

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

Grupo de trabajo de Terraplenes e Ingeniería de Cimentaciones

Pliego de Condiciones Técnicas y recomendaciones para obras de tierra en la construcción de carreteras

ZTVE-StB 94

(extracto)

Versión 1994, revisado en 1997

14.2.5.- Métodos indirectos de ensayo

En lugares de difícil acceso o donde se necesite mucho tiempo para realizar ensayos de compactación y ensayos Proctor conforme a las secciones 14.2.2 y 14.2.3, por ejemplo debido a las propiedades de los materiales o a que las mediciones y ensayos no se puedan realizar con la extensión requerida debido al ritmo de ejecución de las capas, pueden utilizarse entonces los métodos abajo indicados, que caracterizan indirectamente el grado de compactación:

- (1) Ensayo de placa de carga estática, según DIN 18134.
- (2) Ensayo dinámico de carga con placa, según TP-BF parte B 8.3.
- (3) Medida de deflexiones utilizando viga de Benkelman, según TP-BF Parte 9.
- (4) Ensayo de resistencia a la penetración por golpeo con maza o por presión, según DIN 4094, pudiendo emplear también el ensayo de penetración por vibración en zanjas de servicios.
- (5) Medidas topográficas de asiento de pedraplenes y capas con bolos mayores que 200 mm o que contengan porcentajes importantes de grava y piedras.
- (6) Medición dinámica del comportamiento del rodillo utilizado para compactar, o de un rodillo especial instrumentado.

Los métodos de ensayo a adoptar en cada caso particular deberán ser indicados en la especificación técnica.

Generalmente, los métodos de ensayo (2) y (4) son de rápida aplicación. Por tanto, cuando estos métodos se utilicen, el alcance mínimo de ensayos puede ser aumentado en comparación con los métodos indicados en las secciones 14.2.2 o 14.2.3, añadiendo así significado estadístico y gran precisión a los resultados de la prueba. Dicho alcance debe ser indicado en la especificación. Al inicio de los ensayos, se deben realizar pruebas

de calibración para determinar la relación entre los resultados del método de ensayo escogido y los valores requeridos indicados en la especificación. Cuando esto no sea requerido o sea impracticable, la propiedad y el contratista pueden ponerse de acuerdo y pueden recurrir a correlaciones basadas en la propia experiencia o en la experiencia de otros para el método de ensayo escogido.

Se recomiendan los siguientes ensayos para realizar en zanjas de servicios y en sitios con espacio limitado:

- (1) El ensayo dinámico de carga con placa según TP-BF Parte B 8.3 para capas de rellenos de materiales de todo tipo, o para zanjas poco profundas.
- (2) Ensayos de resistencia a la penetración para materiales de relleno preferiblemente no cohesivos utilizando varillas especiales, y para capas de relleno de zanjas poco profundas (0,7 m).
- (3) Ensayo de resistencia a la penetración por golpeo con maza según DIN 4094, para materiales preferiblemente no-cohesivos de relleno en zanjas profundas.

14.3.- Determinación del módulo de deformación del suelo

Para ensayar la capacidad de carga y el módulo de deformación de explanadas como capa de soporte para el pavimento, debe ser comprobado el cumplimiento de los requisitos aplicables al módulo de deformación E_{v2} conforme a la Sección 3.4.7.2. A tal fin, serán adoptados por analogía los métodos M1, M2 o M3, de acuerdo con la Sección 14.1.

La comprobación será realizada empleando el ensayo de placa de carga estática, según la norma DIN 18134 o, alternativamente, por medio de los métodos siguientes de ensayo:

- (1) Ensayo dinámico de carga con placa, según TP-BF parte B 8.3.

(2) Medida de deflexiones utilizando viga Benkelman, según TP-BF Parte 9.

(3) Medición dinámica del comportamiento del rodillo utilizado para compactar, o de un rodillo especial instrumentado.

Los módulos de deformación dinámicos o de asiento obtenidos con los métodos alternativos de ensayo necesitan una calibración previa con el módulo de deformación E_{v2} , o una correlación con valores empíricos existentes y aceptados. La aplicación de estos métodos de ensayo requiere un acuerdo previo entre la propiedad y el contratista.

Cualquier mención a métodos alternativos de ensayo incluidos o métodos excluidos deberá figurar en las especificaciones técnicas.

No se requerirá ensayo del módulo de deformación de la explanada cuando:

(1) Se trate de capas estabilizadas con ligantes.

(2) Esté asegurada la obtención de los módulos de deformación en base a la experiencia local, o a través de ensayos de compactación.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

Comité para la construcción de carreteras locales

Pliego de Condiciones técnicas y recomendaciones para excavaciones en zonas de tráfico

ZTVA-StB 97

Versión 1997

1.7.2.- Control de compactación en trabajos de tierras.

1.7.2.1.- Métodos de ensayo.

