

EQUIPO LIGERO DE IMPACTO PARA EL ENSAYO DE PLACA DE CARGA DINÁMICA DE 300 MM DE DIÁMETRO

Rigoberto A. Thomas, *GCE Geotechnisches Ingenieurbüro, Magdeburgo, Alemania, thomas@gce-magdeburg.de*

Carlos Fernández Tadeo, *CFT & Asociados, S.L., Barcelona, España, info@fernandeztadeo.com*

RESUMEN

Los ensayos de placa de carga son una herramienta indispensable para el control de calidad de terraplenes y plataformas ferroviarias. Las placas de carga dinámicas se vienen empleando en España y Portugal desde hace algunos años con creciente aceptación. Los equipos ligeros de impacto con placa de 300 mm de diámetro se introdujeron hace cinco años y ya disponen de norma española aprobada, la UNE 103807-2. Estos equipos ligeros de placa de carga dinámica facilitan la obtención rápida en obra de un módulo de deformación dinámico en capas compactadas de terraplenes y bases granulares, de manera prácticamente instantánea y sin necesidad de utilizar camiones u otros elementos pesados como reacción. También facilitan un mayor muestreo de las capas compactadas, ya que es un ensayo de ejecución muy rápida y de resultados inmediatos en campo. En la presente comunicación se describe el equipo normalizado en Alemania y en España, así como las metodologías de empleo utilizadas durante décadas en Alemania y su evolución.

1 INTRODUCCIÓN

Los ensayos de placa de carga se utilizan con profusión para comprobar el módulo de deformación de capas de terraplenes y de firmes. El módulo de deformación es un parámetro cada vez más importante en el proyecto de firmes y capas de forma ferroviarias. El método de ensayo habitualmente utilizado es el estático, con carga aplicada sobre una placa circular mediante un gato hidráulico, utilizando un camión cargado o una máquina pesada como reacción para el gato. La sistemática de actuación es compleja, delicada y larga, ya que requiere el montaje de un puente de referencia para la medida del asentamiento de la placa, la instalación de varios comparadores o lectores de los movimientos de la placa, la aplicación de varios escalones de carga y descarga con tiempos de espera en cada uno de ellos para la estabilización de asentamientos, con las consiguientes lecturas de todos los instrumentos (manómetro del gato, comparadores) y su

introducción en impresos de datos generalmente de forma manual.

Todo ello lleva a que sea un ensayo lento y caro. Además, la presentación de resultados no suele ser inmediata, ya que los responsables de los laboratorios prefieren analizar cuidadosamente los datos de campo en oficina, para posteriormente realizar los cálculos algo prolijos que especifican las normas española (NLT-357) o alemana (DIN 18134) para obtener el módulo de deformación del suelo o capa granular en el punto ensayado.

Como consecuencia, se trata de un ensayo que no se realiza con la frecuencia y extensión que se debería esperar para la importancia que tiene el parámetro del módulo de deformación del suelo. Hasta hace unos años, la única alternativa al ensayo convencional de placa de carga estática eran los pesados y sofisticados deflectómetros y deflectógrafos, que son capaces de tomar un gran volumen de datos y analizar de manera automatizada la información obtenida. Sin embargo, requieren de grandes campañas de auscultación para

resultar económicamente atractivos, y su alto coste no les hace asequibles para la gran mayoría de laboratorios comerciales, que no están en el mercado de los grandes contratos de auscultación de carreteras.

Para responder a la necesidad de disponer de equipos sencillos, económicos y de alta producción para determinar el módulo de deformación de las capas compactadas de suelo y granulares, nacieron hace 35 años en Alemania los equipos ligeros de impacto que realizan ensayos de placa de carga dinámica de 300 mm de diámetro, utilizando una maza de accionamiento manual como elemento de carga, y un dispositivo electrónico de medida de los movimientos de la placa. En la actualidad estos equipos están ya empleándose en España y Portugal, habiendo tenido una gran acogida entre administraciones, laboratorios y contratistas, y disponiendo de norma española aprobada por Aenor, la UNE 103807-2:2008 Ensayo de carga vertical de suelos mediante placa dinámica. Parte 2: Placa rígida, diámetro $2r=300$ mm, Método 2.

