

## Aplicación de ensayos de carga dinámica en pilotes perforados y vaciados in situ

Application of dynamic load tests on drilled and cast-in-situ piles

*Campos M., Denisse<sup>1</sup>; Tapia V., Nicolás<sup>2</sup>; Guzman G., Aldo<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Gerente técnico, Pilotes Terratest Perú, [dcampos@terratest.com.pe](mailto:dcampos@terratest.com.pe)

<sup>2</sup>Ingeniero de proyectos, Pilotes Terratest, [ntapia@terratest.cl](mailto:ntapia@terratest.cl)

<sup>3</sup>Gerente General Regional, Pilotes Terratest, [ag@terratest.cl](mailto:ag@terratest.cl)

### **Resumen**

*El ensayo de carga dinámica es un método útil para el aseguramiento de calidad de pilotes hincados y perforados. Para pilotes hincados el ensayo se ejecuta directamente con el martillo de hinca, pero para pilotes excavados in situ se debe movilizar una masa, una grúa y un sistema de caída libre que permita dejar caer la masa de distintas alturas. La masa se define a partir de la carga última a verificar en el proyecto y las alturas de caída varían entre 0.3m y 3m.*

*El ensayo de carga dinámica es rápido, económico y debido a que existen estudios previos de bases de datos y experiencias que demuestran una buena correlación de los resultados de ensayos de carga dinámica con resultados de ensayos de carga estática, es factible su aplicación para conocer la carga que se puede activar en el pilote, estimar la carga última y además verificar la continuidad del pilote. A manera de ejemplo, se presentan resultados de ensayos dinámicos ejecutados por Pilotes Terratest Perú, en pilotes de distintos diámetros, longitudes y condiciones geotécnicas.*

*Palabras Clave: Ensayo de carga dinámica, pilote, caída libre, masa, carga activada, PDA*

### **Abstract**

*Dynamic pile load testing is a useful quality check method for driven and bored piles. In driven piles the test is performed with the same driving hammer, while in bored piles an auxiliary structure is needed to drop the deadweight. Test freefall heights usually vary between 0.3 to 3m.*

*Dynamic pile load tests are quick, economic and have good correlation with static pile load tests. Examples of different dynamic pile load tests performed by Pilotes Terratest Peru are presented, for different pile diameter, length and geotechnical conditions.*

*Keywords: dynamic load test, pile, free fall, mass, load activated, PDA*

## **1 Introducción**

El ensayo de carga dinámico se ha convertido en el método más utilizado, en los distintos proyectos alrededor del mundo, para verificar la capacidad de carga de pilotes hincados y perforados debido a su facilidad de ejecución en terreno, costo y confiabilidad técnica respaldada en correlaciones con el ensayo de carga axial estática (Likins y Rausche, 2004).

Los ensayos dinámicos en pilotes se definen como pruebas de pilotes usando efectos dinámicos, es decir, generar una fuerza o esfuerzo dentro, fuera o en el límite de un pilote mediante la intervención de masa y aceleración. Un ejemplo de la interacción dinámica entre el pilote y una masa acelerada o desacelerada es



la hincada de pilotes que permite la aplicación de la teoría de ondas de esfuerzo (Holeyman, 1992). Vaidya y Likins (2013) relatan que la investigación original de este tipo de pruebas se inició en la universidad Case Western Reserve en el año 1958; y posteriormente, el departamento de transporte de Ohio (ODOT) y la Administración Federal de carreteras (FHWA) financiaron un proyecto a partir de 1964 para un mayor desarrollo de esta tecnología.

La aplicación del ensayo dinámico se amplió a pilotes excavados usando el mismo principio, se realizaron modificaciones al procedimiento en función a las condiciones de los proyectos y con el fin de reducir la incertidumbre de las variables involucradas (Conroy et. al, 2010). Robinson et al. (2002) indica que los ensayos dinámicos en pilotes perforados se vienen realizando desde finales de 1970 y a su vez, los resultados han sido comparados y correlacionados con pruebas de carga estática usando la teoría de confiabilidad para verificar su validez y recomendar la continuidad en su aplicación (Likins y Rausche, 2004; Basakar et. al, 2011).