El método de ensayo a emplear para verificar la compactación debe ser acordado conjuntamente entre la entidad contratante y el departamento de transporte o la autoridad competente.

1.7.2.1.3.- Ensayo dinámico de carga con placa como método de ensayo indirecto.

En vez de realizar un ensayo estático de carga con placa, se puede realizar una comprobación usando el ensayo dinámico de carga con placa, según TP F-StB parte 8.3

El método es particularmente indicado para zanjas de servicios, ya que se puede realizar rápidamente por un operador. El alcance de los ensayos puede incrementarse según se necesite. También se pueden realizar rápidamente ensayos en capas individuales (espesor menor que 30 cm).

La evaluación del valor E_{vd} medido depende del material de relleno utilizado. Los valores de correlación con el ensayo estático de placa de carga deben ser determinados previamente para cada tipo de material empleado en el relleno.

Para tal fin se pueden adoptar los valores de correlación regionales disponibles en las administraciones de carreteras, Departamentos de Obras Públicas, o Institutos Oficiales de Geotecnia.

Para materiales de relleno no cohesivos, los valores de correlación pueden ser determinados con facilidad (Anexo 14).

Para materiales cohesivos se requiere además una determinación del contenido de humedad.

1.7.2.1.4.- Ensayo de resistencia a la penetración como método de ensayo indirecto.

Es posible realizar una evaluación del relleno de zanjas mediante un ensayo de resistencia a la penetración, usando una maza de golpeo o por presión, según DIN 4094, o mediante otro equipo desarrollado para tal propósito.

Se debe determinar el número mínimo de impactos requeridos para el grado de comparación correcto, dependiendo de los tipos de suelo utilizados.

Para este fin, se pueden usar como base los valores empíricos disponibles en el Departamento de Transportes o la administración correspondiente. Cuando se clava la barra de hinca, se afloja la parte del suelo de arriba como resultado del desplazamiento provocado. Por eso el número de impactos en los primeros 50 cm no son válidos para la comparación. Se recomienda cargar la placa por lo menos con una carga equivalente apropiada (mediante anillos de hormigón o similar), con lo que se obtienen los valores de comparación desde la parte superior del borde del relleno de la zanja.

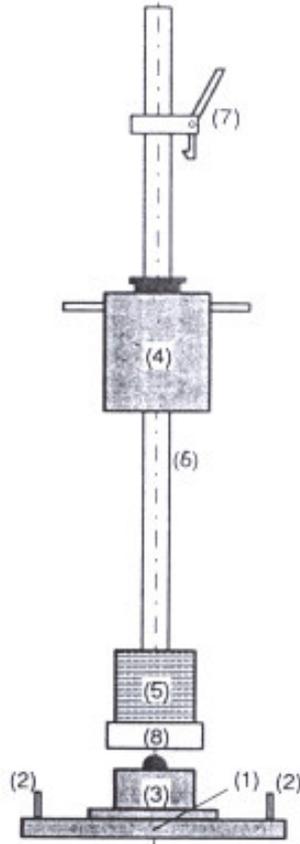
Anexo 14

Determinación de los valores de correlación para el empleo del equipo ligero de impacto (TP BF-StB parte B 8.3)

1. El ensayo dinámico de placa de carga usando el equipo ligero de impacto es un método de ensayo rápido empleado para determinar el módulo dinámico de deformación E_{vd} . Esta utilización tiene la ventaja sobre el método estático de placa de carga de que no es necesaria la colocación de un elemento de reacción para el ensayo. El ensayo se realiza en unos minutos por una sola persona, incluso en sitios de difícil acceso, si es necesario. Comparado con el ensayo estático de carga, el ensayo dinámico es mucho más económico.

El equipo ligero de impacto esta formado por los siguientes componentes y conjuntos:

- Placa de carga
- Instrumento de medida del asiento, embutido en el centro de la placa de carga, en ángulo recto con la superficie cargada.
- Mecanismo de carga, consistente en una maza de caída libre, conjunto de muelles, y barra o tubo guía con un mecanismo de liberación.



- (1) Placa de carga
- (2) Asas
- (3) Medidor del asiento
- (4) Maza de caída libre
- (5) Conjunto de muelles
- (6) Barra o tubo guía
- (7) Mecanismo de liberación.
- (8) Rótula anti-inclinación

Esquema del equipo ligero de impacto.