2 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO LIGERO DE IMPACTO CON PLACA DE 300 MM

Los primeros intentos alemanes de concebir un equipo de pruebas más flexible y menos complicado para determinar la calidad de una obra de tierra datan de hace más de 35 años. En aquel entonces los equipos de pruebas usuales eran muy costosos, tanto en lo material como en su implementación, por lo que el ser humano, en su calidad de gente pensante con una curiosidad ilimitada siempre en búsqueda de nuevos caminos para resolver sus problemas, concibe este equipo.

Su implementación práctica se inicia en los años 70 del siglo pasado en el área de los ferrocarriles de la antigua RDA. Los primeros equipos electrónicos para medir el asiento, como el tastógrafo de la Foto 1, eran más prácticos que los equipos similares de su época, pero seguían siendo bastante complejos en su utilización práctica, ya que requerían de dos personas para realizar una medición. En cuanto a la interpretación de los resultados, se precisaba de un tiempo adicional, ya que las cintas magnéticas con las mediciones había que evaluarlas. Con un sensor lineal se medía el asiento de la placa en los tres impactos, de los cuales se obtenía un valor medio que entraba en la ecuación para calcular el módulo de deformación dinámico E_{vd} (N/mm^2). Se trataba de un método más moderno que el usual, pero aún necesitado de mejoras para minimizar el factor humano.

Los primeros tastómetros de nuestra época datan de los años finales de la década del 80 y comienzos de los 90 del siglo pasado, en los que el impacto se medía electrónicamente con tres decimales, pero todavía era necesario usar lápiz y papel para calcular el módulo E_{vd} . La modernización del equipo de medición del asiento toma una velocidad de desarrollo increíble gracias a la electrónica moderna, y con ello mejora sustancialmente la precisión del método.

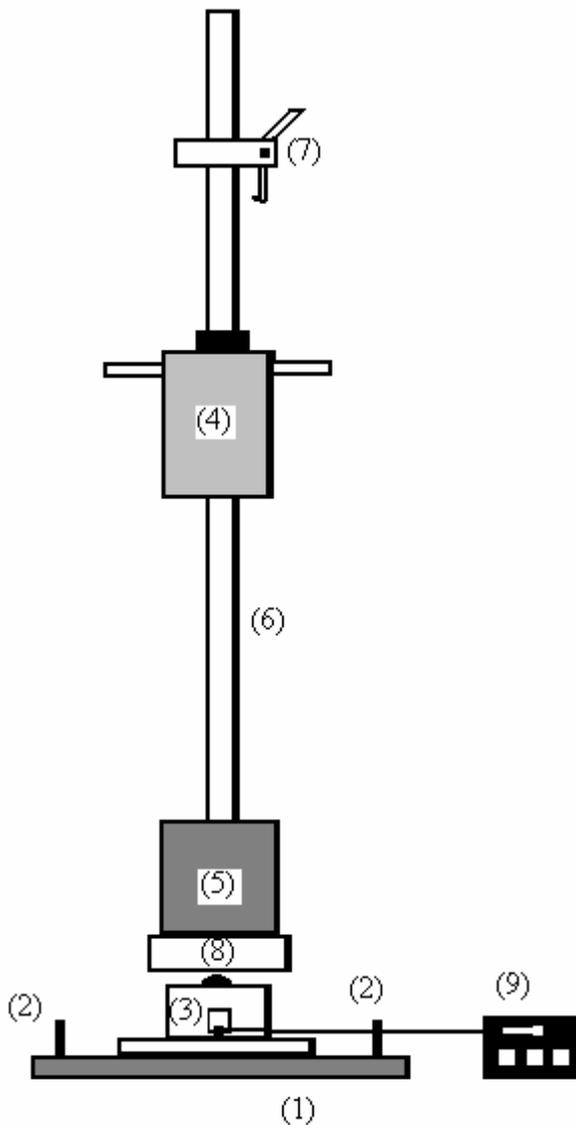
Este es el desarrollo histórico de este equipo. Ruego que me perdonen los creadores científicos mi manera tan breve y quizás parca de describir el trabajo realizado por ellos para concebir, construir y mejorar este equipo, pero yo soy técnico, no historiador.



Foto 1. Primitivo equipo ligero de impacto de los años 70 en la RDA

El equipo moderno comprende:

- Placa de carga.
- Medidor de asiento, situado en el centro de la placa de carga, en ángulo recto con la superficie receptora de la carga.
- Equipo de carga consistente en una maza suspendida, un conjunto de muelles, y una barra o tubo guía con un resorte de liberación.



