la expansividad de los materiales, en este documento se indica que un material es “apto” para la ejecución de terraplenes si el hinchamiento libre medido en célula edométrica, preparado en las condiciones del Proctor Normal (PN), es inferior a 3%.

2.3. Recopilación de la PIARC

En este trabajo, también se ha revisado el libro titulado “Limits of use of natural soils, specifications and controls in earthworks”, editado por la Asociación Mundial de Carreteras (PIARC). En este documento se incluye una compilación de los límites granulométricos de uso de los suelos en las obras de tierra de carreteras de los diferentes países miembros de esta organización.

En la tabla 1 se recoge un resumen de lo indicado en el libro relativo al tamaño de partícula a partir del cual se definen los “materiales finos” y el intervalo de valores de dichos “finos” que se pueden emplear como máximo para la construcción de los terraplenes en cada país.

Tabla 1. Tamaño máximo que define los finos e intervalo porcentual de empleo en cada país

País	Tamaño de “finos”	Contenido máximo de “finos”(%)
Alemania	63 µm	5-40
Bélgica	63 µm	10
Canadá	80 µm	50
Cuba	75 µm	50
España	80 µm	25-35
Francia	80 µm	12-35
Inglaterra	63 µm	15-80
Italia	75 µm	15-35
Japón	74 µm	50
Portugal	75 µm	50
Suiza	63 µm	50
Virginia (USA)	75 µm	35-50

El análisis de la tabla permite realizar los siguientes comentarios:

- La clasificación de suelos no es universal ya que existen diferentes sistemas de clasificación y cada país adopta un sistema que determina la clasificación de los suelos y su posible uso. Una de las diferencias de estos sistemas de clasificación es el límite del material que se considera “fino” que queda comprendido mayoritariamente entre 63 y 80 mm.

- El rango del contenido de finos que delimitan el uso de los suelos en cada uno de los países también es bastante amplio, quedando englobado entre el mínimo del 5% de Alemania y el 80% de Inglaterra.
- La franja intermedia de valores se encuentra situada entre el 15% y el 50%, coincidiendo el límite inferior del 15% con el empleado en el pliego de ADIF en España.
- Como se observa de la recopilación anterior, la mayoría de las normativas indican que el contenido de finos mínimo que se puede usar para la construcción de terraplenes es superior al 15%.

Por otra parte, en el documento del PIARC también se hace una revisión del máximo contenido de finos permitido en aquellas zonas que son susceptibles de estar en contacto con el agua del terreno o sufrir saturación que, de forma general, pueden establecerse que son el cimiento, las tongadas inferiores del núcleo, los espaldones y la capa de forma y coronación.

A este respecto, el documento del PIARC clasifica los suelos, en función de su comportamiento frente al agua, como:

- Suelos “limpios” (“clean soils”): aquellos que son poco o nada sensibles al agua.
- Suelos “intermedios” (“intermediate soils”): aquellos que presentan un buen comportamiento cuando el contenido de humedad es adecuado, pero sensibles a las variaciones de dicha humedad. Estos suelos son adecuados para ser mejorados mediante tratamientos.
- Suelos “arcillosos y limosos” (“clayey and silt soils”): su comportamiento está determinado por su abundante fracción fina.

En la tabla 2 se recoge el contenido límite de finos que sirve para definir los distintos tipos de suelos en cada país, entendiendo que aquellos suelos que presenten un porcentaje de finos superior al establecido para los suelos “intermedios” son clasificados como suelos “arcillosos y limosos”.

Tabla 2. Cuadro incluido en el documento de PIARC que clasifica a los suelos según su sensibilidad al agua en función del porcentaje de finos

País	Contenido máximo de finos (%)	
	Suelos “limpios”	Suelos “intermedios”
Alemania	5	40
Bélgica	10	-
Canadá	-	50
Cuba	-	50
España	25	35
EEUU	-	35(50)
Francia	12	35
Inglaterra	15	80
Italia	10/15	35
Japón	-	50
Portugal	-	50
Suiza	3	50

Como se observa en la tabla anterior, los límites del contenido en finos varían de unos países a otros. Así, la clasificación de suelos “limpios” está comprendida entre el

3% de Suiza y el 25% de España. Los límites especificados para España coinciden con los indicados para los suelos “Seleccionados” y “Adecuados”, respectivamente.

