



NOTA TÉCNICA N° 01

NT ANTER 01/2022 | ENSAYO DE CARGA CON PLACA EN
SUELOS ESTABILIZADOS IN SITU

AUTORES

La Nota Técnica n° 01 ha sido redactada por el grupo de trabajo de ANTER dirigido por Ángel Sampedro, Prof. Dr. de Ingeniería de Carreteras en la Universidad Alfonso X el Sabio (UAX).

El contenido de este documento no podrá ser reproducido, ni total ni parcialmente, sin el permiso expreso de sus autores.

ANTER



+34 91 442 93 11



gerencia@anter.es



www.anter.es



José Abascal, 53, 1°
28003 – Madrid (España)

INTRODUCCIÓN Y OBJETO

La presente nota técnica tiene por objeto complementar el conocimiento existente para ayudar a resolver las incertidumbres que pueden surgir durante la realización del ensayo de carga con placa para el control de las capas con suelos estabilizados y en la posterior interpretación de los resultados obtenidos.

Aunque ya se tiene mucha experiencia en la aplicación de estas técnicas en España en cualquier tipo de infraestructura (carreteras, aeropuertos, ferrocarriles, campos solares, puertos, urbanizaciones, polígonos y caminos), se considera necesario realizar una serie de aclaraciones sobre los resultados obtenidos tras la realización de los ensayos correspondientes para evaluar la compactación final y la capacidad de soporte de las capas estabilizadas.

DEFINICIONES

Los **suelos estabilizados in situ** se ejecutan mediante la realización de la mezcla homogénea y uniforme de un suelo o material con un conglomerante, del tipo cal o cemento, agua y aditivos, con el objeto de mejorar sus características. Esta mezcla, realizada sobre la propia traza (*in situ*) o en una zona próxima (*ex situ*), convenientemente compactada, se utiliza en la formación de rellenos tipo terraplén, capa de forma y subbalasto, coronación y explanadas, bases de firmes, y otras zonas especiales (cuñas de transición, taludes reforzados, fondos de desmonte, etc.).

Esta técnica permite, por un lado, la reutilización de muchos tipos de suelos “especiales” o “marginales” en las propias infraestructuras y, por otro lado, la mejora de cualquier tipo de material para su empleo en capas de mayor resistencia, implicando menores espesores y una mayor durabilidad.

Para evaluar la resistencia, densidad y capacidad de soporte de los suelos estabilizados in situ, como control de producto terminado y puesto en obra, se recurre al **ensayo de carga vertical de suelos mediante placa estática**, denominado también ensayo de carga con placa, que consiste en medir el desplazamiento vertical de un punto de la superficie del suelo situado bajo el centro de una placa circular rígida (metálica), sometida a dos ciclos de carga predefinidos, lo cual permite determinar la curva carga-asiento y, a partir de ella, los *módulos de deformación vertical* (E_v) y de *reacción* (K_s) del suelo.

Este último, el módulo de reacción de un suelo, también denominado *coeficiente de balasto*, define la elasticidad del suelo, se determina a partir de la curva carga-asiento obtenida en el primer ciclo de carga, y no debe confundirse con la *relación de módulos de deformación vertical* (E_{v2}/E_{v1}), que suele denominarse con la letra K.

Con la obtención del módulo de deformación o compresibilidad del segundo ciclo del material (E_{v2}) se evalúa el grado de compactación alcanzado y la resistencia final de la capa ejecutada con este.

Y además se calcula la relación entre los módulos (E_{v2}/E_{v1}) para comprobar la compactación del material, fijando un valor límite de esta. Se supone que si esta relación tiene un valor elevado puede deberse a que durante el primer ciclo se han producido grandes desplazamientos debido a una compactación deficiente, y cuando se aplica la carga en el segundo ciclo sobre el material ya compactado por la carga del primero el desplazamiento es muy inferior, obteniéndose así un valor del E_{v2} mucho mayor que el de E_{v1} .