- (1) Placa de carga
- (2) Asas
- (3) Sensor medidor de asiento
- (4) Maza suspendida
- (5) Conjunto de muelles
- (6) Barra o tubo guía
- (7) Mecanismo de liberación de la maza
- (8) Rótula
- (9) Equipo electrónico de medida

Figura 2. Esquema simplificado del equipo

Las características del mecanismo de carga son los siguientes:

- Masa de la maza = $10 \pm 0,1$ kg
- Masa total de la barra guía = $5 \pm 0,1$ kg (incluidos los componentes (5) a (8) de la Figura 2)
- Fuerza de impacto $F_s = 7,07 \pm 1\%$ kN

- Duración del impacto $t_s = 17 \text{ ms} \pm 1,5 \text{ ms}$

El conjunto de muelles y maza debe estar calibrado, de modo que el promedio de la desviación de la fuerza de impacto sobre el valor especificado no sea mayor de un 1%, en el rango de temperaturas comprendido entre 0° C y 40° C . La calibración del equipo también debe comprobar que la duración del impacto está en el rango de valores especificado.

La maza es de acero de tipo S355JO, y la barra guía o tubo guía de acero cromado. La maza tiene una forma tal que permite cogerla con la mano fácilmente antes y después del impacto en la placa de carga. Además, la fricción entre la maza y la barra guía es mínima.

El dispositivo para la medida de asiento comprende un sensor (acelerómetro) y un equipo electrónico de registro de datos y cálculo. El equipo electrónico utiliza la señal del sensor para determinar el asiento s de la placa al recibir el impacto de la maza. El equipo electrónico muestra y almacena el asiento máximo de cada impacto y el módulo de deformación dinámico E_{vd} calculado.

Por otra parte, el equipo electrónico muestra y almacena la velocidad v bajo la carga del impacto. Este equipo permite medidas de asiento comprendidas en el rango de $0,3 \text{ mm}$ a $1,5 \text{ mm}$, en el rango de frecuencias desde 8 Hz hasta 100 Hz y para un rango de temperaturas del aire de 0° C a 40° C . Además el equipo electrónico de lectura permite la calibración del dispositivo.

3 CAMPO DE APLICACIÓN Y PROCEDIMIENTO OPERATIVO

El ensayo dinámico de carga con placa ligera puede ser utilizado en suelos de grano grueso y en suelos de grano mixto así como en suelos de grano fino firmes o duros. El porcentaje de granos en el suelo de más de 63 mm debe ser insignificante. Puede ser aplicado para determinar el módulo de deformación dinámico E_{vd} en el rango de 15 a 70 MN/m^2 , aunque los ferrocarriles alemanes lo emplean hasta 125 MN/m^2 .

Si el ensayo se realiza en arenas uniformes secas, en costras, o en suelos saturados cuyo nivel superior haya sido perturbado de algún otro modo, la zona alterada debe ser siempre retirada antes del inicio del ensayo. La densidad del suelo que se ensaya debe alterarse lo menos posible.

Los resultados del ensayo para suelos de grano fino (limos, arcillas) solo pueden ser obtenidos satisfactoriamente y evaluados cuando estos suelos

son de consistencia dura.

La pendiente del área de ensayo no debe ser superior a 6%.

El área de ensayo debe ser preparada para que la placa de carga pueda ser colocada en una superficie lo más plana posible. Esta superficie se debe haber nivelado con las herramientas convenientes (regla o paleta de acero) o empujando y rotando la placa de carga. Las partículas sueltas de suelo deben ser retiradas. La cara inferior de la placa de carga debe estar completamente en contacto con el suelo. En caso de necesidad, se debe rellenar cualquier desigualdad con arena seca de grano medio. Sin embargo, el relleno no debe desbordar de los huecos de debajo de la placa de carga.

Una vez la superficie de ensayo ha sido preparada y la placa de carga ha sido posicionada en el suelo, el dispositivo de carga se coloca centrado en la placa de carga, y el acelerómetro para leer la amplitud de asiento que se encuentre embutido en el centro de la placa de carga está listo para el ensayo. La barra de guía se debe sostener verticalmente, incluso cuando la superficie del suelo no esté perfectamente horizontal.

El ensayo debe ser precedido por tres impactos preliminares para que la placa de carga haga perfecto contacto con el suelo. La maza debe caer libremente desde la altura calibrada, y se captura y sujeta después de cada impacto.