La teoría de ondas de esfuerzo explica que, en condiciones ideales, la onda debe ser aguda, corta, de alta intensidad y como resultado las mediciones son precisas en un amplio rango de frecuencias. Existen restricciones prácticas que limitan el logro de estas características ideales como por ejemplo la variabilidad de resistencia del material del pilote, energía, masa y limitaciones de costo; seguridad, facilidad y rapidez de interpretación de resultados. Debido a ello, Holeyman (1992) distingue los ensayos dinámicos en 3 métodos principales que dependen de los medios y objetivos: prueba de alta deformación realizada principalmente para la capacidad de carga, prueba de baja deformación realizada principalmente para la integridad y prueba cinética de alta deformación también para obtener la capacidad de carga.

Este documento se concentra en la experiencia de ejecución e interpretación de resultados de pruebas dinámicas de alta deformación en pilotes perforados. El monitoreo de este tipo de ensayo es por impacto con el fin de obtener fuerza y velocidad en función del tiempo en cada golpe; y el objetivo principal es estimar el comportamiento de carga del pilote bajo carga estática axial. Este comportamiento se puede resumir mediante una carga permisible o se puede describir mediante una curva de carga completa derivada de términos de resistencia distribuida del pilote por fuste y por punta. Las capacidades obtenidas de los ensayos permiten verificar, validar y optimizar el diseño de pilotes (Sellountou et. Al, 2016).

## 2 Procedimiento de ensayo de carga dinámico en pilotes perforados

El ensayo de carga dinámico de un pilote hincado se realiza generalmente con el martillo de instalación, cuando el martillo no sea insuficiente para movilizar las capacidades requeridas, se debe usar un martillo para ese propósito especial. El uso de un martillo de caída libre hace que las pruebas sean económicas, convenientes y mas adaptables a los requisitos especiales de cada proyecto. A continuación, se describe en términos generales, el equipo, su funcionamiento y algunas especificaciones de uso recomendadas por GRL Engineers, Inc en pilotes perforados.

### 2.1 Componentes del equipo

El equipo consta principalmente del sistema *Pile Driving Analyzer* (PDA) modelo PAK o modelo PAX de Pile dynamics, Inc (PDI), un martillo o masa que debe ser guiada para asegurar la caída libre, accesorios para la instrumentación de 8 canales (4 deformímetros y 4 acelerómetros) y un transductor de celda de carga.

El sistema PDA viene con la instrumentación para 8 canales, 4 deformímetros ubicados en la celda de carga y 4 acelerómetros ubicados en la cabeza del pilote. Esta instrumentación requiere de ciertos accesorios tales como pernos, tuercas y arandelas que permitan adherirlos a la celda y a la cabeza del pilote.

El martillo o masa que impactara en el pilote debe tener caída libre y caer alineada al eje del pilote, en ningún caso debe existir efectos laterales durante el impacto. Para asegurar ello, se debe usar un marco que sea capaz de soportar el peso de la masa de forma segura antes del impacto y debe guiar la masa

durante la caída para evitar que se mueva lateralmente. La superficie de impacto de la masa debe ser paralela a la parte superior del pilote, estar uniforme y cubrir al menos el 25% del área de la sección transversal de la parte superior del pilote.

## 2.2 Preparación de la cabeza del pilote

El plano superior del pilote debe ser suave, uniforme y en caso de pilotes verticales, debe estar nivelada. Cuando se usa un transductor de celda de carga para medir la fuerza de impacto, los acelerómetros se colocan en el pilote aproximadamente entre 20cm y 30cm por debajo del plano superior del pilote. El pilote puede extenderse al menos 30cm sobre el nivel del suelo o se puede realizar una excavación alrededor de la parte superior del pilote.

En el ensayo, las medidas de aceleración y deformación se obtienen típicamente uno o dos diámetros de pilote por debajo de la parte superior del pilote y dado que los pilotes excavados in situ poseen propiedades de material de concreto y sección transversal inciertas, conviene agregar, luego del descabezado, una extensión del pilote en la parte superior con una altura de uno a dos un diámetro y con concreto de la misma resistencia del pilote. Esta extensión de pilote sirve para la colocación de los sensores, o también se agrega una celda de carga superior para medir la fuerza aplicada directamente en la misma. Esta extensión del pilote permite la colocación de sensores en concreto limpio y en buen estado para evitar esfuerzos locales mayores (Robinson et al., 2002).

