

# CARACTERIZACIÓN DE PLATAFORMAS EXISTENTES PARA A ALTA VELOCIDAD MEDIANTE ENSAYO DE CARGA VERTICAL CON PLACA DINÁMICA

Jesús J. Ruiz Casamayor, *Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, Madrid, España*, [jjruizc@adif.es](mailto:jjruizc@adif.es)  
Carina Vaz Monteiro, *Iberinsa, Madrid, España*, [carinaalexandra.barros.vazmonteiro@acciona.es](mailto:carinaalexandra.barros.vazmonteiro@acciona.es)  
Gonzalo Delgado Torres, *Intecsa-Inarsa, Madrid, España*, [gonzalo.delgadodetorres@snclavalin.com](mailto:gonzalo.delgadodetorres@snclavalin.com)  
Montserrat Estaca Gómez, *Intecsa-Inarsa, Madrid, España*, [montserrat.estaca@snclavalin.com](mailto:montserrat.estaca@snclavalin.com)

## RESUMEN

En España, algunas de las nuevas líneas de alta velocidad previstas se proyectan sobre plataformas en servicio, ocupando líneas convencionales de ancho 1.668 mm, que se tienen que adaptar para la circulación de material ferroviario de alta velocidad. Por ello, se debe investigar geotécnicamente la plataforma existente para comprobar su validez como plataforma para la circulación de trenes de alta velocidad.

En esta comunicación se presentan los reconocimientos geotécnicos *in situ* llevados a cabo para los proyectos de construcción “Plataforma del N.A.F. de Levante. Tramo: Albacete – Variante de Alpera” y de “Plataforma para el incremento de capacidad en las L.A.V. entre Madrid (Atocha) y Torrejón de Velasco. Tramo: c/ Pedro Bosch (Madrid) – Getafe”, sus resultados, análisis y conclusiones. Se señala y se da mayor relevancia al ensayo de carga vertical con placa dinámica (UNE 103807-2) utilizado para medir la deformabilidad de las plataformas ferroviarias, pues todavía el ensayo de carga de placa estática es el de referencia en la caracterización de éstas.

## 1 INTRODUCCIÓN

En algunos Estudios Informativos redactados por la antigua Dirección General de Ferrocarriles del Ministerio de Fomento, ahora Dirección General de Infraestructuras Ferroviarias, se proyecta, para el trazado por donde circularán trenes de alta velocidad, el aprovechamiento de plataformas ferroviarias existentes.

En unas ocasiones es consecuencia de aprovechar obras ferroviarias de mejora de trazado, de reciente construcción, aptas para trenes de alta velocidad, como es el caso del Tramo: Albacete – Variante de Alpera (*Estudio Informativo del Proyecto de la línea de alta velocidad Madrid – Castilla La Mancha – Comunidad Valenciana – Región de Murcia. Tramo: Madrid – Albacete/Valencia. Subtramo: Albacete – Játiva*), y en otras, se aprovechan plataformas de vías existentes en zonas urbanas para no incrementar la ocupación de suelo para una nueva infraestructura, caso del Tramo: C/ Pedro Bosch (Madrid) – Getafe (*Estudio Informativo del Proyecto de implantación de una doble vía entre la Estación de Atocha y Torrejón de Velasco para la línea de alta velocidad Madrid – Castilla La Mancha – Comunidad Valenciana – Región de Murcia*).

La plataforma que se requiere para la circulación de trenes de alta velocidad, según las Instrucciones y Recomendaciones para Redacción de Proyectos de Plataforma (IGP) de ADIF, consta de dos capas de

asiento, capa de forma y subbalasto, sobre las que se tiende la superestructura ferroviaria.

Los espesores requeridos para nuevas plataformas ferroviarias son: 60 cm, para capa de forma, y 35 cm, para capa de subbalasto.

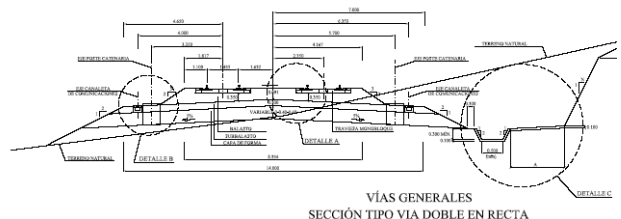


Figura 1. Sección tipo plataforma ferroviaria para alta velocidad.

Las funciones principales de estas capas son las siguientes:

- **Capa de forma:** capa superior de remate y coronación de la plataforma que se dispone con el fin de mejorar la capacidad portante de la misma, en terraplén o desmorte.
- **Subbalasto:** tiene las funciones de proteger la plataforma contra la erosión y la helada, evacuar las aguas pluviales, mejorar el reparto de cargas sobre la plataforma y evitar la contaminación del balasto por los suelos de la plataforma.

## 2 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE PLATAFORMAS FERROVIARIAS

Para determinar los espesores de las capas de asiento en plataformas ferroviarias existentes se realizan calicatas en la banqueta, en el eje de la vía o en el entreje de la vía. De esta forma se puede comprobar su estratigrafía y compactación si se toman muestras para realizar Ensayos Granulométricos, Proctor Modificado, CBR, determinación de densidad y humedad *in situ* ya sea por el Método de la Arena o Nuclear, al menos.

Para conocer la capacidad portante de la plataforma se realizan Ensayos de Placa de Carga Estática (NLT-357).

A la hora de realizar los trabajos citados anteriormente, sobre plataformas ferroviarias existentes en servicio, se plantea el problema, en la ejecución del Ensayo de Placa de Carga Estática, de las distorsiones que se producen en el mismo, al tener que mantenerse el paso de trenes.

El tiempo que se suele disponer para realizar los trabajos es el que se dedica a las bandas de mantenimiento que ADIF programa en horario nocturno, con una duración comprendida entre 4 y 5 horas.