Se trata de un ensayo muy útil pues al ser un “control de producto terminado” permite comprobar el estado de las capas ya ejecutadas y, además, ayuda a detectar problemas en capas inferiores. Los valores obtenidos también pueden servir para calcular las cimentaciones necesarias para el soporte de estructuras, y para dimensionar firmes en carreteras y aeropuertos.

Sin embargo, se trata de un ensayo lento (entre 2-4 horas), con un coste elevado y que debe realizarse con mucho cuidado, además de las incertidumbres que pueden presentarse en la interpretación de los resultados obtenidos, motivo de la redacción de esta nota técnica.

ESPECIFICACIONES

Aunque hay otras normativas y recomendaciones específicas, la mayor parte de los proyectos y obras con estabilizaciones de suelos se atienen a lo especificado en el *Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG-3)* del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA).

En su artículo 512 “Suelos estabilizados in situ”, según sus características resistentes, se establecen tres tipos de suelos estabilizados, denominados S-EST1, S-EST2 y S-EST3. Los dos primeros pueden ser considerados como suelos mejorados, y el tercero pasa a convertirse en un suelo de gran resistencia que se emplea para la capa superior de las secciones que forman la explanada tipo E3, la de mayor capacidad estructural que se contempla en la normativa española.

En las especificaciones de la unidad terminada se establecen unos valores relativos al ensayo de carga vertical de suelos mediante placa estática, realizado según la norma UNE 103808, definidos en la tabla 512.7, que se muestran a continuación.

Tabla 1: Módulos de deformación vertical en suelos estabilizados in situ (PG-3).

Tipo de capa	Módulos de deformación vertical	Tipo de suelo estabilizado		
		S-EST1	S-EST2	S-EST3
Explanada	E_{v2} (MPa)	≥ 60	≥ 120	≥ 300
	E_{v2}/E_{v1}	$< 2,2$		
Relleno tipo terraplén	E_{v2} (MPa)	≥ 60		
	E_{v2}/E_{v1}	$< 2,2$		

Es muy importante tener en cuenta también el resto de consideraciones que se establecen en el mismo apartado del artículo 512 del PG-3, pues muchas veces estas son suficientes para despejar cualquier incertidumbre, y son las siguientes:

- El diámetro de la placa utilizada debe ser siempre, como mínimo, el de 300 mm, y al menos cinco veces superior al tamaño máximo del material estabilizado.
- En las capas para la formación de explanadas, el ensayo de carga con placa debe realizarse entre los 14 y 28 días desde su ejecución.
- El Director de las Obras puede tomar la decisión de sustituir este ensayo por otro procedimiento de control de mayor fiabilidad o rendimiento para el caso particular siempre que se haya podido correlacionarlos de forma contrastada en el tramo de prueba, cuya realización también viene fijada en el artículo 512.

Para el caso de plataformas ferroviarias, ADIF (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias) establece las especificaciones técnicas para la ejecución de suelos estabilizados in situ en el *Pliego de prescripciones técnicas tipo para los proyectos de plataforma (PGP-2011)*, en los artículos G0107 Subbalasto, G0112 Tratamiento “in situ” de suelos con cal y G0113 Cuñas de transición.

Estas especificaciones solo se emplean en los proyectos y obras de plataformas ferroviarias, y de ellas se hablará en el siguiente capítulo, pues en su aplicación se reducen las incertidumbres analizadas en esta nota técnica.

Además de la norma UNE 103808 para la realización del ensayo de carga vertical de suelos mediante placa estática, muchos autores siguen citando la anterior norma, la NLT-357/98 “Ensayo de carga con placa”, que es la que sigue siendo prescrita en el vigente artículo 330 “Terraplenes” del citado PG-3.

A nivel internacional, cabe destacar las normas ASTM E2835-11 “Standard Test Method for Measuring Deflections using a Portable Impulse Plate Load Test Device” y DIN 18134 “Soil – Testing procedures and testing equipment – Plate load test”.

ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRES

Es frecuente que en las obras de estabilización de suelos se presenten problemas para el cumplimiento de la especificación relativa a la relación de módulos entre el segundo y primer ciclo de carga: $K = E_{v2}/E_{v1} < 2,2$.

Sin embargo, no suele haber problemas con los valores de los módulos de deformación obtenidos, pues la mezcla de los suelos con el conglomerante adecuado (cal o cemento) incrementa su resistencia de forma apreciable.

Esta problemática ha sido analizada por los principales autores desde las primeras obras de estabilización de suelos que se vienen realizando en España desde el año 1994, experiencias que permitieron que en el PG-3 y resto de normativa se empezaran a contemplar estas técnicas, tanto para el aprovechamiento de los materiales marginales o especiales, como para el empleo de suelos estabilizados in situ en la formación de explanadas.

Así, por ejemplo, en las obras de construcción de la Autovía M-45 en Madrid, a finales de los noventa, se ejecutaron muchos tipos de estabilizaciones de suelos, algunas muy complejas e innovadoras para la época, como fue el caso del aprovechamiento de las “peñuelas grises” y “arcillas sepiolíticas” mediante su estabilización con cal (Oteo, 2007).

Tras los ensayos de carga con placa se obtuvieron valores del módulo E_{v2} muy elevados, tanto a las 24 horas como a los 7 días, pero con una relación K entre módulos (E_{v2}/E_{v1}) muy altas también, con valores entre 4,0 y 6,9, muy superiores al límite de 2,2.

El mismo autor (Oteo, 2007) analizó varias obras de estabilizaciones de suelos, todas ellas con resultados satisfactorios y controladas mediante varios ensayos debidamente correlacionados, y pudo comprobar que en gran parte de ellas (Madrid, Andalucía, Castilla y León, etc.) no se cumplía el requisito de $E_{v2}/E_{v1} < 2,2$.

Las razones sobre las que coinciden los autores que lo han analizado son que el valor límite de la relación de módulos establecido en 2,2 fue fijado hace muchos años, más de 35, en base a estudios basados en materiales distintos a los que suelen requerir la estabilización.

Antes de la norma NLT 357 solo existían normas sobre este ensayo en Alemania (DIN 18134) y Suiza (SNV-40317 y STB-59), y los ensayos para determinar el valor de K se realizaron sobre materiales suizos, pues fueron estos los primeros en normalizar este ensayo tal como hoy se contempla. Estos suelos, probablemente, eran de unas características geotécnicas “buenas o nobles”, y no se contemplaron suelos “marginales o especiales”, ni tampoco materiales estabilizados, lo cual hace que aquellos sean poco representativos de estos.

Los mismos autores llevan años reconsiderando este criterio, proponiendo unos valores límite de E_{v2}/E_{v1} mayores en función del valor del módulo del segundo ciclo de carga, tal como se representa en la siguiente figura.