Vaidya y Likins (2013) revela que las superficies de contacto de la extensión del pilote y la celda de carga, así como de la celda de carga y la masa a caer deben ser amortiguados por unas tablas contrachapada, este efecto sumado a una buena alineación de la masa con el pilote da como resultado pequeñas cantidades de flexión en la celda de carga.



Fig. 1 – Preparación de cabezas de pilotes e instrumentación instalada.

## 2.3 Dimensionamiento de la masa e instrumentación

De acuerdo con la norma *Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Deep Foundations* (ASTM D 4945-08), el peso de la masa (M) debe estar entre el 1 y 2% de la capacidad de prueba última requerida (Q). Robinson et al. (2002), Rausche et al. (2008) y Vaidya y Likins (2013) coinciden en que se dan resultados satisfactorios cuando la masa se dimensiona bajo las siguientes recomendaciones:

- $M/Q = 1\%$ : Para pilotes embebidos en suelos cohesivos duros o cimentados en roca.
- $M/Q = 1.5\%$ : Para pilotes de fricción en general o pilotes con menos del 20% de carga en la punta.



- $M/Q = 2\%$ : Para pilotes cimentados en suelos granulares gruesos o pilotes con más del 20% de carga en la punta.

Además, la masa debe tener un peso mínimo del 7% del peso del pilote. Los resultados de los ensayos de carga dinámica pueden resultar satisfactorios si se usa una masa de proporción menor a las recomendaciones enumeradas anteriormente, siempre que se tenga suficiente altura de caída para generar la energía necesaria de activación de la carga del pilote. La altura de caída varía desde 0.3m a 3m.

La instrumentación típica en este tipo de prueba consta de 4 sensores de aceleración y 4 sensores de deformación. Normalmente, el sistema PDA recomienda obtener la información de 4 sensores como mínimo (2 sensores de aceleración y 2 sensores de deformación). Vaidya y Likins (2013) indican que el uso de 4 sensores de deformación ubicados en sentido opuesto (cada par ubicado a  $90^\circ$ ) son necesarios para cancelar los efectos de flexión. Por otro lado, Robinson et al. (2002) comenta que la señal de aceleración es menos sensible a impactos desiguales, que los estudios teóricos y resultados experimentales demuestran que el uso de un sólo sensor de aceleración (unido al costado del pilote) produce el movimiento axial promedio del pilote con suficiente precisión. Sin embargo, se sugiere el uso de al menos 2 sensores de aceleración por si uno de ellos se daña durante el ensayo y de esta manera, asegurar la medición.

#### 2.4 Ejecución del ensayo de carga dinámico

El ensayo debe proporcionar información sobre los esfuerzos generados en cada impacto, la capacidad del pilote, la integridad estructural y la eficiencia de la masa de caída libre. Se deben aplicar una serie de impactos y realizar mediciones topográficas en un punto de referencia ubicado en la extensión del pilote con el fin de verificar los niveles de esfuerzo generados en cada golpe. El primer impacto puede realizarse con una altura de caída de al menos 30cm, las alturas de caída serán crecientes y en cada impacto, se debe monitorear la integridad estructural y los esfuerzos dinámicos del pilote hasta que se aplique suficiente energía de transferencia para activar la capacidad requerida o la capacidad máxima del pilote.

Durante cada impacto, el PDA calcula los esfuerzos de compresión dinámica en la parte superior del pilote y la tensión a lo largo del pilote para que el ingeniero encargado del ensayo tome una decisión inmediata acerca de la continuación de la prueba. Una variable importante para verificar es si el esfuerzo de compresión en el pilote supera la capacidad estructural de este elemento, debido a que el pilote podría romperse durante el ensayo. Si el pilote es parte de la estructura definitiva, es decir, que se usará para la vida útil del proyecto, una buena práctica es que el ensayo finalice cuando el esfuerzo a compresión generado en el pilote sea menor al 80% de la resistencia estructural de diseño de este elemento.

