

# Nuevas alternativas al control de compactación en rellenos y explanadas

La dinámica actual del ritmo de construcción de las obras hace necesario el control exhaustivo del grado de compactación de los terraplenes en cada una de las tongadas, así como la determinación de la resistencia en fondos de desmonte y explanadas para la correcta formación de plataformas, sin interferir en la producción. Como respuesta a esta demanda, *Orbis Terrarum*, distribuye dos equipos que permiten un control exhaustivo, rápido y económico, de la compactación de suelos sin interferir en la dinámica de construcción de obra y obteniendo resultados muy fiables en el momento de su ejecución. Estos equipos son el penetrómetro ligero a energía variable *PANDA2* y el equipo de ensayo de carga vertical mediante placa dinámica *ZFG-3.0*, los cuales constituyen una herramienta rápida, eficaz, de sencillo manejo y económicamente más ventajosa que los otros métodos empleados hasta ahora en España. Las características y aplicaciones de estos equipos se exponen en este artículo.

El penetrómetro ligero *PANDA2* está presente en más de 50 países y proviene de Francia, donde se lleva empleando más de 20 años y es el equipo de referencia y obligado cumplimiento en la normativa de control de compactación en rellenos, zanjas urbanas y rurales, terraplenes, etc. Además es una herramienta útil y ligera para la investigación del terreno y la determinación de la capacidad portante en suelos allí donde otros equipos o máquinas no son capaces de acceder, por ejemplo en los fondos de zapatas una vez excavadas, o incluso la necesidad de la construcción o apertura de nuevos accesos de máquinas pesadas hacen económicamente inviable su uso, presentando el *Panda2* otra de sus ventajas, al ser un equipo transportable por una persona. Otra gran ventaja de este equipo muy apreciada en obra, y que además le hace único en el mercado, es que puede controlar varias capas al mismo tiempo.

La placa dinámica ligera *ZFG 3.0* ha sido desarrollada en Alemania, es de uso obligado y habitual para el control del grado de compactación en cada una de las tongadas de terraplenes, explanadas, cuñas de transición y relleno de trasdoses, oleoductos y gasoductos, ferrocarriles, etc.

## PANDA 2

### Características

Se trata de un penetrómetro ultraligero a energía variable, desarrollado por la empresa francesa *Sol-Solution*, que permite alcanzar hasta 5 metros de profundidad en función de la aplicación y el material ensayado (pudiendo ser superior). Debido a su reducido peso (20 kg en total) y su tamaño compacto puede guardarse en el maletero de cualquier vehículo, pudiendo ser transportado al área de estudio manualmente. Además permite acceder a zonas de traba-

Palabras clave: PANDA, PENETRÓMETRO DE ENERGÍA VARIABLE, PLACA DINÁMICA.

 José Luis FORTES REVILLA,  
ORBIS TERRARUM (Madrid).



[Fig. 1].- Penetrómetro ligero a energía variable *Panda 2*.

jo allí donde a otros equipos les es imposible, tales como espacios confinados (zanjas, sótanos, huecos de cimentación, etc.), superficies con pendiente (taludes, derrames, laderas, etc.) o sin acceso con vehículos auxiliares (Fig. 1).

*PANDA2* ha sido concebido y especialmente diseñado para ser utilizado por un único operario y no requiere de fuentes de suministro de energía. Su diseño compacto permite transportarlo de manera sencilla en cualquier medio de transporte (avión, tren, coche, etc.) ya que sus dimensiones son similares a un equipaje convencional.

El tiempo del ensayo del penetrómetro varía en función de la dureza del material atravesado, no obstante a título indicativo se puede estimar en un metro de penetración por cada 10 minutos de ensayo.