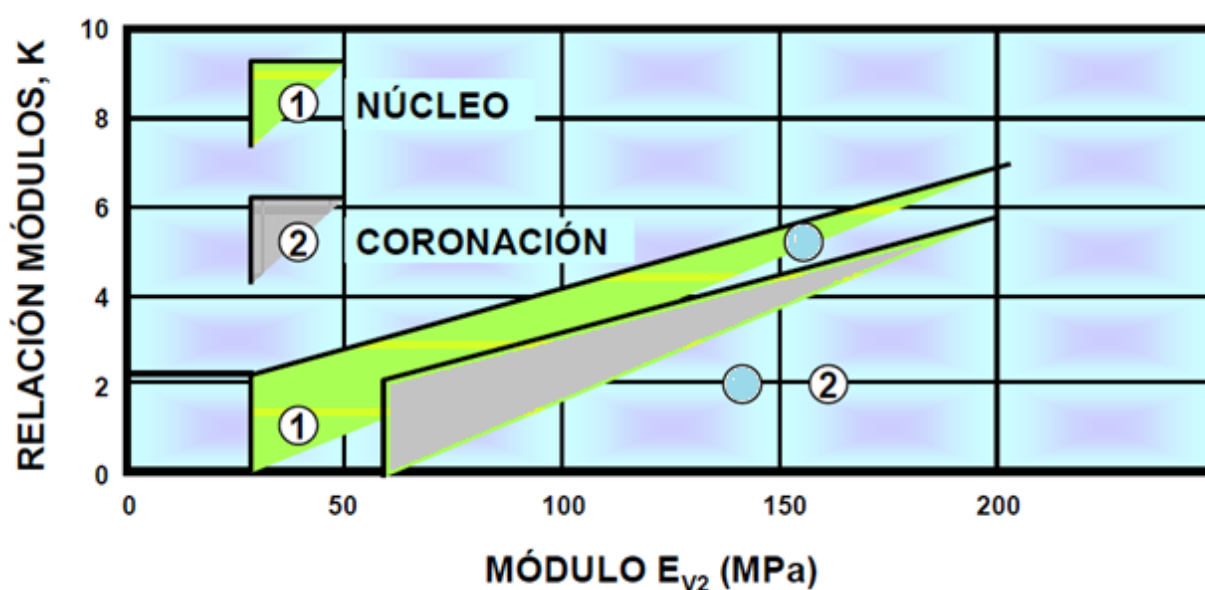


Figura 1: Propuesta de valores de relación de módulos (Fuente: Oteo, 2011).

Otra solución ante estas incertidumbres está vigente en España desde el año 2011, y es la planteada por ADIF en los artículos ya citados G0107 "Subbalasto", G0112 "Tratamiento in situ de suelos con cal" y G0113 "Cuñas de transición", del *Pliego de prescripciones técnicas tipo para los proyectos de plataforma (PGP-2011)*.

En estos, cuando se establece el control durante la puesta en obra se especifica que la relación E_{v2}/E_{v1} no debe ser superior a 2,2 siempre que $E_{v1} < 60\%$ de E_{v2} . Esta especificación adicional, muy importante, proviene de la normativa alemana relativa al ensayo, estando ya fijada en la norma anterior a la actual DIN 18134, que era la norma ZTVE STB/59 (Crespo, 1997).

En caso contrario, la relación de módulos K no se considera. De esta forma, se dejan fuera de esta especificación aquellos casos que, como ya se ha dicho, no se ajustan a los parámetros sobre los que fue desarrollada en su día la primera norma en la que fue establecido el valor límite de 2,2.

Por último, otra de las incertidumbres que se puede presentar es la norma utilizada para la realización del ensayo y posterior obtención de los valores de los parámetros requeridos. Son varios los autores (Crespo, 1997) que han realizado varias pruebas, para los mismos suelos y en los mismos puntos de una obra, aplicando distintas normas y obteniendo diferencias apreciables tanto en los valores de los módulos de deformación ($\Delta 35\%$) y en la relación de módulos ($\Delta 40\%$).

CONCLUSIONES

Siendo conscientes de la necesidad de comprobar en las obras de estabilización de suelos, como se hace en el resto de unidades de obra similares, la resistencia, compactación y capacidad de soporte de las capas construidas, está demostrado por la experiencia que el ensayo de carga vertical de suelos mediante placa estática o ensayo de carga con placa puede presentar incertidumbres en lo relativo al cumplimiento de la especificación relativa a la relación de módulos entre el segundo y primer ciclo de carga (E_{v2}/E_{v1}).

Las razones de ello han sido descritas en el apartado anterior y han sido estudiadas y comprobadas por numerosos autores, siempre sobre obras cuyos resultados han sido satisfactorios y, aún hoy, no han presentado problemas en cuanto a su comportamiento.