El PDA es capaz de calcular la capacidad movilizada del pilote para una estimación aproximada de la capacidad última del pilote. El software se basa en ecuaciones de onda, las cuales considera las propiedades de elasticidad y masa del pilote, un comportamiento de suelo ideal plástico y un pilote ideal elástico y uniforme. Este método se conoce como *The case pile wave* o método CASE que obtiene la expresión general de condiciones teóricas y experimentales y expresa la resistencia del suelo como una suma de una componente estática y una componente dinámica.

La resistencia del suelo total tiene una componente estática y una componente dinámica, que depende de un factor de amortiguamiento ( $J$ ) y velocidad de pilote ( $V$ ). El factor de amortiguamiento se define en función al tipo de suelo y varía desde 0.5 (suelos granulares gruesos) hasta 1 (arcillas) (Vaidya y Likins, 2013). La velocidad del pilote corresponde a la medición directa en cada impacto durante el ensayo. El CAPWAP (*The Case Pile Wave Analysis Program*) es un software que mediante un proceso iterativo (*Signal Matching*) igualan señales o se simulan señales similares a las capturadas con el PDA en la prueba dinámica en campo y estima la resistencia del pilote como la diferencia entre la fuerza medida y la velocidad por la impedancia en el momento inmediatamente anterior al retorno de la onda de esfuerzo desde la punta del pilote. Cuando la resistencia no se reduce por los efectos de amortiguamiento se denomina resistencia del suelo total y cuando se realiza la corrección por los efectos de amortiguamiento se denomina resistencia del suelo estática.

El análisis por CAPWAP es capaz de distinguir la resistencia por fuste y la resistencia por punta, así como los desplazamientos en la parte superior e inferior del pilote. Una limitación, es que este tipo de ensayo no considera los efectos de fluencia o consolidación del suelo. Otra limitación se da en pilotes de diámetros grandes, en los que los desplazamientos están limitados a valores máximo de 25mm aproximadamente mientras que en pruebas estáticas se pueden llevar a cabo en pilotes muy grandes con valores de resistencia relativamente grandes y desplazamientos mayores.

## 2.5 Criterio de falla

Rausche et al. (2008) describe una serie de criterios para definir la capacidad última del pilote. Un método generalmente aceptado para obtener la capacidad de carga estática última es el criterio “Davisson” que consiste en que la falla del pilote ocurre cuando la punta logra un desplazamiento permanente de 4mm más el diámetro del pilote dividido por 120. La Federación de administración de carreteras (FHWA) recomienda para pilotes hincados y que puede ser aplicable en pilotes perforados, un desplazamiento del diámetro dividido por 30 para pilotes con diámetros menores de 90cm.

Para ensayos de carga dinámicos, Pile Dynamics Inc (PDI) recomienda para pilotes perforados de gran diámetro definir la capacidad última cuando se tenga un desplazamiento acumulado permanente en la punta del pilote de alrededor del diámetro dividido por 60. Si este desplazamiento no puede lograrse después de varios impactos sólo se determina la capacidad movilizada del pilote. Esto ocurre en pilotes en servicio cuya capacidad geotécnica es mucho mayor a la capacidad estructural del pilote, y sólo se puede realizar cierta cantidad de impactos para proteger la integridad del elemento.