Este tiempo es insuficiente para realizar el Ensayo de Placa de Carga Estática, si se realiza en el eje de la vía o el entreje de vías, ya que hay que llevar el material necesario para el ensayo (camión o vagón) hasta el lugar de realización del ensayo, además de otras actividades previas.

Por esta razón, falta de tiempo disponible, se plantea la sustitución del Ensayo de Placa de Carga Estática (NLT-357) por el Ensayo de Carga Vertical de Suelos mediante Placa Dinámica (UNE 103807-2).

## 3 ENSAYO DE CARGA VERTICAL DE SUELOS MEDIANTE PLACA DINÁMICA

El ensayo dinámico de carga con placa es un procedimiento de ensayo en el cual el suelo recibe un impacto de fuerza  $F_s$  transmitida mediante la caída de un peso desde una altura dada, sobre una placa de carga circular de radio  $r = 150$  mm y de espesor suficiente para considerarla rígida. El dispositivo está calibrado para que esta fuerza sea tal que la tensión normal  $s$  bajo la placa de carga sea 0,1 MPa en el ensayo.

El módulo de deformación dinámico  $E_{vd}$  es un indicador de la deformabilidad del suelo bajo el impacto de una carga vertical definida en el párrafo anterior con una duración  $t_s$ . En este caso, su valor se calcula en función del valor  $s$  del asiento de la placa

de carga, en adelante llamado asiento, de acuerdo con la fórmula (1):

$$E_{vd} = \frac{1,5 \cdot r \cdot \sigma}{s} \quad (1)$$

La descripción del equipo con sus características y de la ejecución del ensayo se recoge en la norma UNE 103807-2.

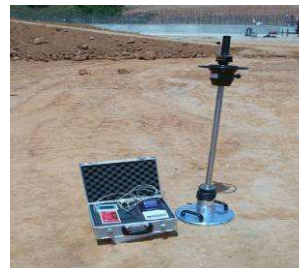


Figura 2. Equipo necesario para la realización del ensayo.

Esta norma tiene por objeto la determinación del denominado módulo de deformación vertical bajo carga dinámica de un suelo,  $E_{vd}$ . El ensayo se puede aplicar en aquellos suelos y capas granulares cuyo contenido en partículas de tamaño superior a sesenta y tres milímetros (63 mm) sea inferior al quince por ciento (15%) y cuyo contenido en partículas finas de tamaño inferior a sesenta micras (0,06 mm) sea inferior al cuarenta por ciento (40%). El ensayo también se puede aplicar en el caso de que no se cumpla la segunda condición si la resistencia al corte sin drenaje del suelo es superior a 50 kN/m<sup>2</sup>. Además, el rango de medida del módulo de deformación está comprendido entre 15 MPa y 70 MPa.

## 4 TRAMO: ALBACETE – VARIANTE DE ALPERA

Se trata de un tramo de unos 40 kilómetros de longitud, donde se encuentran las Variantes de Chinchilla y Villar de Chinchilla, construidas a finales de los años 90, por la antigua Dirección General de Ferrocarriles del Ministerio de Fomento, para adaptar el tramo a velocidades máximas de 200 km/h.

El total del tramo es objeto de proyecto para incrementar la velocidad máxima a 250 km/h, por parte de ADIF, contratando a la empresa consultora Intecsa-Inarsa, S.A.

En las citadas variantes se realiza el análisis de la plataforma para comprobar su validez para el paso de trenes de alta velocidad. En el resto del tramo,

plataforma más antigua, se proyectan las capas de asiento completas.

La sección tipo existente, en estas variantes, tiene como capas de asiento un espesor variable entre 40 cm y 60 cm de capa de forma, y 25 cm de subbalasto.

La banda de mantenimiento disponible era de 4 a 5 horas, permitiendo el tráfico en ambos sentido por una de las vías.

Con el fin de evaluar la idoneidad de las plataformas en servicio de las Variantes de Chinchilla y Villar de Chinchilla (Tramo Albacete – Vte. de Alpera) para albergar la línea de Alta Velocidad, se llevaron a cabo unos trabajos de investigación de la plataforma mediante el ensayo de carga vertical de suelos mediante placa dinámica.

#### 4.1 Ensayos de contraste sobre la plataforma abandonada.

Para el estudio de la plataforma ferroviaria en servicio, se llevaron a cabo previamente unos ensayos de placa estática y placa dinámica en una plataforma abandonada situada en las proximidades, con en fin de verificar la fiabilidad de los ensayos.

Al hacer la excavación hasta la capa que correspondería al subbalasto, se encontró que el material que había era la “machaca” con la que antiguamente se construían las plataformas ferroviarias. Este material era mucho más grueso que la zahorra que forma el subbalasto. En la Tabla 1 se recogen los resultados obtenidos.

Tabla 1: Resultados de los ensayos realizados sobre la plataforma abandonada

PK	Capa	Ensayos in situ		Ensayos de laboratorio		
		Placa estática	Placa dinámica	Granulometría		% Humedad
		E <sub>v2</sub>	E <sub>vd</sub>	% Finos	% Arena	
111+600	Machaca	540	111,4	12	17	1,08
113+800	Machaca	214	107,7	59	33	7,7
115+200	Machaca	201	82,4	5	11	2,83
119+300	Machaca	193	100,3	12	37	0,44

En los cuatro puntos donde se realizaron el par de ensayos (carga con placa estática y dinámica) se obtuvieron resultados satisfactorios, en los que la dispersión de los resultados de los dos tipos de ensayos fue menor del 25 %.