Después de que el dispositivo electrónico de lectura de medidas haya sido encendido, la maza se suelta tres veces, y los asientos resultantes de los tres impactos son medidos con una precisión de $\pm 0,02$ mm. Se debe cuidar que la maza caiga exactamente desde la altura especificada y se capture después de cada impacto.

El módulo dinámico de deformación E_{vd} en MN/m^2 se calcula mediante la ecuación (1) en función de la máxima tensión normal $\sigma_{max} = 0,1 MN/m^2$ bajo la placa de carga, el diámetro de la placa, y el valor medio s_{max} (mm) de los tres asientos medidos, de la siguiente forma:

$$E_{vd} = 1,5 \times r \times \frac{\sigma_{max}}{s_{max}} = \frac{22,5}{s_{max}} \quad (1)$$

El módulo dinámico de deformación E_{vd} se expresa en MN/m^2 sin fracciones decimales (ej. 41 MN/m^2).

El resultado del ensayo no es válido si hay algún movimiento lateral de la placa de carga como consecuencia del impacto de la maza. Este podría ser el caso si la pendiente del suelo es demasiado grande.



Foto 3. Dispositivo preparado para el ensayo

4 VENTAJAS Y APLICACIONES

Podemos citar las siguientes ventajas del equipo ligero de impacto para realizar ensayos de placa dinámica de carga:

- Resultados inmediatos en obra tras cada ensayo, incluso impresión inmediata en impresora portátil.
 - Bajo peso del equipo que permite un fácil accionamiento manual.
 - Ahorro de tiempo en el ensayo, ya que en dos minutos se puede realizar todo el ensayo y obtener los resultados.
 - Permite ensayar en lugares de difícil acceso.
 - No requiere camión para reacción de la carga del gato, imprescindible en el ensayo de placa de carga estática convencional.
 - Software de tratamiento de datos ya preparado, que permite el traspaso de datos al ordenador de oficina y la edición automatizada de informes.
- Entre las aplicaciones estandar están las siguientes:
- Control de capas de terraplenes.
 - Control de explanadas para pavimentos y carreteras.
 - Control de compactación de rellenos de zanjas

para canalizaciones.

- Control de calidad de construcción de canales.
- Control de capas de forma y subbalasto ferroviarias.
- Control del relleno del trasdós de muros y de huecos en cimentaciones.

Siendo de fácil manejo y proporcionando resultados instantáneos de las medidas, el equipo ligero de impacto es muy adecuado para el autocontrol interno por parte de empresas constructoras y contratistas de movimiento de tierras, ya que facilita rápidas decisiones a pie de obra para la continuidad de la construcción.

5 EXPERIENCIAS ALEMANAS EN LA APLICACIÓN DEL MÉTODO

El camino de este método de ensayo no ha sido fácil. Tras la reunificación de Alemania surgen las divergencias normales, también en el aspecto técnico, ya que en la parte occidental se empleaba el equipo de placa de carga estática para emitir el módulo de la recarga E_{v2} basado en la medida de uno o tres comparadores, cuyo valor e importancia son indiscutibles, pero que no tienen el monopolio de la precisión, ya que el equipo de carga dinámica ha demostrado que, correctamente utilizado, es tan preciso como el primero.

En primera instancia, se optó por utilizarlo como un valor complementario al E_{v2} , y solamente la tenacidad y experiencia de los propulsores del método dinámico lo llevaron a elevar su nivel en las normas técnicas alemanas. ¿Por que digo esto? Hubo dos tendencias en el uso de este equipo: los primeros interpretaban el módulo E_{vd} de una manera aritmética $E_{v2} = E_{vd} \times 2$. Desde nuestro punto de vista, este procedimiento es simplista y está lejos de la realidad, careciendo de todo rigor científico. Los otros optaron por ignorar el equipo, describiéndolo como inferior en comparación al equipo para emitir el módulo E_{v2} .

En innumerables campos de prueba con suelos diversos se fue comprobado que para cada tipo de suelo hay un módulo E_{v2} y un módulo E_{vd} , lo que impulsó a los responsables de los ferrocarriles alemanes, y luego también a los responsables de la administración de carreteras, a emitir Normas para el módulo dinámico que hoy son parte de las reglamentaciones técnicas alemanas. Como se aprecia en la Tabla 7 final, para todo tipo de red ferroviaria, y según el tipo de suelo, hay un módulo E_{vd} y un equivalente E_{v2} , ambos con el mismo peso. Se recomienda, y eso es a mi juicio justo y correcto, combinar ambos. El módulo E_{v2} se emite en un

intervalo mayor que el E_{vd} , con lo cual se pueden localizar más rápidamente puntos con insuficiencias geotécnicas.