El método de ensayo pretende determinar el asentamiento medio del suelo producido por una carga de impacto dada. El método de ensayo puede ser empleado para determinar el módulo dinámico de deformación en el rango de 10 a 125 MN/m². Durante el ensayo se somete el suelo a una carga por impacto, producida al dejar caer una maza sobre una placa circular rígida de radio r . El módulo dinámico de deformación es un parámetro característico de la deformabilidad del suelo. Se calcula a partir del asentamiento (s) de la placa de carga, medido al aplicar la carga de impacto y de la tensión máxima (σ) bajo la placa de carga, según la siguiente ecuación:

$$E_{vd} = 1,5 r \sigma / s .$$

El método de ensayo es apropiado para suelos de grano grueso y grano mixto con un tamaño máximo de grano de 63 mm. Antes del ensayo, la superficie a ensayar se

nivela lo mejor posible, empujando o girando la placa de carga, quitando la tierra suelta. Se puede aplicar arena de grano medio seca para compensar las irregularidades que puedan existir.

Se procede en primer lugar a precargar el punto de ensayo mediante 3 impactos, para que la placa de carga quede bien asentada. El siguiente paso consiste en realizar otros tres impactos y medir las amplitudes de asiento correspondientes en cada una.

En suelos de grano fino (limos, arcillas) el ensayo sólo puede realizarse y evaluarse adecuadamente si la consistencia de dichos suelos están en un rango entre compactos y duros. En caso de duda, el contenido de humedad (que influye decisivamente el resultado de la prueba) de éstos suelos y de los suelos mixtos debe ser determinado a varias profundidades, hasta 1,5 veces el diámetro de la placa, bajo la superficie del área que se está ensayando. El ensayo no debe considerarse válido cuando el impacto de la maza cause un desplazamiento lateral de la placa de carga, por ejemplo en el caso de un terreno excesivamente inclinado.

2. Para terraplenes, la norma ZTVE-StB 94 permite el empleo del ensayo dinámico de carga con placa según las “Especificaciones Técnicas de Ensayos de Tierras y Rocas en la Construcción de Carreteras” TP BF-StB parte B 8.3 como un método indirecto de ensayo para determinar el grado de compactación Proctor o como un método alternativo para hallar el módulo de deformación E_{v2} del material. El resultado del ensayo dinámico de carga con placa es el módulo dinámico de deformación E_{vd} . La adopción del ensayo dinámico con placa de carga requiere que previamente se hayan determinado los valores de correlación con el grado de compactación Proctor o el módulo de deformación. También se puede recurrir a valores empíricos disponibles y aceptados.
3. Para determinar los valores de correlación para tierras compactadas lo recomendado es utilizar un procedimiento de actuación como el indicado a continuación:

Suponiendo una compactación aparentemente adecuada y completa del material de relleno, realizar una prueba de placa de carga estática en el centro de la zanja de

servicio siguiendo las condiciones descritas en las especificaciones de ensayo. El siguiente paso consiste en realizar dos pruebas dinámicas de carga con placa a 30 cm de distancia.

Después del ensayo de carga estático debe determinarse además el contenido de humedad del material de relleno. Repetir este procedimiento en otras zonas de la zanja de servicio. Posteriormente, relacionar los valores medios de los datos medidos de E_{vd} con los valores medios de E_{v2} del ensayo con placa de carga estática, en el caso de que el contenido de humedad en los sitios de prueba no varíe mucho.

A la hora de determinar los valores de correlación relativos al grado de compactación, debe valorarse primeramente el grado de la compactación extrayendo dos testigos cilíndricos, o mediante una cavidad para el instrumento de globo (ensayo de globo inflable). A continuación, se realiza el ensayo dinámico de carga con placa, también con un espaciado de unos 30 cm (ver Fig. 1).

Los valores de correlación entre el valor de E_{vd} y el valor E_{v2} así determinados, o el valor de E_{vd} y el grado de la compactación D_{pr} Proctor, se pueden utilizar entonces para cualquier número de posteriores ensayos que utilicen el equipo ligero de carga con placa, siempre que los materiales de relleno sean idénticos. Se recomienda determinar los valores de la correlación conjuntamente por el director de obra y el contratista, para así lograr un acuerdo en el método de ensayo.

Cuando no sea posible disponer de valores específicos de correlación para el material de relleno empleado, pueden servir de referencia los valores dados en la siguiente tabla.

E_{v2} (MN/m ²)	E_{vd} (MN/m ²)
120	60
100	50
80	40
45	25

En el estado de conocimiento actual, la extrapolación de la tabla anterior no es aceptable para valores E_{v2} superiores a 120 MN/m².

1: Pruebas comparativas adecuadas para determinar los valores de correlación

	Figura 1	Figura 2.1	Figura 2.2
Comparar	Ensayo estático con placa de carga	Grado de compactación con tomamuestras cilíndrico	Grado de compactación con el ensayo de globo hinchable
Planta			
Alzado			
	<p>¹ Secuencia de ensayo <u>Símbolos:</u> ○ □ Equipo ligero de impacto ● ■ Tomamuestras cilíndrico</p> <p>^{w²} Determinación del contenido en humedad ◐ ▨ Placa de carga estática ◑ ▩ Equipo de Globo Hinchable</p> <p>Dimensiones en cm</p>		

ZTV-StB LAS ST 96 Land of Saxony-Anhalt	Pavimento Subbases	Hoja 15 03/96
--	-------------------------------------	--------------------------------

3.1.3.3.- Ensayo

La sección 2.3.3.6 ZTVT se corregirá de la siguiente forma:

Los equipos de ensayo con placa de carga deben de ser calibrados al menos una vez al año, por organismos de calibración autorizados. El Contratista deberá suministrar al director de obra las calibraciones realizadas.