2.4. Resumen de la revisión de la normativa

Como resumen de la revisión de la normativa relativa al contenido de finos capaz de plantear problemas por su interacción con el agua, se pueden establecer los siguientes puntos:

- El pliego de ADIF marca un máximo de contenido de finos del 15% para aquellas capas en las que se prevea la interacción con el agua. En la capa de forma este límite se llega a rebajar hasta el 5%.
- El pliego de carreteras (PG3) indica que los suelos seleccionados y adecuados deben poseer menos del 25% y del 35% de finos respectivamente. También se hace referencia a que en aquellos casos en los que las capas del terraplén puedan estar afectadas por el agua se deberá restringir el porcentaje de finos, pero sin indicar un valor concreto.
- El documento de la asociación internacional de carreteras (PIARC) indica que los suelos “limpios” son aquellos que no se ven afectados al interaccionar con el agua. El contenido máximo de finos que definen estos suelos “limpios” está comprendido en un rango muy amplio, entre 3% y 25% en función de cada país.

3. ENSAYOS REALIZADOS

3.1. Equipo empleado

Los ensayos que se han realizado para dilucidar el contenido de finos que influye en la capacidad de hinchamiento de un suelo granular son ensayos de hinchamiento libre, realizados en células Rowe de 10 pulgadas de diámetro (254 mm), para permitir así que el tamaño máximo del suelo a ensayar sea de hasta 20 mm. En la figura 1 se muestra una imagen de dicha célula Rowe.



Figura 1. Célula Rowe empleada en los ensayos.

Estos equipos permiten medir la deformabilidad vertical confinada del material ensayado. Este ensayo se encuentra normalizado por la normativa británica B.S. 1377:Part 6:1990.

El resultado que se obtiene con este ensayo es una curva en la que se representa el porcentaje de hinchamiento libre que experimenta la muestra a lo largo del tiempo.

3.2. Materiales ensayados

En este trabajo se han realizado los ensayos de hinchamiento en célula Rowe con unas muestras "artificiales", obtenidas como mezcla de unas gravas arenosas (inertes frente a los fenómenos de hinchamiento) y unas arcillas de elevada expansividad.

Estas mezclas cumplen los requisitos granulométricos exigidos a los materiales con los que se ejecutan las capas de forma de los terraplenes de alta velocidad (PGP 2011).

3.2.1. Gravas arenosas

Estos materiales están constituidos por unas gravas de origen mayoritariamente cuarcítico, englobadas dentro de una matriz arenosa. Las muestras se han recogido en un

préstamo de una obra de una línea de alta velocidad que discurre por la zona de Tierra de Campos (Palencia).

En la figura 2 se muestra el aspecto de este material, una vez en laboratorio.



Figura 2. Aspecto de las gravas arenosas.

La curva granulométrica de la muestra se representa en la de la siguiente figura.