Sólo en uno de los casos, en el que además el material fue difícil de identificar, el valor obtenido a partir de la placa dinámica se alejaba del valor que se obtuvo en el ensayo de carga con placa estática, por lo que sus resultados fueron desestimados.

El hecho de que el material que componía las plataformas abandonadas fuera muy diferente del material con el que se construyeron las plataformas en variante que actualmente están en servicio, hizo que no se pudiera utilizar la correlación obtenida en la

plataforma abandonada en los resultados de los ensayos en la plataforma en servicio.

Pese a ello estos ensayos previos fueron muy útiles para verificar el buen funcionamiento del ensayo de carga con placa estática, y sobre todo para comprobar que la correlación que se propone en la norma es coherente con los resultados, según puede observarse en la Figura 3:

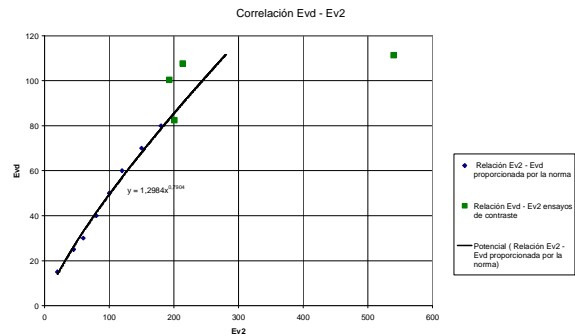


Figura 3: Relación de los resultados de los ensayos de placa estática y dinámica realizados sobre la plataforma abandonada.

Por ello, y a la vista de estos resultados, se pudo concluir que la correlación de la norma era válida y pudo emplearse su expresión:

$$E_{v2} = 0,7187 \cdot E_{vd}^{1,2651} \quad (2)$$

#### 4.2 Ensayos sobre la plataforma en servicio

Los trabajos necesarios para realizar los ensayos de carga vertical mediante placa dinámica tuvieron que ser nocturnos y con una duración menor de 5 horas, ya que era necesario cortar el tráfico en una de las vías de la línea en servicio. Además de estos ensayos se determinó la densidad por el método de la arena y por el método nuclear. También se tomaron muestras de subbalasto y capa de forma para que en laboratorio se pudiera determinar la granulometría y humedad de las mismas y se pudieran realizar ensayos de proctor modificado. También se midió el espesor de balasto y subbalasto existente en cada calicata.

La posición de estos ensayos fue siempre entre los carriles. Para poder trabajar con el espacio necesario se movieron dos traviesas en sentido opuesto, de manera que se quedaba un “cajón” suficientemente amplio para realizar todos los ensayos.

Las labores de extracción del subbalasto fueron llevadas a cabo manualmente ya que una pequeña retroexcavadora no hubiera podido acceder. Había que retirar balasto tanto en la parte interior de los carriles, como en la zona exterior a los mismos, es decir, en la cabeza de las traviesas, para que éstas

quedaran liberadas de material y pudieran moverse a lo largo de los carriles.

Era entonces cuando se realizaban la primera tanda de ensayos. Primero se llevaba a cabo el ensayo de carga vertical con placa dinámica, el cual se procuraba hacer en un lado de la calicata abierta. La determinación de la densidad por el método de la arena se hacía en el otro lado para que los resultados no se vieran afectados por la acción de la placa. Entre estos puntos previamente se había medido la densidad y la humedad por el método nuclear.



Figura 4: Ejecución del ensayo de carga con placa dinámica sobre el subbalasto en plataforma en servicio.

Una vez realizados los tres ensayos la excavación continuaba hasta alcanzar la capa de forma, tomando una muestra de material correspondiente al subbalasto. En la capa de forma se realizaban los mismos ensayos pero en la posición contraria, es decir, que el ensayo de carga vertical con placa dinámica se hacía en el lado opuesto a donde se hizo sobre el subbalasto, y la determinación de la densidad por el método de la arena en el mismo lado donde se hizo el ensayo de carga vertical con placa dinámica en el subbalasto. Después de realizar la segunda tanda de ensayos se continuaba excavando para obtener la muestra de capa de forma.

Los resultados de todos los ensayos que se llevaron a cabo tanto en la plataforma en servicio como en el laboratorio y los valores de  $Ev_2$  obtenidos a partir de los ensayos in situ se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Tabla de los ensayos realizados sobre la plataforma en servicio

PK	Capa	Ensayos in situ						Ensayos en laboratorio			
		$E_{vd}$ (MPa)	$Ev_2$ (MPa)	Método nuclear		Método de la arena		Finos (%)	Humedad natural (%)	Proctor Modificado	
				Densidad ( $t/m^3$ )	Humedad (%)	Densidad ( $t/m^3$ )	Humedad (%)			Densidad máxima ( $t/m^3$ )	Humedad óptima (%)
108+540	Subbalasto	147,7	399,05	2,11	4,2	2,2	2,1	8	2,12	2,24	4
	Capa de forma	41,0	78,81	1,7	11,1	2,04	2,7	11	2,69	2,07	8,2
	Subbalasto	188,02	541,55	2,05	3,4	2,2	1,8	9	1,7		
110+180	Capa de forma	35,7	66,19	1,73	8,4	2,09	1,3	5	1,61		
	Subbalasto	180,48	514,22			2,23	3,1	9	2,13		
114+260	Capa de forma	89,88	212,87			2,05	2,3	12	2,3		
	Subbalasto	101,81	249,237			2,24	1,5	7	1,46	2,26	4,9
115+980	Capa de forma	155,17	424,75			2,11	7,7	13	7,68	2,15	5,7
	Subbalasto	144,54	228,938	2,04	4,9	2,22	1,6	7	1,63	2,25	4,8
131+050	Capa de forma	59,68	187	1,98	6,9	2,08	2,9	14	2,91	2,12	8,6
	Subbalasto	95,2	388,28	2,03	5,3	2,23	1,9	6	1,52	2,29	5,3
135+050	Capa de forma	81,13	126,8	1,72	16,1	2,19	2,2	6	2,21	2,17	5,9

### 4.3 Análisis de los resultados

Los resultados de todos los ensayos realizados han sido analizados de forma independiente para el subbalasto y capa de forma:

#### 4.3.1 Subbalasto

Es la capa de la plataforma que se sitúa por debajo del balasto. Esta formada por zahorra natural y de machaqueo y el espesor observado en las calicatas no llegaba a los 30 cm, encontrándose en torno a los 25 cm. Los valores del módulo  $Ev_2$  que se obtuvieron a partir del ensayo de carga vertical mediante placa dinámica se reflejan en la Tabla 2.