Conforme a los requerimientos de la norma DIN 18 134, se adoptará el método de sensor único de calibrado.

La sección 2.3.4 ZTVT se corregirá de la siguiente forma:

El módulo estático de deformación E_{v2} deberá ser comprobado según las especificaciones, por lo menos para cada 6.000 m² de subbase.

Para determinar la capacidad de carga, el ensayo dinámico de carga con placa que utiliza el equipo ligero de impacto según TP BF-Stb Parte 8,3 se puede considerar como una alternativa al ensayo de placa de carga estática.

El módulo dinámico de deformación E_{vd} debe de ser comprobado según las especificaciones, al menos cada 600 m² de subbase.

Se aplicará la siguiente indicación para la construcción de ensanchamientos y mejoras:

Preferentemente se utilizará el ensayo dinámico de carga con placa para determinar la capacidad de carga.

Independientemente del tipo de ensayo de placa de carga escogido, se realizará obligatoriamente un ensayo por lo menos cada 200 metros de longitud construida.

Serán de aplicación las siguientes equivalencias:

E_{v2} en MN/m²	E_{vd} en MN/m²
180	80
150	70
120	60
100	50
80	40
60	30
45	25
20	15

La equivalencia entre el módulo de deformación estático E_{v2} y el módulo de deformación dinámico E_{vd} es función del tipo de suelo, del contenido de humedad, y del grado de la compactación alcanzado. En caso de compactación adecuada ($E_{v2} / E_{v1} \leq 2,5$) los valores calculados a través de E_{vd} se esperan equivalentes a los valores E_{v2} . En caso de compactación inadecuada ($E_{v2} / E_{v1} > 2,5$) no se consigue alcanzar los valores de E_{vd} que serían equivalentes a los E_{v2} según la tabla anterior. Cuando no se alcanza la relación requerida entre E_{v2} / E_{v1} o el valor requerido de E_{vd} , será necesaria una recompactación. Únicamente en el último caso, los valores antes mencionados de equivalencia se deben incluir en el contrato.

Orden Administrativa General para “Tecnología de Construcción de Carreteras” No. 6 / 1997

Relleno de zanjas de servicios, ZTVE-Stb 94, Sección 8

Ensayo de compactación mediante el Equipo ligero de impacto conforme a TP BF-StB, Parte B 8.3

Para zanjas de servicios el material de relleno se compactará dentro de la estructura de la carretera obedeciendo los requisitos que impone la especificación ZTVE-Stb 94, Sección 3.3.2. La variable principal será el grado de la compactación Proctor D_{Pr} .

En lugares de difícil acceso o donde se necesite mucho tiempo para realizar ensayos de compactación y ensayos Proctor necesarios para determinar el grado de compactación, se pueden adoptar los métodos indirectos de ensayo conforme a ZTVE-StB 94, Sección 14.2.5. Éstos incluyen la prueba dinámica de carga con placa que utiliza el equipo ligero de impacto, de acuerdo con TP BF Parte B8.3, que es adecuado para varios tipos de aplicaciones, incluyendo controles de calidad del relleno de zanjas de servicios. Es un requisito previo, esencial para la prueba dinámica de carga con placa a emplear, disponer de una relación entre el grado de compactación D_{Pr} , el módulo de deformación estático (E_{v2}) y el módulo dinámico de deformación (E_{vd}).

La tabla 8 de ZTVE-StB 94 resume los valores indicativos para la correlación entre el grado de la compactación D_{Pr} y el módulo de deformación E_{v2} para suelos de grano grueso. Para este tipo de materiales hay también una buena correlación entre los

módulos de deformación estático y dinámico, como certifica el estudio realizado por el grupo de trabajo Forschungsgesellschaft für Strassen-und Verkehrswesen (FGSV).

En cambio, para suelos de grano mixto y grano fino, sólo es posible una correlación aproximada entre los parámetros $D_{Pr} / E_{v2} / E_{vd}$ debido a la falta de suficientes datos estadísticos.

La equivalencia de los parámetros $D_{Pr} / E_{v2} / E_{vd}$ se puede consultar en la tabla adjunta, teniendo en cuenta los aspectos anteriormente mencionados. Al realizar el ensayo dinámico de carga con placa conforme a TP BF-StB Parte B 8.3 es sumamente aconsejable que los valores tabulados sean mencionados a la hora de evaluar la compactación del material de relleno en zanjas de servicios. La Tabla refleja también los requisitos para áridos según ZTVT para subbases sobre explanadas; estos también pueden ser verificados utilizando el Equipo Ligero de Impacto.