### Funcionamiento

El ensayo con el *PANDA2* es muy sencillo y básicamente consiste en la hincada en el terreno de una puntaza de acero unida a unas varillas roscadas mediante una energía que se obtiene del golpeo manual con un martillo, de peso y dimensiones estandarizadas, en un cabezal que mide la energía de cada uno de los impactos mediante una célula de presión (cabezal extensiométrico). La longitud penetrada es medida por el equipo en cada impacto obteniéndose, de este modo, la resistencia dinámica por punta a la penetración de manera instantánea en cada impacto mediante la fórmula de los *Holandeses*. Todos los datos del ensayo son registrados y almacenados digitalmente de manera automática en el *TDD* (terminal digital de diálogo o *data logger*).

Durante la realización del ensayo se presentan todos estos datos en el *TDD* pudiendo comprobar los valores de resistencia por punta ( $q_d$ ), profundidad en cada golpe y profundidad total del ensayo. El conjunto de datos de un ensayo determinan el penetrograma o diagrafía de penetración la cual representa la resistencia por punta vs. profundidad en tiempo real, pudiéndose ser consultado *in situ* tras la finalización del ensayo.

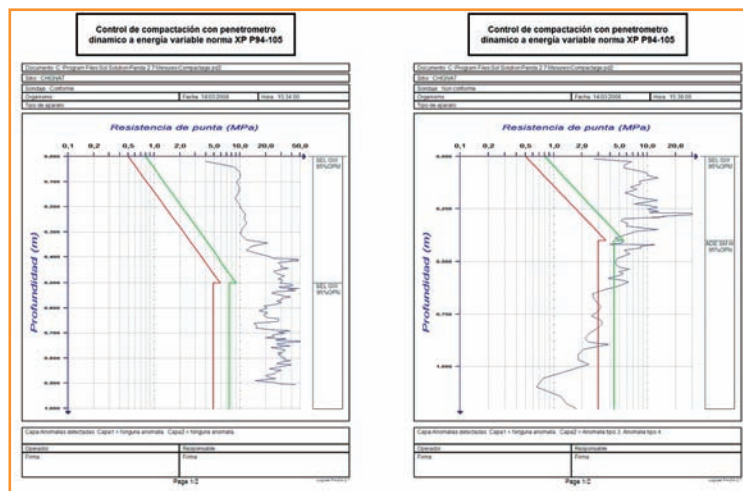
El *TDD* permite introducir datos de identificación de cada uno de los ensayos pudiéndose agrupar estos por el criterio deseado. Para el volcado y procesado de los datos de los diferentes ensayos tan solo es necesario disponer de un ordenador con conexión mediante puerto *USB*.

El procesado de los datos se realiza mediante el software *PANDA WIN* desarrollado específicamente y suministrado junto con el equipo, el cual permite crear múltiples representaciones gráficas de los datos de uno o varios ensayos de manera simultánea (Fig. 2).

La principal herramienta del software es la



[Figura 2].- El procesado de los datos adquiridos con el PANDA2, permite crear distintos gráficos de los mismos.



[Figura 4].- Resultados de dos ensayos de compactación.

posibilidad de hacer una comparativa de los datos de resistencia obtenidos con respecto a diversas clasificaciones internacionales de suelos (USCS, GTR, DIN, AASHTO, etc.) para la potencia y distribución deseada en función de la naturaleza del terreno ensayado. Actualmente se está trabajando para añadir la clasificación de suelos del PG-3, en el software del equipo. El software dispone de curvas de compactación características para cada uno de los tipos de suelos y para diferentes grados de compactación respecto a la densidad máxima del ensayo Proctor Normal o Modificado y para distintos grados de humedad del terreno (seco a saturado).

Estas curvas características han sido obtenidas de manera empírica mediante cientos de ensayos de laboratorio sobre distintos tipos de suelos y grados de compactación. La experimentación y desarrollo de los resultados ha sido realizada en la Universidad de Clermont-Ferrand de Francia.

De este modo es posible representar en el penetrograma la resistencia por punta del ensayo y comparar los valores obtenidos para una columna de terreno determinada con diferentes espesores y tipos de suelo así como grados de compactación para cada estrato o conjunto de tongadas (Fig. 3). En dicha representación se puede apreciar de manera clara las distintas tongadas, variaciones de compactación y adecuación a los valores mínimos de

exigidos, y por consiguiente la aceptación o rechazo del grado de compactación en el conjunto de todas las tongadas de un relleno.