Todos los valores de  $Ev_2$  están por encima del valor exigido en el Pliego de Prescripciones Técnicas de ADIF ( $Ev_2 = 120$  MPa). De hecho la mayoría de los resultados doblan este valor. Por tanto podemos decir que el subbalasto tiene un comportamiento mecánico muy bueno.

En cuanto a la compactación, en todos los casos excepto en uno (p.k. 131+050 donde  $\rho = 97$  % P.M), la densidad presenta valores superiores al 98 % del proctor modificado en las medidas realizadas por el método de la arena. Las medidas de densidad que se obtuvieron por el método nuclear son inferiores a las obtenidas por el método de la arena, lo cual implica un defecto de contraste, una falta de representatividad para estas granulometrías; en cualquier caso no se han tomado en consideración.

Los análisis de la granulometría revelan que este material se ajusta al huso granulométrico que define el Pliego de ADIF. Tan sólo una de las seis muestras tiene una granulometría ligeramente inferior a la estipulada. Los valores de humedad obtenida en laboratorio se encuentran en todos los casos excepto uno en el lado seco de la humedad óptima de P.M., y a más de dos puntos de la humedad óptima en la mayoría de los casos.

### 4.3.2 Capa de forma

Los resultados de los módulos  $E_{v1}$  medidos y de los módulos  $E_{v2}$  deducidos se muestran en la Tabla 2.

En cuanto a los valores de  $E_{v2}$  que se obtuvieron a partir de los resultados de la placa dinámica, sólo dos de ellos son algo inferiores a 80 MPa, que es el valor mínimo que establece el pliego. El promedio de  $E_{v2}$  es de 155 MPa, e incluso si no tenemos en cuenta el ensayo realizado en el p.k. 115+980 que tiene un valor excesivamente alto (424 MPa) y no es representativo, el promedio, que sería  $E_{v2} = 123$  MPa, sigue siendo muy superior al mínimo exigido.

La densidad medida por el método de la arena muestra que la capa de forma también tiene una compactación alta, con valores superiores en todos los casos al 98 % de proctor modificado, cuando el mínimo exigido por el PGP para esta capa es del 95 %. La densidad que se registró con el método nuclear también es más baja que la determinada por el método de la arena, y por las razones anteriores no ha sido considerada.

La mayoría de las muestras presentan un contenido en finos mayor del 5 %, aunque en todos los casos es menor del 15 %, permitido en el pliego si los finos resultan no plásticos. En casi todos los puntos de estudio de la plataforma en servicio, la humedad natural de la capa de forma se encuentra por debajo de la humedad óptima, lo cual puede asociarse a la alta resistencia.

Sin embargo, en los estudios que se han llevaron a cabo en estos tramos, las conclusiones van en la línea de que la capa de forma ensayada prácticamente cumple las especificaciones del Pliego de ADIF.

### 4.4 Conclusiones

La primera conclusión que puede obtenerse es que gracias a la versatilidad y agilidad de ejecución de los ensayos de carga vertical con placa dinámica ha sido posible realizar unas medidas de resistencia de la plataforma ferroviaria existente. Además la calidad de estos resultados se ha considerado satisfactoria y compatible con los ensayos de referencia. Ello ha permitido, junto con los resultados del resto de los ensayos, poder extraer las siguientes conclusiones del estado del subbalasto y capa de forma de la plataforma en servicio.

En cuanto a la capa de subbalasto se puede concluir que prácticamente cumple todos los requisitos que establece el Pliego de ADIF, sobretodo cumple sobradamente las condiciones de resistencia.

El material que se encuentra por debajo del subbalasto cumple con las condiciones exigidas a la

capa de forma. Tan sólo podría haber un problema ligado a la plasticidad cuando el contenido en finos se encuentra entre el 5 y el 15 %. No obstante su comportamiento tenso - deformacional es, en general, mucho más resistente que el exigido por el Pliego de ADIF. Creemos por tanto que el material existente como capa de forma, en condiciones normales de humedad, puede ser considerado como válido como capa de plataforma.

Tras estas conclusiones, se proyectó mantener la plataforma actual, sin variar los espesores de las capas de asiento existentes, para el paso de los trenes de alta velocidad a velocidades máximas de 250 km/h.

### 5 TRAMO: C/ PEDRO BOSCH (MADRID) - GETAFE

Se trata de un tramo de unos 8,7 km de longitud, donde se aprovechan 2,672 km de plataforma ferroviaria existente y en servicio, con una antigüedad de más de 20 años.

El tramo no permite velocidades mayores de 100 km/h al tratarse de la salida/llegada a la Estación Madrid-Puerta de Atocha. Por tanto, el proyecto redactado por ADIF, contratando a la empresa consultora Iberinsa, S.A. – Ideam, S.A. (UTE), mantiene la misma velocidad.

En este tramo se realiza el análisis de la plataforma para comprobar su validez para el paso de trenes de alta velocidad, a la velocidad máxima indicada.