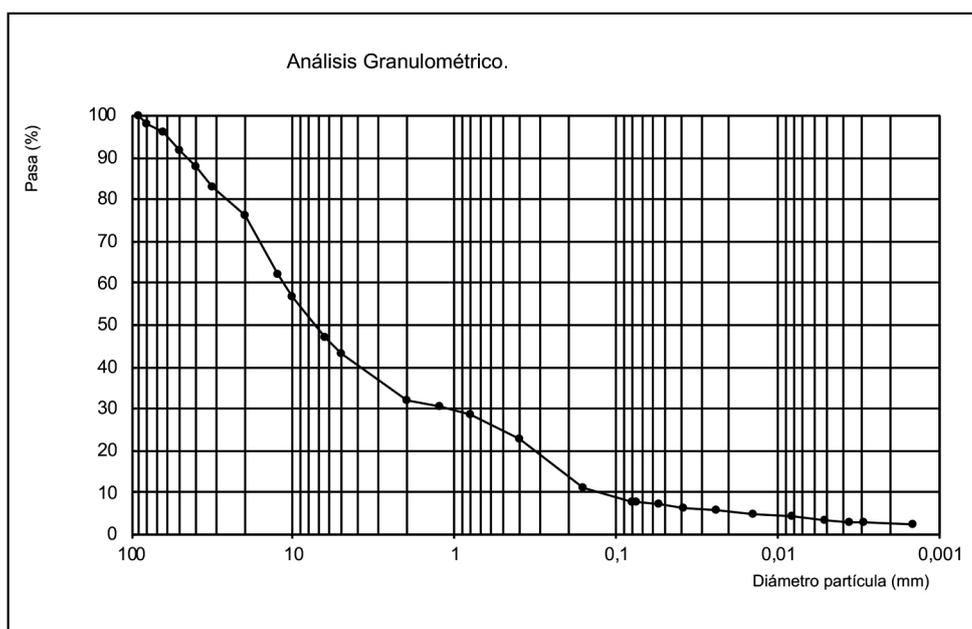


Figura 3. Curva granulométrica de las gravas.

La clasificación por tamaños de la muestra es la siguiente:

- Gravas (tamaños comprendidos entre 2 y 64 mm): 57%
- Arenas (tamaños comprendidos entre 2 y 0,08 mm): 35%
- Limos y arcillas (tamaños inferiores a 0,08mm): 8%

Atendiendo a la clasificación del sistema unificado de suelos (USCS) esta muestra se define como una grava arcillosa bien graduada (GW-GC).

Esta muestra podría ser empleada en las capas de forma de una plataforma ferroviaria, ya que cumple todas las condiciones granulométricas indicadas en los apartados anteriores.

3.2.2. Arcillas de elevada expansividad

Se trata de dos muestras arcillosas, de color verde grisáceo y rojizo, respectivamente. Estas arcillas se han extraído de un desmante de la tramo Peña de los Enamorados – Archidona de la línea de alta velocidad Bobadilla – Granada, cuya imagen se recoge en la figura 4.

En la figura 5 se muestran fotografías de detalle de estas muestras.

Se han realizado ensayos de granulometría y de determinación de los límites de Atterberg en ambas muestras arcillosas. En la figura 6 se muestran las curvas granulométricas obtenidas con ambas muestras.

Se puede observar que las curvas granulométricas son muy semejantes entre sí y que el contenido de finos en ambas muestras es superior al 90% de los que,



Figura 4. Localización del muestreo de las arcillas.



Arcilla roja en afloramiento



Arcilla verdosa (M-6707)

Arcilla rojiza (M-6708)

Figura 5. Aspecto de las arcillas de alta expansividad.

aproximadamente un 35% son limos y más de un 55% son arcillas.

Por su parte, en la tabla 3 se indican los valores de los límites de Atterberg determinados en ambas muestras.

Tabla 3. Valores de los límites de Atterberg para las muestras arcillosas

Límites de Atterberg	Arcilla verdosa	Arcilla rojiza
Límite líquido (%)	45	52
Límite plástico (%)	24	32
Índice plasticidad (%)	21	20

Atendiendo a la clasificación del sistema unificado de suelos (USCS) las muestras ensayadas pueden definirse como:

- Arcilla verdosa: Arcilla de baja plasticidad (CL).
- Arcilla rojiza: limo de alta plasticidad (ML).

Hay que destacar que los valores de límites de Atterberg obtenidos en ambas muestras superan los límites establecidos en el pliego para su empleo en las capas de forma, donde se indica que el límite líquido debe ser inferior a 30 y el índice de plasticidad debe ser inferior a 10. De esta manera se asegura que el material fino que va