Además el software permite modificar el sistema de unidades de representación, integrar una columna litológica, personalizar el estadillo del registro con los datos del proyecto, empresa, etc., y exportar los datos para su posterior tratamiento mediante hojas de cálculo.

### Usos

PANDA2 ofrece la posibilidad de realizar dos tipos de reconocimientos:

- **Control de compactación:** Ofrece la única herramienta de precisión para determinar de manera continua y detallada el control de compactación del conjunto de tongadas que constituyen un relleno en la profundidad investigada. La aplicación informática permite determinar si los suelos ensayados cumplen con los requisitos mínimos exigidos en la obra (% del Proctor Normal o Modificado) en su conjunto, pudiendo establecer posibles anomalías como blandones, profundidad y potencia de las mismas.

Su aplicación es múltiple en este sentido, desde reconocimientos de terraplenes en obras lineales sin necesidad de eliminar balastos o capas de rodadura, hasta

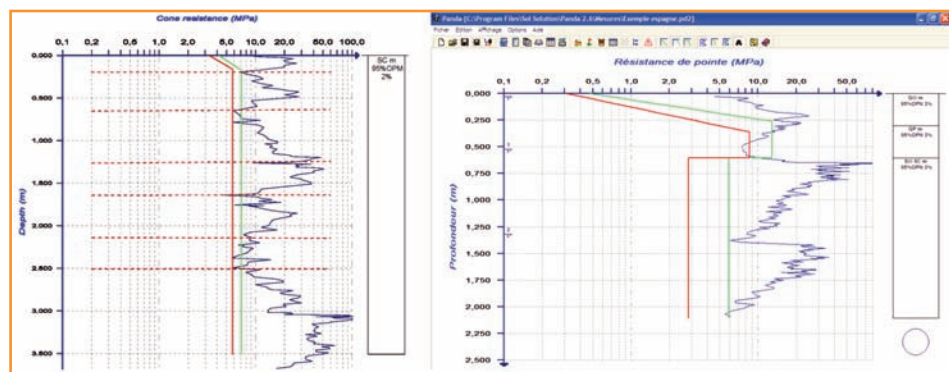
control de compactación en rellenos de zanjas de conducciones y análisis de posibles patologías asociadas. En la Fig. 4 se muestran los resultados de dos ensayos de control de la compactación, uno compactado correctamente y otro con un blandón a partir de medio metro de profundidad.

- **Estudio de reconocimiento del suelo:**

Este ensayo se realiza con una puntaza perdida para evitar el rozamiento del terreno con el varillaje y permite realizar un ensayo como un penetrómetro convencional (Borros, DPSH, DPM, etc.) apoyado en un conocimiento previo del terreno. Es posible determinar la resistencia de las unidades atravesadas y su capacidad portante hasta una profundidad de hasta 5 metros en función de la naturaleza del terreno. El valor obtenido es correlacionable con el  $N_{30}$  del ensayo SPT y con el valor de resistencia a la penetración estática ( $q_p$ ) del ensayo CPT. Este ensayo es idóneo para comprobar la resistencia del terreno en zanjas de cimentación (zapatas), espacios reducidos o confinados donde otra herramienta de investigación no es capaz de acceder o para estudios previos del terreno para instalaciones solares (Fig. 5).

### Obras

Desde su implantación en España, PANDA2 se ha empleado en obras de carreteras, ferrocarriles, plantas industriales, edificaciones, etc. Disponen de este equipo empresas privadas de control de calidad así como laboratorios públicos como el de Geotecnia y Carreteras del CEDEX y otros laboratorios autonómicos como el Laboratorio General de Álava. A modo de ejemplo se incluyen algunos trabajos realizados con PANDA2.



[Figura 3].- Representación del penetrograma y columna de terreno.



[Figura 5].- Reconocimiento del suelo y ensayo de resistencia del terreno en zanjas.