Como comprobación final se recomienda usar, una vez terminado el relleno, penetrómetros ligeros (DPL) o semipesados (DPM) para realizar ensayos de penetración dinámica. Estos métodos sólo representan una alternativa al ensayo directo de compactación por medio del procedimiento descrito.

Al realizar el ensayo dinámico de carga con placa debe tenerse en cuenta:

1. Se requiere un contenido adecuado de humedad para conseguir un empaquetamiento denso de los materiales de relleno de grano fino y grano mixto. Si el contenido de humedad es menor que el óptimo (lado seco de la curva Proctor) el grado de compactación podría no ser suficiente aunque tengamos un módulo de deformación alto. Si la humedad in-situ difiere excesivamente del contenido óptimo de humedad de compactación, el grado de compactación puede no ser el adecuado a pesar de tener un módulo alto de deformación (E_{v2}). Por lo tanto, el contenido de humedad es necesario determinarlo en cualquier caso.

2. Para anchuras de zanja de menos de 60 cm, las zonas de borde pueden influir en el módulo de deformación del material de relleno, de modo que se mide un valor medio, por lo que el ensayo dinámico de carga con placa solamente proporciona una indicación tosca. La calibración de valores de E_{vd} por medio de las determinaciones de densidad puede ser necesaria en función de las condiciones locales (cf. ZTVE, sección 14.2.5).
3. En caso de obras importantes, por lo menos una determinación de densidad se debe realizar para comprobación, con al menos tres medidas de E_{vd} en sus inmediaciones.
4. Cuando se necesita realizar una sola medida de comprobación y disponemos de poco tiempo, el ensayo dinámico carga con placa, es muy adecuado para verificar la compactación, conforme a ZTVE-StB 94, Sección 3.3.1.2 y 14.1.4. Para ello, se mide el valor E_{vd} en el mismo lugar después de cada pasada de compactación, determinándose así cuando se alcanza la máxima compactación. Realizando después un ensayo de densidad se comprobará el nivel de densidad alcanzado. De este modo, el número de pasadas de compactación requeridas se puede definir en función del valor de E_{vd} especificado.

Al realizar los ensayos dinámicos de carga con placa es esencial que se implique la agencia de inspección de materiales y suelos competente.

En conclusión, hay que desear que el Grupo de Trabajo mencionado anteriormente prepare y se ocupe de los estudios de comparación del Equipo Ligero de Impacto. A la luz de la experiencia reunida (ver tabla) los estudios de investigación deben obtener información estadísticamente significativa de los métodos de ensayo. La agencia competente en inspección de suelos y materiales de construcción está enterada del futuro proyecto.

Anejo a la Orden Administrativa General para la
Tecnología y Ensayos en la construcción de carreteras

Relleno de Zanjas para Servicios

Comprobación de la compactación utilizando el Equipo Ligero de Impacto de acuerdo con TP BF-StB, Parte 8.3

Correlaciones entre grado de compactación y módulo de deformación (según ZTVE-StB 94, Tablas 2, 3, 8, 9, así como ZTVT-Stb 95, Tabla 2,1 y Directiva DB - A2015)

Tipo de suelo	Grado de compactación D_{Pr}	Módulo de Deformación E_{v2}	Módulo de Deformación E_{vd}
DIN 18 196	%	MN/m ²	MN/m ²
GW, GI, GU ₁ , GT ₁ según ZTVT	≥ 103	≥ 120	≥ 60
GW, GI, GU, GT según ZTVE	≥ 100	≥ 100	≥ 50
	≥ 98	≥ 80	≥ 40
	≥ 97	≥ 70	≥ 35
GE, SE SW, SI	≥ 100	≥ 80	≥ 40
	≥ 98	≥ 70	≥ 35
	≥ 97	≥ 60	≥ 32
Suelos de grano mixto GU ₂ , GT ₂ , SU, ST ej. tierra pedregosa	≥ 100	≥ 70	≥ 35
	≥ 97	≥ 45	≥ 25
Suelos de grano fino: U, T	≥ 97	≥ 45	≥ 25
Suelos de grano mixto GU*, GT*, SU*, ST*	≥ 95	≥ 30	≥ 20

1) GU/GT Suelos que contienen no más de 7% en peso de fracción inferior a 0,063 mm (ZTVT muestra de árido ya compactado).

2) GU/GT Suelos que contienen 7-15% en peso de fracción inferior a 0,063 mm.