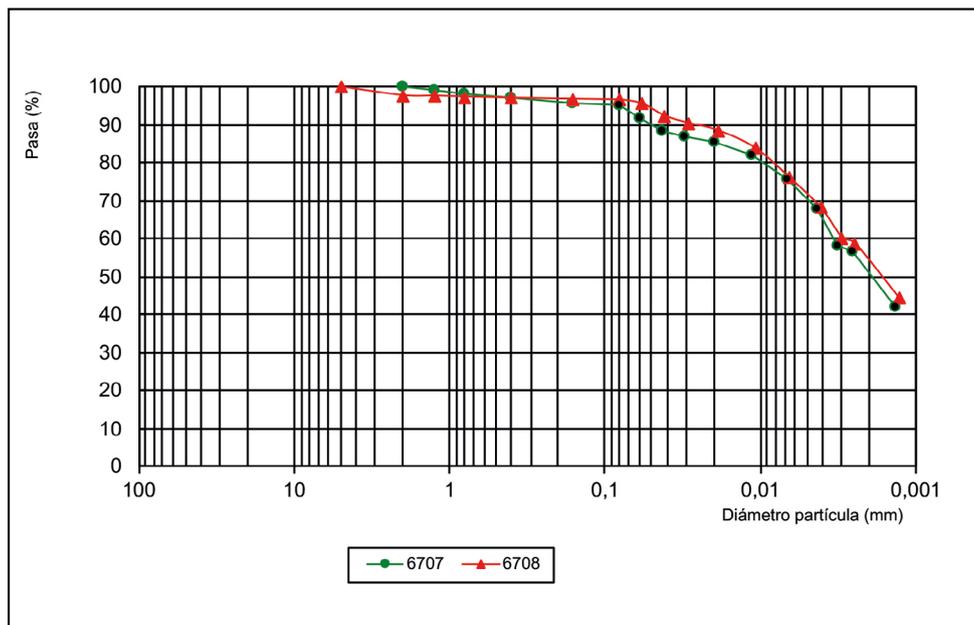


Figura 6. Curvas granulométricas de las arcillas utilizadas en este estudio.

a constituir la capa de forma “artificial” es por sí solo inadecuado.

Con el objetivo de valorar el poder expansivo de las muestras arcillosas, se han realizado ensayos de presión de hinchamiento e hinchamiento libre. Hay que indicar que las pastillas para estos ensayos han sido preparadas con las condiciones de compactación obtenidas del ensayo del Mini Próctor Modificado. Se ha optado por emplear este método de compactación, que no está normalizado, por la experiencia previa del Laboratorio de Geotecnia en este tipo de materiales en los que los datos del Próctor Modificado eran de difícil interpretación debido a la dificultad de manejo de la humedad de las muestras.

En la tabla 4 se muestran los valores de densidad seca máxima y humedad óptima obtenidos en los ensayos para cada una de las muestras.

Tabla 4. Resultados del Mini Próctor Modificado

Muestra	$\gamma_{dm\max}$ (g/cm ³)	W_{opt} (%)
Arcilla verdosa	1,88	10,0
Arcilla rojiza	1,79	13,0

Los resultados obtenidos en los ensayos de hinchamiento libre y presión de hinchamiento de las muestras se recogen en la tabla 5.

Tabla 5. Resultado de los ensayos de hinchamiento

Muestra	Hinchamiento libre (%)	Presión de hinchamiento (kPa)
Arcilla verdosa	12	180
Arcilla rojiza	17	380

Puede observarse que las arcillas rojizas presentan una expansividad mayor, coincidente con valores mayores de los límites de Atterberg. Tras los ensayos de hinchamiento libre las muestras se cargaron progresivamente hasta llegar al volumen inicial. Por su parte, al finalizar los ensayos de presión de hinchamiento se ha procedido a la descarga escalonada de las muestras hasta una presión nula. Estos procedimientos permiten visualizar más detalladamente el diferente comportamiento de las muestras arcillosas en función del ensayo de hinchamiento empleado.

En la figura 7 se muestran las curvas obtenidas durante las descargas de la presión de hinchamiento y la carga tras el hinchamiento libre para ambas muestras. En color verde y con leyenda de cuadros se muestran los resultados obtenidos para la muestra de arcilla verdosa, y en color rojo y con leyenda de triángulos los resultados de la muestra de arcilla rojiza.

En la gráfica anterior se observa que la evolución del hinchamiento con la presión vertical aplicada en ambas muestras en el ensayo de hinchamiento libre es más significativa que la obtenida mediante el estudio de la evolución de los ensayos de presión de hinchamiento. Esto es debido a que la expulsión de agua, una vez que el material la ha tomado durante el ensayo de hinchamiento libre, requiere más energía que la necesaria para entrar en la estructura del suelo si éste todavía está ávido de humedad, al ser alta su succión.