El método de ensayo está normalizado en Alemania desde hace años por la FGSV (Asociación Alemana para la Investigación de Carreteras y Transportes), que es un organismo que concentra la investigación y la normalización sobre tecnología de carreteras y transportes, en asociación con el Ministerio de Transportes alemán. En concreto se trata de la norma TP BF-StB Parte B 8.3 “Dynamischer Plattendruckversuch mit Leichtem Fallgewichtsgerät”.

Numerosos pliegos técnicos de carreteras y ferrocarriles incorporan el ensayo dinámico de placa de carga entre sus especificaciones. Los más importantes son:

- ZTVE-StB 94 Pliego de condiciones técnicas alemán para las obras de tierras en la construcción de carreteras.
- ZTVE-StB 95 Pliego de condiciones técnicas alemán para subbases de carreteras.
- ZTVE-StB 97 Pliego de condiciones técnicas alemán para las excavaciones de zanjas y rellenos en zonas de tráfico.
- NGT-39 Normas alemanas para el uso del equipo ligero de impacto en la construcción ferroviaria.

En España se aprobó en 2008 una nueva norma Aenor de referencia UNE 103807-2, titulada “Ensayo de carga vertical de suelos mediante placa dinámica. Parte 2: Placa rígida, diámetro $2r = 300$ mm, Método 2”. El equipo ligero de impacto está ya en uso en numerosos laboratorios públicos y privados de España y Portugal, como los laboratorios de Geotecnia y de Transportes del CEDEX y varios laboratorios autonómicos.

En cuadros y tablas que figuran a continuación se exponen algunas experiencias prácticas con valores numéricos.

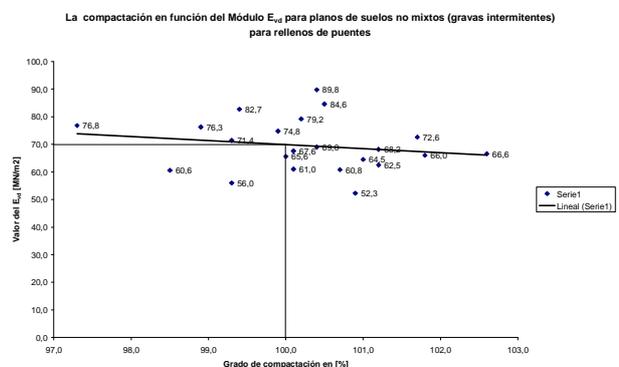


Figura 4. Ejemplo de estudio comparativo entre E_{vd} y el grado de compactación

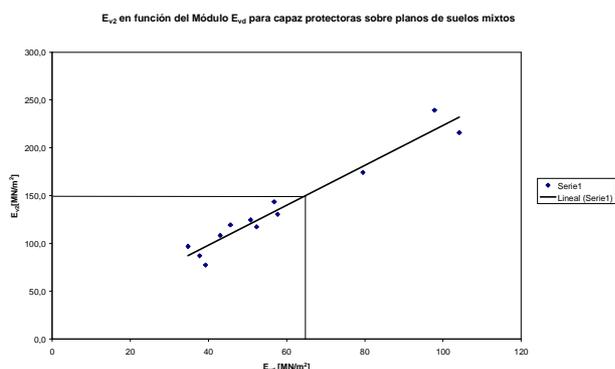


Figura 5. Ejemplo de estudio comparativo entre E_{vd} y E_{v2}

Frecuencias de las pruebas del control propio de las constructoras cuando se utilice el metodo M3		
	Tradicional (balasto)	Placas continuas de hormigón
Capas de subbalasto	3 cada 4.000 m ² , por lo menos 1 cada 100 m tramo	6 cada 4.000 m ² , por lo menos 1 cada 100 m
Capa de forma	3 cada 5.000 m ² , por lo menos 1 cada 150 m	6 cada 5.000 m ² , por lo menos 1 cada 150 m
Capas de terraplenes	3 cada 5.000 m ²	6 cada 5.000 m ²
Cimientos, apoyo de fondo	3 cada 5.000 m ²	6 cada 5.000 m ²
Relleno de puentes y de otras obras de fábrica.	3 cada 500 m ³	6 cada 500 m ³
Zanjas para cables y drenajes	3 cada 150 m de largo por m de profundidad de la zanja	3 cada 150 m de largo por m de profundidad de la zanja