Recomendaciones de empleo del Equipo ligero de impacto en la construcción de Ferrocarriles	NGT 39 Hoja 1
--	------------------

Sustituye a DR-A 2015

Contenido

- 1 Alcance.
- 2 Rango de medición / suelos ensayables.
- 3 Equipo de ensayo.
- 4 Principios de medida.
- 5 Requisitos para el equipo de ensayo.
- 6 Procedimiento de ensayo.
 - 6.1 Requisitos previos.
 - 6.2 Procedimiento de medida.
- 7 Evaluación.
- 8 Requisitos de capacidad de carga en el control de calidad.
- 9 Fecha de vigencia.
- 10 Documentos.

Anexo: Informe de ensayos

1.- ALCANCE

Estas recomendaciones se aplicarán al empleo del Equipo Ligero de Impacto, según TP BF-StB parte B 8.3[1], para la determinación del módulo dinámico de deformación E_{vd} en la construcción de vías férreas.

Este ensayo dinámico de carga con placa es adecuado para verificar la capacidad de carga de suelos. Es particularmente adecuado para ensayar la capacidad de carga en estructuras cargadas dinámicamente.

2.- RANGO DE MEDICION/SUELOS ENSAYABLES

El ensayo dinámico de carga con placa según TP BF-StB Parte B 8.3 [1] se puede utilizar :

- Con un rango de medidas de $10 \text{ N/mm}^2 \leq E_{vd} \leq 125 \text{ N/mm}^2$;
- Para suelos con morfologías de grano circulares, cúbicas, y granos no fracturados; también para suelos que contengan hasta un 30% de partículas fragmentadas (cf. Sección 8).
- Para suelos minerales con contenidos en tamaño de grano $d > 63 \text{ mm}$ inferior o igual a 15%.

3.- EQUIPO DE ENSAYO

- El equipo ligero de impacto mostrado en Fig. 1, consiste en:

- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| - Placa de carga | peso 15 kg; 300mm diámetro |
| - Maza de caída libre | peso 10 kg |
| - Barra guía | peso 5 kg |
| - Sistema de amortiguación | muelles con forma de copa |

- Equipo de medición de asientos

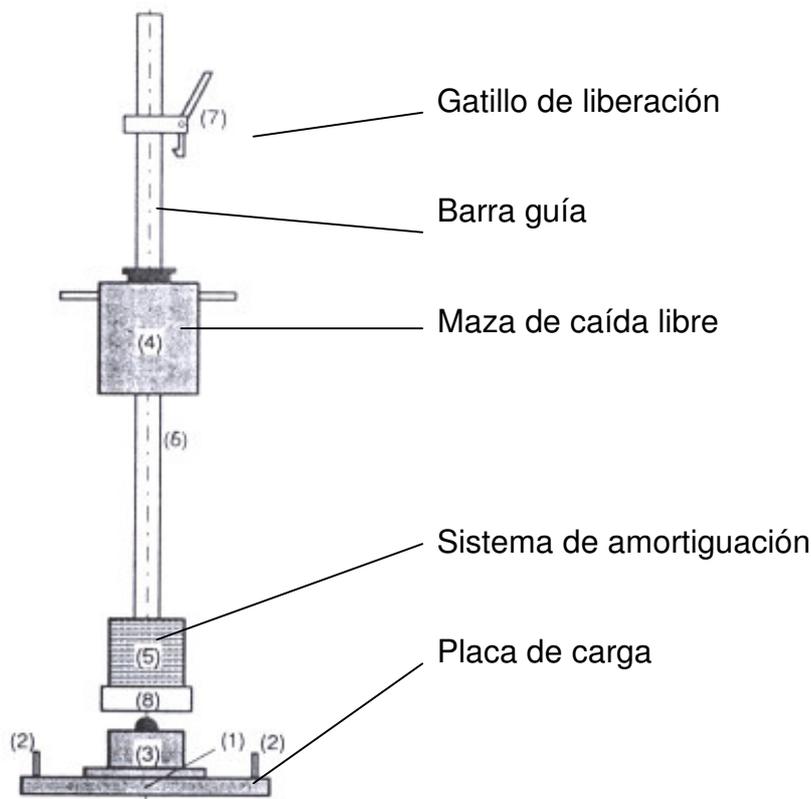


Figura 1: Esquema del Equipo Ligero de Impacto.

4.- PRINCIPIOS DE MEDIDA

Este método de ensayo mide la deformación elástica resultante de la aplicación de una carga dinámica específica ($\sigma = 0,1 \text{ N/mm}^2$).

Una maza de caída libre se utiliza para aplicar a través del sistema de amortiguación una carga de impacto a la zona a ensayar. La deformación elástica que se produce (asiento s de la placa de carga) es grabada por medio del instrumento de medición de asiento, y relacionado con la carga registrada. El módulo dinámico de deformación E_{vd} en N/mm^2 ($=\text{MN/m}^2$) es indicativo de la capacidad de carga existente.

La profundidad afectada es del orden de 1,5 veces el diámetro de la placa de carga (aprox. 400-500 mm).