El grado de expansividad de un suelo puede estimarse tanto a partir de parámetros característicos del suelo, (porcentaje de finos y límite líquido), como a partir de los propios ensayos de hinchamiento (hinchamiento libre y presión de hinchamiento). Por tanto, atendiendo a los criterios bibliográficos, estas arcillas pueden clasificarse, como de “Expansividad Muy Alta” (Grado IV), si bien, algunos de los indicadores, sobre todo en la muestra de arcilla verdosa, indican grados algo menores de expansividad.

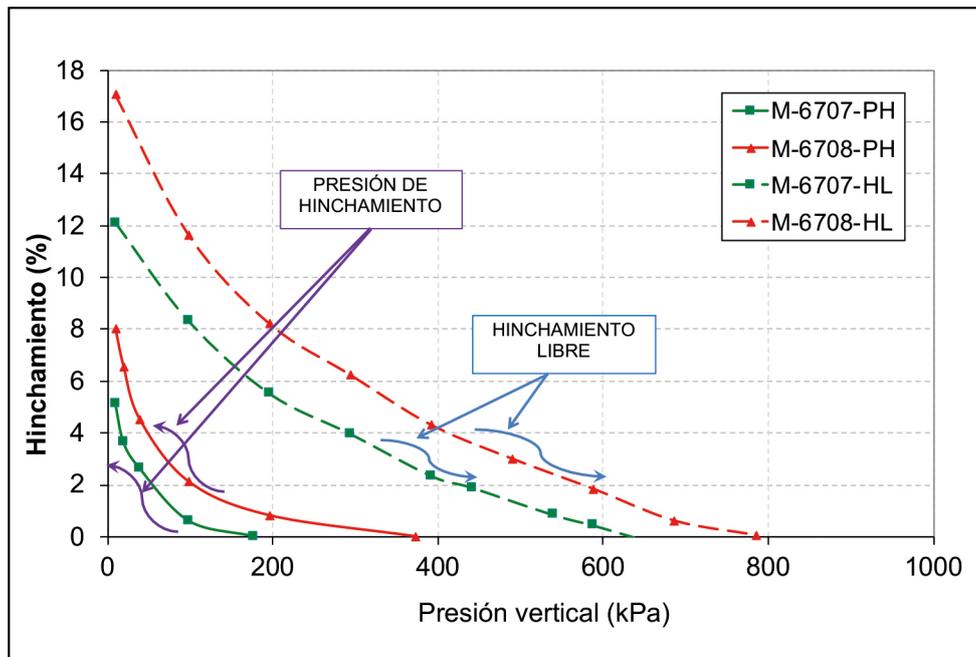


Figura 7. Curvas de la evolución de la presión de hinchamiento en el proceso de descarga y de la evolución del hinchamiento libre en el proceso de carga.

3.2.3. Muestras “artificiales”

Bajo esta denominación se encuentra el material fabricado en el laboratorio mediante las mezclas, en diferentes proporciones, de las gravas arenosas y las arcillas de alta expansividad. Estas muestras son las que se han ensayado en la célula Rowe para determinar su hinchamiento libre.

En los siguientes puntos se indican los pasos seguidos para preparar las muestras “artificiales”:

- Primero se procedió a eliminar la fracción fina de la muestra, para lo cual el material se tamizó por el tamiz de 2 mm de la UNE-EN 103101. En la figura 8 se muestra el aspecto de la fracción fina eliminada de las gravas.
- A continuación se mezclaron las gravas así preparadas con 15% y 25% en peso de una de las arcillas, por lo que se llevaron a cabo las siguientes cuatro mezclas.



Figura 8. Aspecto de la fracción fina eliminada de las gravas.