• **Comprobación de la compactación de un terraplén de la Línea de Alta Velocidad en Toledo.** En esta obra se realizaron un total de 9 ensayos **PANDA2**, con el objetivo de comprobar el grado de compactación de un terraplén. Los ensayos realizados alcanzaron profundidades de hasta 6 m. Para poder asignar las curvas de compactación del material se tomaron muestras del terraplén y se ensayaron en laboratorio para poder obtener la clasificación del suelo (Fig. 6).



[Fig. 6].- Comprobación de la compactación en un terraplén del AVE a Toledo.

• **Estudio de investigación del subsuelo en la comunidad de propietarios de la C/ Cavanilles, Madrid.** Para definir el refuerzo de una cimentación se realizaron una serie de ensayos **PANDA2** en el fondo de unas calicatas entibadas con el objetivo de comprobar la resistencia del apoyo de las cimentaciones. El reducido espacio de trabajo impedía prácticamente el empleo de cualquier otro método (Fig. 7).



[Fig. 7].- Investigación del subsuelo en un edificio en Madrid.

• **Comprobación del grado de compactación bajo solera de los rellenos en una fábrica de Barcelona.** Se realizaron un total de 50 ensayos **PANDA2** para determinar el grado de compactación de la sección de rellenos dispuestos en el interior de la nave de almacenamiento y las posibles implicaciones en las patologías presentes (Fig. 8).



[Fig. 8].- Comprobación de la compactación bajo solera de los rellenos en una fábrica.

## Equipo ligero de placa dinámica ZFG3.0

### Características

**ZFG-3.0** es el equipo portátil y ligero, desarrollado por la empresa alemana *Zorn*, y que permite realizar el ensayo dinámico de placa de carga para control de compactación de tongadas, excavación de zapatas y zanjas de conducciones enterradas. El peso completo del equipo es de unos 35 kg, se puede transportar en un turismo y posteriormente de modo manual hasta la zona de trabajo, pudiéndose acceder a zonas de escaso espacio.

Este equipo ha sido diseñado para ser utilizado por un único operario y no requiere de

fuentes de suministro de energía. El tiempo del ensayo es inferior a 2 minutos y se obtienen los resultados en el momento, pudiéndose imprimir estos para la entrega al cliente.

### Funcionamiento

El ensayo de carga vertical mediante placa dinámica es muy sencillo y rápido, consiste en la caída de una masa de 10 kg sobre una placa de placa de 300 mm de diámetro, que genera una tensión normal bajo la placa de  $\sigma = 0,1$  MPa, desde una altura constante de modo que se ejerce una fuerza de impacto de 7,07 kN. El impacto es recibido en el dispositivo de medida de asiento situado en la placa mediante un acelerómetro que determina el asiento producido, la velocidad del impacto y por consiguiente el módulo de deformación dinámica  $E_{vd}$ . El ensayo consiste en realizar tres impactos sin medida sobre la placa previa regularización y enrasado de la superficie de apoyo, posteriormente se realizan otros 3 impactos con medida proporcionando un valor medio para cada punto ensayado.

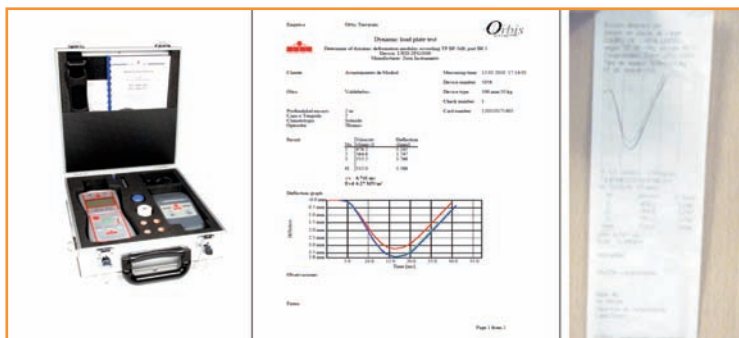
Los datos son registrados por el *data logger* y son almacenados de forma automática en una tarjeta de memoria tipo *SD*. Además, el equipo **ZFG-3.0** permite realizar una impresión en papel del ensayo con los valores obtenidos. Dada la agilidad y rapidez del ensayo, se pueden realizar tantas pruebas como se consideren necesarias (Fig 10).