5.- REQUISITOS PARA EL EQUIPO DE ENSAYO

El módulo dinámico de deformación se determina aplicando una tensión $\sigma = 0,1$ N/mm² bajo la placa de carga. Esta tensión es aproximadamente equivalente a la carga ejercida por los trenes en circulación sobre la capa de forma. Para garantizar este valor, cada equipo de ensayo es suministrado por el fabricante en condiciones de calibración. La calibración solo puede ser realizada por agencias autorizadas de inspección.

El equipo de ensayo solo puede ser utilizado con las piezas originales del fabricante que fueron utilizadas en la calibración.

El equipo de ensayo debe ser recalibrado en intervalos de dos años, si los resultados que se obtienen van a ser utilizados para la aceptación de infraestructuras de vías férreas.

El equipo de ensayo tiene que ser inspeccionado anualmente por el fabricante; tales inspecciones incluyen también la calibración. Siempre que se encuentren variaciones anómalas será necesario volver a calibrar.

6.- PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

6.1.- Requisitos previos

Los ensayos con el equipo ligero de impacto deben ser realizados por personal competente y adecuadamente formado, que haya completado los estudios en materias específicas relacionadas (por ejemplo: inspector de materiales de construcción).

La superficie que va a ser ensayada debe ser nivelada por medio de herramientas o girando y empujando la placa de carga. Irregularidades menores se pueden compensar por medio de arena de grano fino o medio. El apoyo completo de la placa de carga es esencial; no debe ladearse. La superficie a ensayar puede llegar a tener una inclinación de hasta 5%. El pestillo de seguridad que sujeta la maza durante el transporte debe de ser liberado solo inmediatamente antes de la medida.

Hay que verificar la altura de caída de la maza y ajustarla de nuevo si es necesario.

6.2.- Procedimiento de medida

Coloque la placa de carga en la superficie preparada para ser ensayada (no dejar caer la maza). Coloque la barra guía en posición vertical. Levante la maza hasta que encaje en el mecanismo de liberación; entonces, soltando la maza en caída libre, producir el impacto. Una vez que la maza ha rebotado en el sistema de amortiguación se debe agarrar.

Con este procedimiento, hay que realizar tres impactos iniciales de ajuste, para prevenir la influencia de una deformación plástica y cerciorarse de que la placa quede totalmente en contacto con la superficie que va a ser ensayada. Después se realizan los tres impactos para la medición. Coloque un pie en la placa de carga para prevenir el desplazamiento del equipo en el momento del golpeo de la maza.

Antes del ensayo, se deben anotar los datos de localización del ensayo y la fecha, junto con el número de referencia del ensayo.

Recoja muestras representativas (separadas aprox. 100 mm de la placa de carga y a una profundidad de unos 150 mm) del suelo para obtener datos significativos, para clasificación del suelo, así como para determinar su contenido de humedad. El contenido de humedad y la identificación del suelo según DIN 18 196 deben ser reflejados en el informe de ensayo junto con el valor E_{vd} . Las muestras de suelo recogidas en las proximidades del ensayo de placa de carga para determinaciones

de la densidad, pueden ser utilizadas también para determinar el contenido de humedad. Cuando el lote ensayo se considere que tiene un contenido homogéneo de humedad la recogida de muestras para tal efecto se puede reducir.

7.- EVALUACION

El modulo dinámico de elasticidad E_{vd} se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$E_{vd} = \frac{1.5 \cdot r \cdot \sigma}{s}$$

Donde:

- r = Radio de la placa de carga, en mm
- σ = Tensión debajo de la placa de carga, en N/mm²
- s = Amplitud del asiento, en mm (valor medio)
- 1,5 = Factor incluido en numerosas normas, que debe de tenerse en cuenta cuando cargamos el suelo con una placa circular.

La copia impresa “in situ” por el equipo proporciona evidencia de que el ensayo de capacidad de carga se ha realizado. Debe reflejar la información siguiente:

- Numero de referencia del ensayo
- Fecha
- Valores de E_{vd}
- Tipo de capa ensayada
- Localización física
- Espesor
- Grupo de clasificación del suelo, o granulometría característica.

Al valorar los resultados del ensayo hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Cualquier variación del contenido de humedad con respecto al valor óptimo.

- Para suelos cohesivos con valores de $I_c \geq 1$, los valores de E_{vd} son sólo aceptables en unión de los datos de densidad (rama seca de la curva Proctor).
- Medidas realizadas inmediatamente después de compactar el suelo, que incrementa la presión de agua en los poros, pueden producir resultados demasiado bajos, y quizá deban ser complementados con ensayos a posteriori.

Los cambios en los valores especificados en la Tabla 1 deben ser aprobados previamente por el departamento especializado. A este fin se tendrían que realizar ensayos de comparación para servir como referencia.