Tabla 6. Porcentaje de material utilizado en cada mezcla a ensayar respecto del total en peso

Muestra	Grava arenosa (%)	Arcilla verdosa (AV) (%)	Arcilla rojiza (AR) (%)
Grava+15% AV	85	15	---
Grava+25% AV	75	25	---
Grava+15% AR	85	---	15
Grava+25% AR	75	---	25

En las figuras 9 y 10 se muestra, a modo de ejemplo, el aspecto y la curva granulométrica obtenida con la mezcla de las gravas y las arcillas verdosas en una proporción del 85% y el 15%, respectivamente.



Figura 9. Aspecto de las gravas mezcladas con arcilla (Grava + 15% AV).

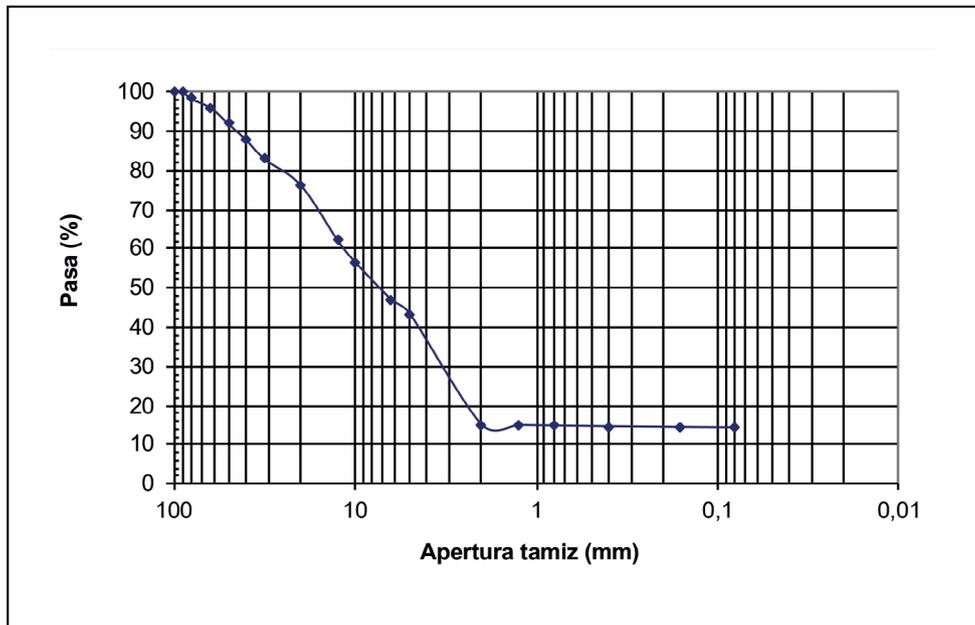


Figura 10. Curva granulométrica de la muestra artificial (Grava + 15% AV).

4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

Las muestras resultantes de la mezcla de las gravas arenosas con las arcillas se han ensayado en la célula Rowe para determinar el hinchamiento libre que experimentan al ser saturadas. Las condiciones en las que se prepararon las muestras (densidad seca y humedad, relativas al ensayo Próctor Modificado), así como los valores de hinchamiento libre obtenidos en célula Rowe se recogen en tabla 7 y se grafican en la figura 11, en función del contenido de finos.

Tabla 7. Valores de hinchamiento libre obtenidos en la célula Rowe

Muestra	γ_{dmax} (g/cm ³)	W_{opt} (%)	Hinch libre (%)
Grava+15% AV	2,13	6,9	0,13
Grava+25% AV	2,07	7,8	0,68
Grava+15% AR	2,14	7,8	0,34
Grava+25% AR	2,01	9,6	1,28

Como se observa en los datos numéricos y en la figura 11, los valores de hinchamiento libre obtenidos son lógicamente más elevados cuando se emplea, en las mezclas, la arcilla rojiza de mayor poder expansivo, y también más elevados cuanto mayor es el contenido de finos. Por otra parte, los hinchamientos son inferiores al 0,4%, para un contenido de finos del 15% y entre 0,7 y 1,3%, cuando el contenido en finos sube hasta 25%. La valoración de estos resultados se debe hacer teniendo en cuenta que las arcillas empleadas tenían hinchamientos libres de 12 y 17%.

Por otra parte, todos estos valores son inferiores al 2% de hinchamiento libre especificado en el PGP de ADIF.