La descarga de los datos se realiza mediante un adaptador de la tarjeta *SD* a puerto *USB* de ordenador. La presentación de los datos se realiza mediante el *software* que *Zorn* ha desarrollado y puede ser personalizado con el logotipo del cliente.

El ensayo se realiza bajo la *Norma UNE 103807-2:2008* y el valor obtenido es el módulo de deformación dinámica  $E_{vd}$ , dicho valor mediante un ajuste logarítmico experimental proporciona el valor muy aproximado del módulo de deformación estático de segundo ciclo de carga  $E_{v2}$ , valor básico para el control de compactación de rellenos y caracterización fondos de desmonte y explanadas según el *PG-3* y la Norma de secciones de *Firmes 6.1 IC*, ambos del *Ministerio de Fomento*. Igualmente existe una correlación entre el valor del  $E_{vd}$  y el Índice *CBR*.



[Figura 9].- Transporte manual del ZFG3.0 a la zona de trabajo y ensayo posterior de la compactación del suelo a comprobar.



[Figura 10].- Registro de los datos del ensayo con el data logger del ZFG3.0 e impresión de los mismos.



[Fig. 11].- El ZFG3.0 puede determinar el grado de compactación del terreno tanto en cimentaciones como en zanjas.

## Usos

El equipo **ZFG-3.0** ofrece la posibilidad de determinar el grado de compactación de cualquier relleno o terreno natural en fondo de excavación tanto en cimentaciones como en zanjas para conducciones enterradas (Fig. 11).

- **Control de compactación suelos:** el ensayo permite determinar el módulo de deformación dinámico  $E_{vd}$  y  $E_{v2}$  hasta una profundidad de aproximadamente 30-40 cm lo equivale a una tongada convencional para rellenos tipo terraplén (suelos).
- **Investigación del terreno:** es de gran utilidad para la deformabilidad en zanjas de cimentación, fondos de desmonte y bases de apoyo de conducciones enterradas. Igualmente es útil su empleo en campañas de calicatas para viales para ensayar distintos niveles estratigráficos de terreno natural.
- **Ensayos en firmes de asfalto:** mediante un equipo complementario se pueden realizar ensayos para determinar la dureza de una capa asfáltica y módulo de deformación para establecer posibles reparaciones.

## Obras

La placa dinámica de carga se emplea de forma habitual y obligatoria en Alemania para el control de compactación de rellenos de obras lineales (carreteras y ferrocarriles) en cada una de las tongadas de forma sistemática, así como para rellenos localizados. En España su uso está extendido en numerosos laboratorio privados y públicos como el laboratorio de Geotecnia y Transportes del **CEDEX**, así como en otros Autonómicos. A modo de ejemplo se incluyen algunos en los que se ha empleado con éxito:

- **Control de compactación del relleno de base del Polígono Industrial en Huelva:** Se realizaron 21 ensayos de placa dinámica ZFG-3.0, con el objetivo de comprobar el grado de compactación los rellenos compactados de base y de los firmes debido a las patologías existentes (Fig. 12).

- **Reconocimiento geotécnico en fondos de calicata en numerosos trabajos de investigación geotécnica:** es especialmente útil realizar una placa dinámica en fondo de calicata de reconocimiento para determinar el módulo de deformación. Por motivos de seguridad, si la calicata no está entibada, hay que tomar la precaución de limitar la profundidad de ejecución a metro y medio (Fig. 13).



[Fig. 12] .- Control de compactación de relleno.



[Fig. 12] .- Reconocimiento geotécnico en calicata.



### ORBIS TERRARUM

Cronos, 20, Portal 3 • 28037 Madrid

☎: 916 708 762

E-mail: [info@orbisterrarum.es](mailto:info@orbisterrarum.es)

Web: [www.orbisterrarum.es](http://www.orbisterrarum.es)