8.- REQUISITOS DE CAPACIDAD DE CARGA EN EL CONTROL DE CALIDAD

Los ensayos de control de calidad deben alcanzar los requisitos indicados en la Tabla1 (según DS 836, EzVE 2). Para aceptar un lote de ensayo se debe seguir el procedimiento indicado en ZTVE-StB 94, Sección 14 [5].

Los módulos de deformación dinámicos E_{vd} a los que se refiere la Tabla1 son requisitos de capacidad de carga, que pueden ser adoptados con el mismo nivel de exigencia que los módulos de deformación E_{v2} . Los coeficientes de correlación $E_{v2} - E_{vd}$ sólo se pueden definir en casos aislados en que el suelo es sumamente homogéneo (granulometría, contenido de humedad, etc.) y donde se hayan realizado investigaciones comparativas que ofrezcan resultados estadísticamente significativos.

Tipo de ruta		Subbalasto				Capa de forma			
		D _{Pr}	E _{v2} [N/mm ²]	Limitaciones (U = coeficiente de uniformidad)	E _{vd} [N/mm ²]	D _{Pr}	E _{v2} [N/mm ²]	Limitaciones	E _{vd} [N/mm ²]
N U E V A L I N E A	1. Vías continuas de líneas principales (excepto ferrocarriles urbanos)	1,00	120	U > 15	50	1,00	80	GE,GI,GW,GU SI/SW	40
								Otros grupos de suelo	35
	2. Vías continuas de ferrocarriles urbanos y ramales.	1,00	100	U > 15	45	0,97	60	GE,GI,GW,GU SI/SW	35
								Otros grupos de suelo	30
	3. Otras vías	0,97	80	U > 15	40	0,95	45	GE,GI,GW,GU SI/SW	30
								Otros grupos de suelo	25
M A N T E N I M I E N T O	Líneas férreas existentes	0,97	80	U > 15	40	0,95	45	GE,GI,GW,GU SI/SW	30
								Otros grupos de suelo	25
	v > 160 km/h	0,95	50	U > 15	35	0,93	20	GE,GI,GW,GU SI/SW	25
								Otros grupos de suelo	20
v ≤ 160 km/h									

Tabla 1. Requisitos de capacidad de carga

Las capas de protección de la de forma preparadas continuamente con material U < 15 tienen que satisfacer los mismos valores que si U > 15.

Cuándo se añade árido de machaqueo en porcentaje > 30% a suelos naturales de grano cúbico, deben ser especificados otros valores por expertos geotécnicos, en función del material y del porcentaje añadido. Puede que sea necesario realizar investigaciones en capas de prueba antes del comienzo de la construcción. Esto se aplica igualmente cuando se utilizan materiales con espesores de capa <0,3 metros.

En caso de capas de forma estabilizadas con cal se pueden aplicar los siguientes requisitos de capacidad de carga:

Tipo de muestra según Tabla 1	1. E _{vd} [N/mm ²]	2. E _{vd} [N/mm ²]	3. E _{vd} [N/mm ²]	4. E _{vd} [N/mm ²]	5. E _{vd} [N/mm ²]
Suelo estabilizado con cal ≤ 48 h después de la compactación	40	35	30	30	25
> 48 h después de la compactación	45	40	35	35	30
Suelo cohesivo mejorado con cal viva	40	35	30	30	25

Clasificación de suelos (Extraído de la norma DIN 18196)

Grupos Principales	Porcentaje en Peso		Grupos		Siglas de los grupos
	Diámetro de los granos				
	≤0,06 mm	≤2 mm			
Suelos de grano grueso	menos del 5 %	hasta el 60 %	gravas	gravas bien graduadas	GE
				gravas mal graduadas mezcla de gravas y arenas	GW
				gravas con granulometría discontinua mezcla de gravas y arenas	GI
	mas del 60 %	arenas	arena bien graduadas	SE	
			arenas poco graduadas mezcla de gravas y arenas	SW	
			arenas con granulometría discontinua mezcla de gravas y arenas	SI	
Suelos de grano mixto	entre 5% y 40%	hasta el 60%	gravas limosas	entre 5 % y 15 % ≤ 0,06 mm	GU
				entre 15 % 40 % ≤ 0,06 mm	GŪ*
			gravas arcillosas	entre 5 % y 15 % ≤ 0,06 mm	GT
				entre 15 % y 40 % ≤ 0,06 mm	GŤ*
	mas del 60%	arenas limosas	entre 5 % y 15 % ≤ 0,06 mm	SU	
			entre 15 % 40 % ≤ 0,06 mm	SŪ*	
		arenas arcillosas	entre 5 % y 15 % ≤ 0,06 mm	ST	
			entre 15 % y 40 % ≤ 0,06 mm	SŤ*	
Suelos de grano fino	mas del 40 %	-	Limos	U	
			arcillas	T	

Rev 10/2004