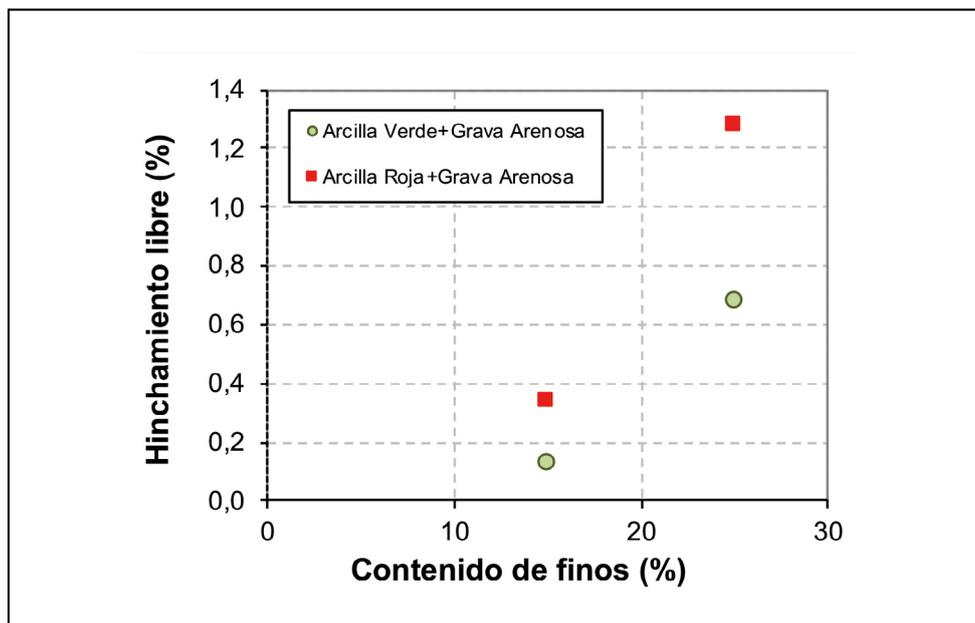


Figura 11. Valores de hinchamiento libre en función del contenido de finos.

5. CONCLUSIONES

Es posible afirmar que la presencia de un 15% de finos con elevada expansividad en un material granular ha provocado hinchamientos muy inferiores al límite permitido.

Ello permite considerar que dicho valor del 15% es adecuado como valor límite del contenido máximo de finos que asegura que no se producen problemas de expansividad en cualquier tipo de material.

A este respecto, el límite del 15% de finos para el material a utilizar en capa de forma se justifica plenamente.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiera sido posible sin la aportación de los miembros de ADIF y colaboradores a lo largo de los dos años que duró el proyecto: Luis Serrano, Mario Robles, Francisco Cabrera, José J. Navarro, Aitor Fajardo, Raimundo Angosto, Juan J. Encinas, Eusebio Nestares, Jesús M. Ortega, José L. Torres-Baptista, Rodrigo Sánchez, Miguel Rodríguez, Adelardo Martín de la Vega, Luis Quero, Juan C. Monge, Luis Sopena y Ángel Sampedro.

7. BIBLIOGRAFÍA

Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF). *Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares para los Proyectos de Plataforma* (PGP-2011).

AENOR. UNE 103600 (1996). *Determinación de la expansividad de un suelo mediante el aparato Lambe*.

AENOR. UNE 103601 (1996). *Ensayo del hinchamiento libre de un suelo en edómetro*.

AENOR. UNE 103602 (1996). *Ensayo para calcular la presión de hinchamiento de un suelo en edómetro*.

Chen, F.H. (1975). *Foundation on Expansive Soils*. Ámsterdam: Editorial Elsevier Scientific Publishing Company.

González de Vallejo, L.I., Ferrer, M., Ortuño L., Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Editorial Prentice Hall.

Ministerio de Fomento (2017). *Pliego de Prescripciones Técnicas generales para obras de carreteras y puentes* (PG3). Artículo 330: Terraplenes.

Technical Committee 12 Earthworks, Drainage, Subgrade (2003). *Limits of use of natural soils, specifications and controls in earthworks*. Editorial PIARC-World Road Association.