La sección tipo existente, en este tramo, no tiene capas de asiento, salvo la coronación de la explanación y la machaca que se extendía en las plataformas ferroviarias antiguas, por lo que los ensayos realizados se hicieran en estos niveles.

La banda de mantenimiento disponible era de 5 horas, con corte total de circulaciones ferroviarias en ambas vías.

Además de la plataforma en servicio, se analiza otra, a continuación de la anterior, con 1,668 km ya preparada y que se encuentra fuera de servicio, que sirve de plataforma para ensayos de contraste entre la placa carga dinámica y estática.

#### 5.1 Campaña de investigación geotécnica

La investigación geotécnica consistió básicamente en la realización de calicatas de plataforma en el centro de la línea, entre las dos vías con toma de muestras alteradas (del balasto, del subbalasto cuando existe, de la coronación del terraplén y del mismo) y de ensayos de penetración dinámica en el centro de las vías.

Como criterio general, en cada calicata de plataforma, se hicieron ensayos a dos niveles:

1) al nivel del subbalasto o capa de forma cuando existe, o a su vez al nivel de la coronación del terraplén;

2) en el fondo de la cata, correspondiente o a la coronación del terraplén o al núcleo del mismo o al fondo de desmante en su caso. En estos niveles se hicieron ensayos de carga vertical con placa dinámica para analizar la deformabilidad de los materiales presentes, ensayos de determinación de humedad y densidad *in situ* por el método nuclear y por el método de arena.

Se señala que a la hora de diseñar la campaña de campo surgieron algunos condicionantes, tales como:

i) tráfico ferroviario en la línea muy intenso, por lo que los cortes necesarios deberían ser minimizados y hacerse en el mínimo tiempo posible;

ii) dificultad para que un camión accediese a los emplazamientos o tener que disponer de la ayuda de un vagón para obtener la reacción necesaria;

iii) dificultad para realizar calicatas en el terraplén de la línea existente por falta de acceso;

iv) dificultad en realizar calicatas en el centro de caja, que necesitarían la retirada de traviesas que podrían llegar a ser un número de 6;

v) imposibilidad de hacer calicatas en el borde de la plataforma por presencia de servicios afectados.

En la Figura 5 y en la Figura 6 se presenta una planta y un perfil con la campaña de investigación geotécnica llevada a cabo.

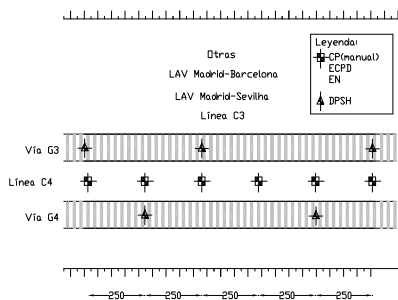


Figura 5. Planta esquemática de campaña de investigación geotécnica. Plataforma en servicio.

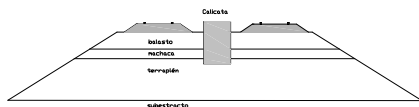


Figura 6. Perfil transversal esquemático de campaña de investigación geotécnica. Plataforma en servicio.

## 5.2 Ensayos de contraste

En la zona de plataforma inactiva se hicieron simultáneamente ensayos de carga con placa estática y ensayos de carga con placa dinámica con el objetivo de correlacionar los dos ensayos y con el fin de extrapolar los resultados para la plataforma en servicio.

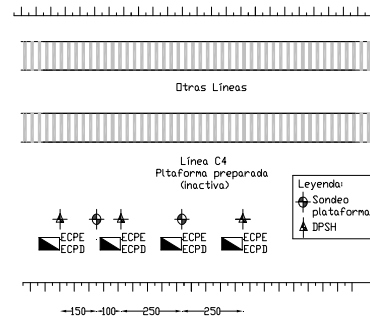


Figura 7. Planta esquemática de campaña de investigación geotécnica. Plataforma inactiva.

En la Figura 8, se presentan los resultados de los ensayos de contraste realizados sobre la capa de forma con 0,6m de espesor, en la plataforma inactiva, con respecto al módulo de deformación dinámica,  $Ev_d$ , obtenido con los ensayos de carga con placa dinámica y a los módulos  $Ev_1$  y  $Ev_2$ , obtenidos en el ensayo de carga con placa estática.

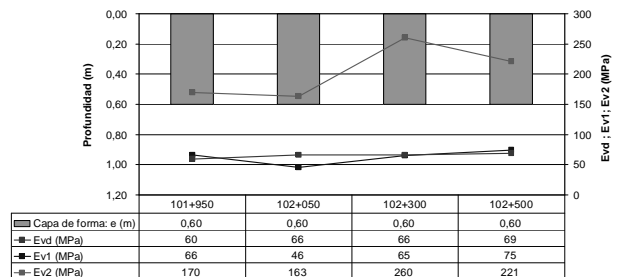


Figura 8. Ensayos de contraste en plataforma inactiva.

Se verifica que el valor del  $Ev_d$  equivale aproximadamente al valor del  $Ev_1$  y el valor del  $Ev_2$  resulta aproximadamente 3 veces superior en relación al valor del  $Ev_d$ . Se señala que esta correlación sólo es válida para la capa de forma. De acuerdo con los resultados obtenidos y dada la uniformidad de la capa ensayada solamente fue posible contrastar un rango de valores limitado, para valores de  $Ev_d$  entre 60 y 70 MPa, al que corresponde un valor ponderado del  $Ev_2$  de 180 MPa.

Además, se considera que la capa de forma ensayada cumple con los criterios de deformabilidad para plataformas ferroviarias, pues cumple el criterio del  $Ev_2$  superior a 80 MPa y aunque no se cumpla el criterio de la relación  $Ev_2/Ev_1$  inferior a 2,2 en todos los puntos, como el valor medio resultante para  $Ev_d$

fue de 66 MPa, se considera válida la capa de forma ensayada.