Por lo tanto, para el caso de los suelos estabilizados in situ, tal como ya viene definido en la normativa vigente, cuando lo indique el proyecto o lo aconsejen las características del material y de la obra, y previa autorización del Director de las Obras, se podrá sustituir o completar este ensayo con otros procedimientos de control de mayor fiabilidad o rendimiento para el caso particular, siempre que se pueda correlacionarlos de forma contrastada con el ensayo de carga con placa en el tramo de prueba.

Como el objeto es comprobar la compactación y el módulo de deformación del material estabilizado y puesto en obra, se recomienda controlarlo mediante la realización del **Ensayo de huella en terrenos para control de compactación**, según la norma UNE 103407, completado con el método de "**Control de procedimiento**" a partir de bandas de ensayo previas en las que deberán quedar definidas, para permitir su control posterior, las operaciones de ejecución, equipos necesarios, espesores de tongada, humedad del material y número de pasadas, debiendo comprobarse en esas bandas de ensayo que se cumplen las condiciones de densidad y módulo de deformación requeridos.

Aunque en alguno de los artículos vigentes del PG-3 y en otros documentos se habla del "Ensayo de huella en terrenos" según la norma NLT-256/99, está vigente desde octubre de

2005 la norma UNE 103407 “Ensayo de huella en terrenos para control de la compactación”, para la determinación del índice de huella de un suelo compactado.

No obstante, es importante tener en cuenta que esta norma se ha concebido para materiales en los que el contenido de partículas de tamaño superior a 7 mm sea mayor del 60%, lo cual puede hacer recomendable que en el caso de suelos estabilizados con una mayor proporción de finos, como es el caso de los materiales marginales o especiales, sea más adecuado realizarlo según la norma NLT-256/99.

El ensayo de huella debe ser correlacionado con el ensayo de placa de carga, siendo los valores de huella admisibles aquellos que garanticen la obtención del resultado de la placa de carga exigido, en base a los correspondientes ensayos de contraste.

En cualquier caso, tal como es establece en el artículo 330 “Terraplenes” del PG-3, los valores de huella admisible no deben superar los siguientes:

- En cimientó, núcleo y espaldones: cinco milímetros (5 mm)
- En coronación: tres milímetros (3 mm)

REFERENCIAS

- Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF). Artículos G0107 “Subbalasto”, G0112 “Tratamiento in situ de suelos con cal” y G0113 “Cuñas de transición”. Pliego de prescripciones técnicas tipo para los proyectos de plataforma (PGP-2011).
- Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Norma UNE 103407 “Ensayo de huella en terrenos para control de la compactación”. Octubre de 2005.
- Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Norma UNE 103808 “Ensayo de carga vertical de suelos mediante placa estática”. Febrero de 2006.
- Centro de Estudios y Experimentación de obras públicas (CEDEX). Norma del Laboratorio de Transporte NLT-357/98 “Ensayo de carga con placa”.
- Centro de Estudios y Experimentación de obras públicas (CEDEX). Norma del Laboratorio de Transporte NLT-256/99 “Ensayo de huella en terrenos”.
- Crespo, R. (1997). “Ensayos de carga con placa. Normativa, interpretación y valores”.
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Artículos 330 “Terraplenes” y 512 “Suelos estabilizados in situ”. Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG-3).
- Oteo, C. (2007). “Estabilización y refuerzo de materiales marginales”. II Jornadas sobre materiales marginales en obras viarias. Asociación Técnica de Carreteras (ATC). Sevilla, marzo de 2007.
- Oteo, C. (2011). “Filosofía del diseño y ejecución de terraplenes y su patología”. Jornada Técnica sobre experiencias recientes en estructuras de tierra para infraestructuras viarias. Asociación Técnica de Carreteras (ATC). Madrid, febrero de 2011.
- Sampedro, A. (2003). “Tratamientos de suelos con cal”. III Congreso Andaluz de Carreteras. Sevilla, octubre de 2003.