Tabla 6. Frecuencias de ensayos de control

Al final de la comunicación se incluye la Tabla 7 con las especificaciones de los ferrocarriles alemanes para capas de forma y subbalasto, en las que se puede apreciar los valores mínimos especificados para el módulo de deformación dinámico E_{vd} medido con estos equipos ligeros de impacto con placa de 300 mm de diámetro. También figuran algunos comentarios y criterios para la interpretación de la tabla.

Como se puede observar en las columnas de la tabla, los ferrocarriles alemanes especifican valores mínimos tanto para el módulo estático como para el dinámico. La práctica del control de obra va haciendo que el equipo de impacto adquiera una preponderancia creciente como sistema de control de la compactación, ya que sus ventajas prácticas son bastante evidentes.

6. CONCLUSIONES

En la presente comunicación se presenta un equipo de placa de carga dinámica de 300 mm de diámetro de origen alemán, que está teniendo una creciente aceptación para el control de calidad de capas de terraplenes y subbalasto ferroviarias, tanto en España como en Portugal.

Se trata de un equipo de poco peso, accionamiento manual, dotado de un sensor electrónico de medida de asiento y de un módulo electrónico de cálculo y almacenamiento de datos que permite la obtención inmediata de resultados en obra, así como su posterior tratamiento informático en oficina para la elaboración de informes, reduciéndose al mismo tiempo la posibilidad de error en la toma de los datos y su paso a los informes.

El empleo del equipo ligero de impacto en la medida de módulos dinámicos de deformación permite simplificar el proceso de ensayo, al no necesitar camión de reacción como las placas de carga estáticas, lo que a su vez facilita la realización de un muestreo mucho más amplio de la superficie compactada a controlar.

La norma UNE española que rige este ensayo fue aprobada el año 2008, bajo el impulso de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento de España, por lo que su empleo por los laboratorios, asistencias técnicas y contratistas cuenta con el soporte técnico imprescindible.

En el texto de esta comunicación se detallan algunos aspectos importantes de la práctica alemana con este tipo de equipos en los últimos 35 años, que pueden servir de pauta para su adaptación a los requisitos técnicos de la geotecnia ferroviaria en los países ibéricos.

REFERENCIAS

Aenor (2008). Ensayo de carga vertical de suelos mediante placa dinámica. Parte 2: Placa rígida, diámetro $2r=300$ mm, Método 2. UNE 103807-2:2008, Madrid.

Fernández Tadeo, C. (2006). Ensayo de placa de carga dinámica de 300 mm de diámetro. *ALACAM - Asociación de Laboratorios Acreditados de la Comunidad de Madrid, Boletín n° 2.*

FGVS (2003). Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Strassenbau, TP BF-StB Teil B 8.3. *Asociación Alemana para la Investigación de Carreteras y Transportes.*

Tabla 7. Especificaciones de los ferrocarriles alemanes													
1	Categoria		Subbalasto		Capas protectoras					Capa de forma		Edificación	
	Categoria de la red ¹⁾	Cama de carril	E _{v2} [MN/m ²]	E _{vd} ²⁾	Material	D _{pr} [-]	Espesor [cm]			E _{v2}	E _{vd} ²⁾	Según anexo 1, Bild	
							Regiones ambientales					[MN/m ²]	
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Construcción de redes nuevas	Velocidad alta > 300 km/h Para personas	Balasto	120	50	KG 1/2	1,00	70	70	70	80	40/35	A 1.1	A 1.3
		Fijas (hormigón)	120	50	KG 2	1,00	³⁾ 40	³⁾ 40	³⁾ 40	60	35/30	A 1.2	A 1.4
	Personas v > 230 Mixtas v > 230	Balasto	120	50	KG 1/2	1,00	50	60	70	60	40/35	A 1.9	A 1.7
		Fijas (hormigón)	120	50	KG 2	1,00	³⁾ 40	³⁾ 40	³⁾ 40	60	35/30	A 1.6	A 1.8
	P 160, M 160 G 120, R 120	Balasto	100	45	KG 1/2	1,00	40	50	60	45	35/30	A 1.9	A 1.10
R 80, G 50 todas las demás	Balasto	80	40	(KG 1/2) ⁴⁾	1,00	30	40	50	45	30/25	A 1.11	A 1.12	
Mantenimiento de redes existentes	Personas 230 Mixtas 230	Balasto	80	40	KG 1/2	1,00	30	40	50	45	30/25	A 1.13	A 1.13
		Fijas (hormigón)	100	45	KG 2	1,00	³⁾ 40	³⁾ 40	³⁾ 40	45	30/25	A 1.14	A 1.14
	P 160, M 160 G 120, R 120	Balasto	50	35	KG 1/2	1,00	20	25	30	30	25/20	A 1.15	A 1.15
	R 80, G 50 todas las demás	Balasto	40	30	(KG 1/2) ⁴⁾	0,97	20	20	20	20	25/20	A 1.16	A 1.16