Con la realización de los ensayos de placa se hicieron ensayos de determinación de la densidad y humedad *in situ* por el método de arena y por el método nuclear en que resultaran valores alrededor de 21,5 KN/m<sup>3</sup> y de 1,3%, respectivamente. Además, se hicieron 2 sondeos en el terraplén y 3 ensayos de DPSH para identificación de los materiales presentes y para análisis de su resistencia y deformabilidad. La profundidad de rechazo obtenida en los DPSH se encuentra alrededor de los 20 m, resultantes de la suma del espesor del terraplén con golpes debajo de 10 y del relleno antrópico o el relleno de peñuela subyacente con golpes aproximadamente entre 10 y 20, aunque esto último ha sido tratado con columnas de grava.

### 5.3 Bibliografía consultada

Para obtener correlaciones para otros rangos de valores y para otros tipos de capas o materiales se hay consultado alguna bibliografía.

De acuerdo con la Figura 9, el  $E_{v2}$  es superior en cerca de dos veces o más al  $E_{vd}$ . Solamente dos publicaciones presentan valores de correlación inferiores a dos, con respecto a un pequeño número de ensayos. Se observa que las normas Alemanas especifican en general una correlación de dos, que es el límite inferior de valores obtenidos en los ensayos experimentales (Tompai, 2008).

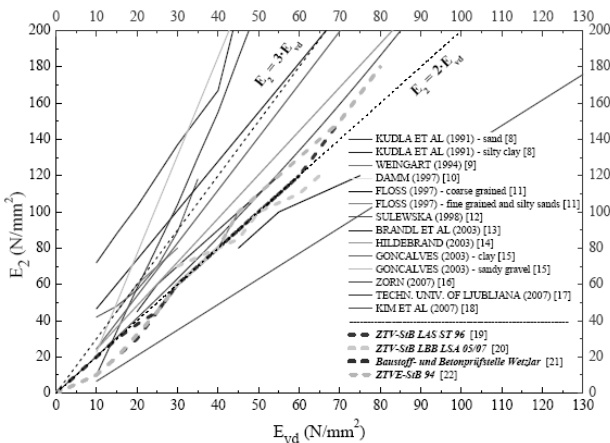


Figura 9. Correlaciones existentes en la bibliografía internacional (Tompai, 2008).

El *Institute for Transport Sciences* (KTI) propone una correlación general dada por:

$$E_{vd} = 0,52 \cdot E_{v2} + 9,1 \quad (3)$$

*Baksay* propone una modificación a la formula dada por

$$E_{vd} = 0,62 \cdot E_{v2} \quad (4)$$

Estas fórmulas resultan equivalentes para la gama de valores en estudio y con una relación entre  $E_{vd}$  y  $E_{v2}$  de 1,6.

Recientemente, Tompai (2008) hay propuesto una correlación basada en ensayos experimentales llevados a cabo por distintos constructores y laboratorios, en el que resulta una relación entre  $E_{vd}$  y  $E_{v2}$  de 1,61 y entre  $E_{vd}$  y laboratorios, en el que resulta una relación entre  $E_{vd}$  y  $E_{v1}$  de 0,83 (Figura 10).

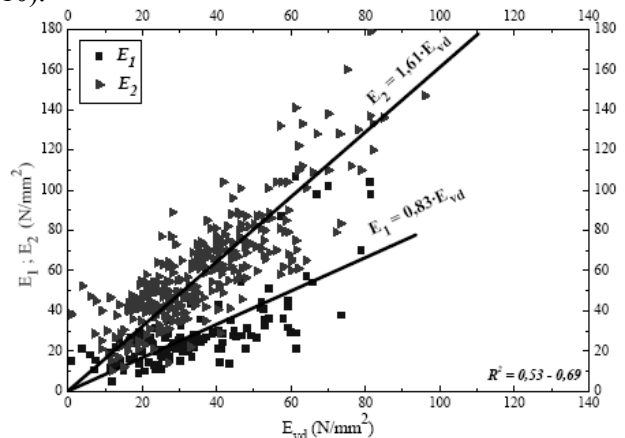


Figura 10. Correlación propuesta entre  $E_{v1}$ ,  $E_{v2}$  y  $E_{vd}$  (Tompai, 2008).

### 5.4 Correlaciones consideradas

En la Tabla 3, se resumen las correlaciones consideradas en el tramo en estudio para las distintas capas de materiales constituyentes de la plataforma ferroviaria. Las correlaciones propuestas tienen en consideración que la relación entre  $E_{v2}/E_{v1}$  debe ser inferior a 2,2 de acuerdo con los criterios de ADIF para capas de subbalasto y capa de forma.

Tabla 3. Correlaciones consideradas entre  $E_{v1}$ ,  $E_{v2}$  y  $E_{vd}$ .

Tipo de capa	Correlación
Subbalasto	$E_{v2} = 2,2 E_{vd}$
Capa de forma	$E_{v2} = 2,2 E_{vd}$ , si $E_{v1} \leq 50\text{MPa}$ $E_{v2} = 3 E_{vd}$ , si $E_{v1} > 50\text{MPa}$
Terraplén	$E_{v2}^* = 1,6 E_{vd}$ , si $E_{v1} \leq 30\text{MPa}$ $E_{v2}^* = 2 E_{vd}$ , si $E_{v1} > 30\text{MPa}$

\* Correlación orientativa

### 5.4 Caracterización geotécnica de la infraestructura ferroviaria. Resultados obtenidos.

Con el objetivo de validar los ensayos de carga con placa dinámica llevados a cabo se contrastan los mismos con los demás ensayos realizados. Así, en las Figuras 11, 12, 13 y 14 se presenta un resumen de los resultados obtenidos cuanto a la densidad, humedad y compactación *in situ*, esta última basada en los ensayos de Proctor Modificado realizados en laboratorio. Estos resultados se presentan sobre los espesores medidos *in situ* de las distintas capas, que en general se verifica existir un espesor de balasto variable entre 0,5 y 0,8 m y la inexistencia de capa de subbalasto y de capa de forma, pero una capa contaminada genéricamente designada por machaca.

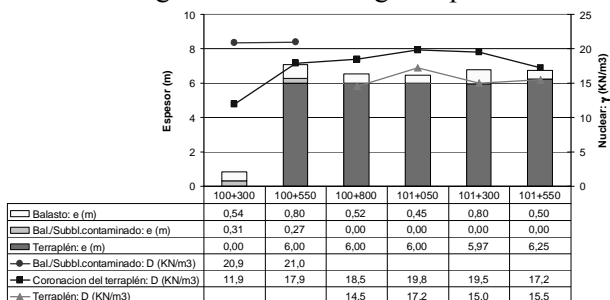


Figura 11. Resultados obtenidos. Plataforma en servicio. Densidad.

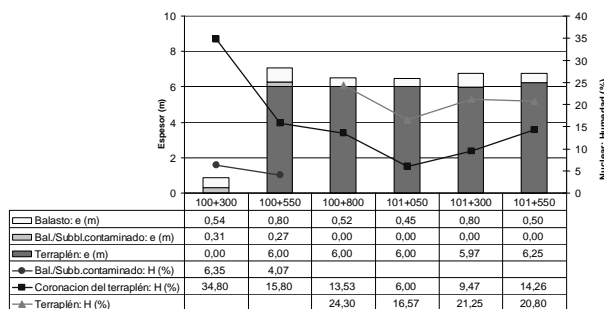


Figura 12. Resultados obtenidos. Plataforma en servicio. Humedad.

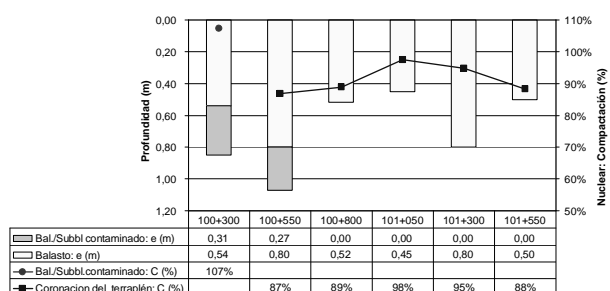


Figura 13. Resultados obtenidos. Plataforma en servicio. Compactación.

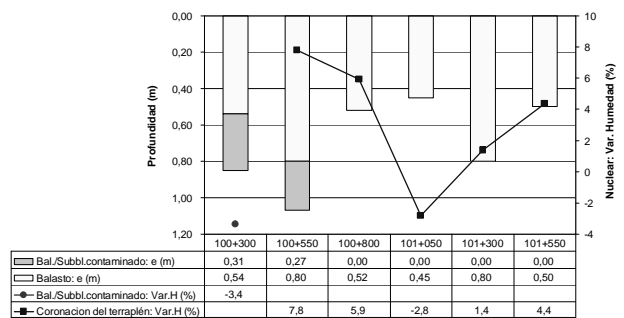


Figura 14. Resultados obtenidos. Plataforma en servicio. Variación de Humedad.

En general, el terraplén se clasifica como del tipo A-2-4, A-2-6 o A-7-6 (clasificación HRB); se verifica para la coronación del mismo humedades *in situ* variables, entre 6% y 16%, así como una densidad entre 17 y 21 KN/m<sup>3</sup>. Esta variación se mantiene en las capas del terraplén ensayadas con valores de humedad superior y densidad inferior que se consideran excesivos y bajos, respectivamente. Estos resultados traducen la compactación determinada para la coronación del terraplén variable y entre 87% y 98%.

De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos de DPSH, se distingue tres grupos según el golpeo, la profundidad de rechazo alcanzada y la altura del terraplén:

1) golpeo alrededor de 5 entre 1 y 2,5 m de profundidad que va aumentando hasta los 6m de profundidad, profundidad a la cual se obtiene rechazo, con un golpeo medio alrededor de 20. Estos resultados indican una capacidad portante baja de la infraestructura;

2) golpes inferiores a 10 hasta aproximadamente los 15 m de profundidad que van aumentando ligeramente hasta los 20 y 30 golpes y con una profundidad de rechazo alrededor de 25 m. Estos resultados indican una capacidad portante baja tanto para el terraplén existente como para la cimentación del mismo;

3) golpeo por debajo de 10 hasta una profundidad de rechazo a los 6 m. Teniendo en cuenta que ésta es el espesor del terraplén, estos resultados indican que el mismo tiene una baja compacidad y que el terreno natural presenta adecuada capacidad de soporte.

En los dos niveles de profundidad ya referidos y caracterizados por los ensayos presentados en las figuras 11, 12, 13 y 14, se hicieran los ensayos de carga con placa dinámica (Figura 15), en los cuales resultaran valores también variables y que se presentan en las Figuras 16 y 17 (teniendo en cuenta la Tabla 3 para la estimación del  $E_{v2}$ ).





Figura 15. Ensayo de carga con placa dinámica realizado entre las dos vías.