¹⁾ Streckenkategorien nach Modul 413.0202

P 300	Redes de alta velocidad	300 km/h
P 230	Transporte de personas	230 km/h
M	230	Transporte mixto 230 km/h
P 160	Transporte de Personas (I+II)	160 km/h
M	160	Transporte mixto 160 km/h
G	120	Transporte de mercancías 120 km/h
R	120	Red regional 120 km/h
R	80	Red regional 80 km/h
G	50	Transporte de mercancías 50 km/h

²⁾ Dynamischer Verformungsmodul; Anwendungsbedingungen siehe Abschnitt 6; Abs. 5 auf Erdplanum:
 1. Wert bei grobkörnigen Böden
 2. Wert bei gemischt- und feinkörnigen Böden

³⁾ Diese Dicke setzt eine Hydraulisch gebundene Tragschicht unter der Festen Fahrbahn von mindestens 30 cm Dicke voraus

⁴⁾ auch grobkörnige Böden GW, GI, SW und SI; siehe Modul 836.0503; Abschnitt 3

⁵⁾ Bei Ertüchtigung von Strecken für den Hochgeschwindigkeitsverkehr gelten die Neubaukriterien

<p>Regiones ambientales: Alemania se divide en tres regiones de acuerdo a la duración y la magnitud de las temperaturas mínimas en invierno. De acuerdo a esto se estipula la capa protectora del plano (subbalasto) con materiales permeables KG 2 o impermeables KG 1. Esta capa se puede reducir en redes de camas fijas (hormigón) siempre y cuando debajo de la capa protectora se construya una capa no suelta o sea una capa hidráulicamente ligada y mejorada (con cal o cemento)³ con un espesor mínimo de 30 cm. Las edificaciones de las capas de las distintas redes están establecidas en la norma de acuerdo a las gráficas normativas para terraplenes o cortes (desmontes), según las regiones y la categoría de la red, dependiendo de la cama de los railes fijas o de balasto.</p>
<p>² El valor depende del tipo de suelo. El primer valor es para suelos mixtos y el segundo es para suelos mixtos, arcillosos y limosos.</p>
<p>⁵ Para la reconstrucción de redes de alta velocidad se aplican las normas para construcciones nuevas.</p>
<p>Planos de tierra es la superficie superior del terraplen (capa de forma) o del corte (desmonte), por lo general sin restricciones en cuanto a la calidad del suelo.</p>
<p>Plano es el Subbalasto o superficie superior de la denominada capa de protección. La misma o las mismas son concebidas para proteger la vía de la penetración del frío y del agua y sus especificaciones en cuanto a material (tipo de suelo) son bastante elevadas.</p>
<p>Hay dos tipos de materiales. Los permeables se emplean en lugares con condiciones hidrológicas favorables o en situaciones geométricas donde exista un sistema de drenaje.</p>
<p>Impermeables: por lo general en terraplenes o cortes (desmontes) donde existan sistemas de drenaje o por lo menos cunetas que nos permitan transportar las precipitaciones (lluvia, nieve), y que además impidan la penetración del agua desde abajo.</p>
<p>Ambos tipos de materiales (suelos) impiden la penetración del agua desde abajo. El uno por impermeabilidad, con un coeficiente de permeabilidad menor o igual a 10^{-6} m/s</p>
<p>Y los permeables, que se emplean por lo general en regiones con tierras no limosas o arcillosas que nos permitan un drenaje natural.</p>