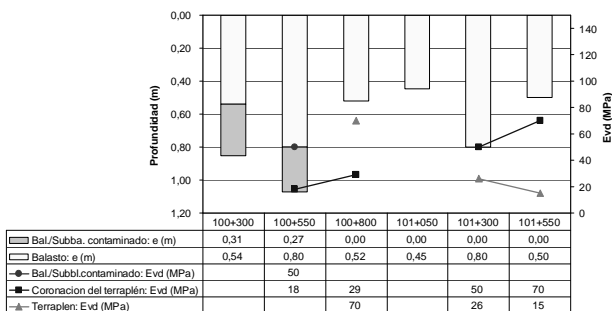


Figura 16. Resultados obtenidos. Plataforma en servicio.  $E_{vd}$ .

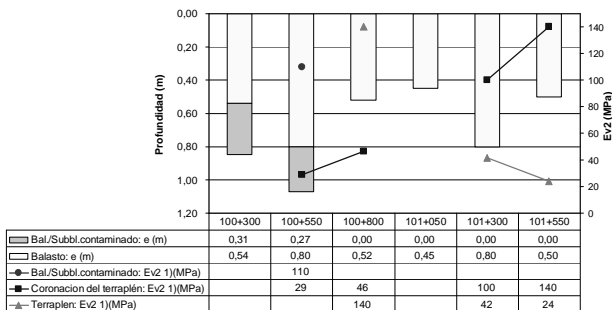


Figura 17. Resultados obtenidos. Plataforma en servicio.  $E_{v2}$ .

De acuerdo con los resultados obtenidos se distinguen dos zonas:

- 1) en que la coronación del terraplén presenta un módulo estimado  $E_{v2}$  inferior a 60 MPa y un módulo  $E_{v1}$  inferior a 30 MPa. Estos resultados no cumplen con el Pliego de ADIF;
- 2) La coronación del terraplén presenta un módulo  $E_{v2}$  superior a 60 MPa y un módulo  $E_{v1}$  superior a 50 MPa. Estos resultados cumplen con el Pliego de ADIF, pero la capa subyacente presenta un módulo estimado de  $E_{v2}$  inferior a 50 MPa y un módulo  $E_{v1}$  inferior a 30 MPa, por lo que se verifica que el

terraplén no cumple el criterio del Pliego de ADIF de  $E_{v2}$  ser superior a 30 MPa.

## 5.5 Resumen y conclusiones

Con los ensayos de carga vertical con placa dinámica llevados a cabo fue posible estimar los valores del módulo  $E_{v2}$  bien por correlación directa con el ensayo de carga con placa estática realizado en la zona de la plataforma preparada y al nivel de la capa de forma, o bien teniendo en cuenta correlaciones existentes en la bibliografía consultada.

También fue posible verificar que los resultados obtenidos están de acuerdo con los demás ensayos de caracterización geotécnica llevados a cabo.

Además estos ensayos han permitido analizar la deformabilidad de la infraestructura sin disponer de equipos adicionales y de forma rápida.

Se considera que estos ensayos por su versatilidad son una alternativa adecuada para el análisis de la deformabilidad de las plataformas ferroviarias de manera a contribuir para una valuación adecuada de la adaptabilidad a las nuevas líneas que se están proyectando.

Tras los resultados obtenidos, se considera que la plataforma no cumple con las especificaciones del Pliego de ADIF, para las capas de asiento, y que al menos habrá que actuar en la plataforma para extender una capa de subbalasto para que proteja las capas inferiores existentes y se mejore el drenaje superficial.

## 6 CONCLUSIONES

La realización del ensayo de carga vertical con placa dinámica (UNE 103807-2), en sustitución del ensayo de placa de carga estática (NLT-357), en los dos tramos descritos anteriormente, ha permitido caracterizar la deformabilidad de la plataforma ferroviaria existente para comprobar su adecuación a las exigencias del Pliego de Prescripciones Técnicas del Administrador de Infraestructuras Ferroviarias.

Este ensayo ha permitido resolver los problemas que plantea el ensayo de placa de carga estática en cuanto al tiempo que se requiere para su ejecución y disponibilidad de medios auxiliares, al tener que trabajar sobre plataformas de líneas ferroviarias con tráfico, donde sólo se dispone del tiempo destinado a la banda de mantenimiento en horario nocturno, correspondiente a unas 4 ó 5 horas, y sin posibilidad de acceso de los medios necesarios para el ensayo de placa de carga estática.

Los resultados obtenidos en ambos tramos con el ensayo de carga vertical con placa dinámica, módulo de deformación  $E_{vd}$ , se han correlacionado con los valores de los módulos de deformación  $E_{v1}$  y  $E_{v2}$ , correspondientes al ensayo de placa de carga estática, con el fin de compararlos con los valores que se exigen, para las capas de subbalasto y de forma, en plataformas de nueva construcción, según el Pliego de ADIF.

Las conclusiones de estos trabajos abren una puerta a la posible modificación de la forma en que se puede caracterizar una plataforma ferroviaria, existente, en obras del Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, estableciendo los criterios de exigencia para el valor de  $E_{vd}$ , del ensayo de carga vertical con placa dinámica, en los Pliegos de Prescripciones Técnicas, conforme a la norma UNE 103807-2.

## AGRADECIMENTOS

D. Ángel Pérez Pérez, Gerente de Mantenimiento de Albacete (ADIF).

D.Rafael Cuenca Guillén, Técnico Territorial de Infraestructura y Vía (ADIF).

## REFERENCIAS

Asociación de Investigación de Carreteras y Transportes (1997). Pliego de Condiciones Técnicas y recomendaciones para obras de tierra en la construcción de carreteras.

Asociación de Investigación de Carreteras y Transportes (2003). Ensayo Dinámico de carga con placa con la ayuda del equipo de ensayo ligero de impacto. TP BF-StB Parte B 8.3 (Normativa alemana).

Tompai, Zoltán (2008). Conversion between static and dynamic load bearing capacity moduli and introduction of dynamic target values. *Periodica Polytechnic, Civil Engineering*, 2008 52 2, 97-102.