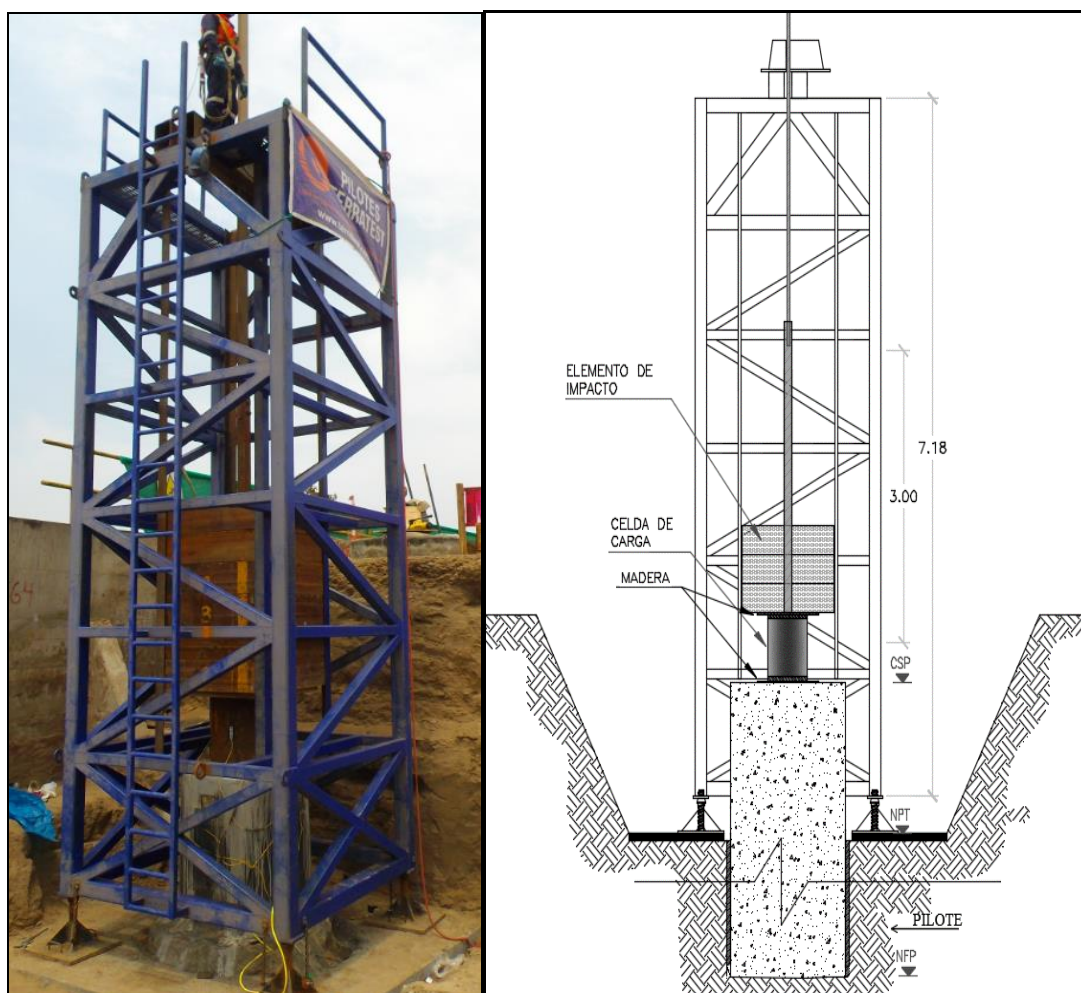


Fig. 2 – Estructura para ensayo de carga dinámico realizados por Pilotes Terratest Perú.

### 3 Ensayos de carga dinámicos ejecutados por Pilotes Terratest Perú

En los últimos 5 años se vienen realizando ensayos de carga dinámica en pilotes perforados y vaciados in situ en distintos proyectos de Perú, principalmente en los departamentos de Lima e Ica. Desde el año 2016 hasta la actualidad, Pilotes Terratest Perú ha realizado 30 ensayos en distintos puntos del país, pilotes de distintas longitudes y diámetros. En la Fig. 3 se puede observar la ubicación de los ensayos y su proporción por departamento. Los pilotes ensayados se desarrollan en suelos predominantemente granulares con la punta empotrada en roca o en suelo granular grueso como se presenta en la Fig.º4.

El total de ensayos realizados por Pilotes Terratest Perú es de 30, 21 ensayos se realizaron en pilotes de hasta 20m de longitud y 9 ensayos se realizaron en pilotes mayores a 20m de longitud llegando a una longitud máxima de 41 m en un proyecto. Los diámetros de los pilotes varían de 800mm a 1500mm, 21 pilotes ensayados poseen hasta 1000mm de diámetro y los 9 pilotes restantes poseen diámetros de 1200mm y 1500mm.

La masa utilizada en los ensayos varió entre 6.95 ton y el máximo de 20 ton, esta última utilizada en el 37% de los ensayos. Como se ha mencionado, la definición de la masa depende de la carga de prueba última requerida y esta carga de prueba se basa en el diseño de cada proyecto en particular.

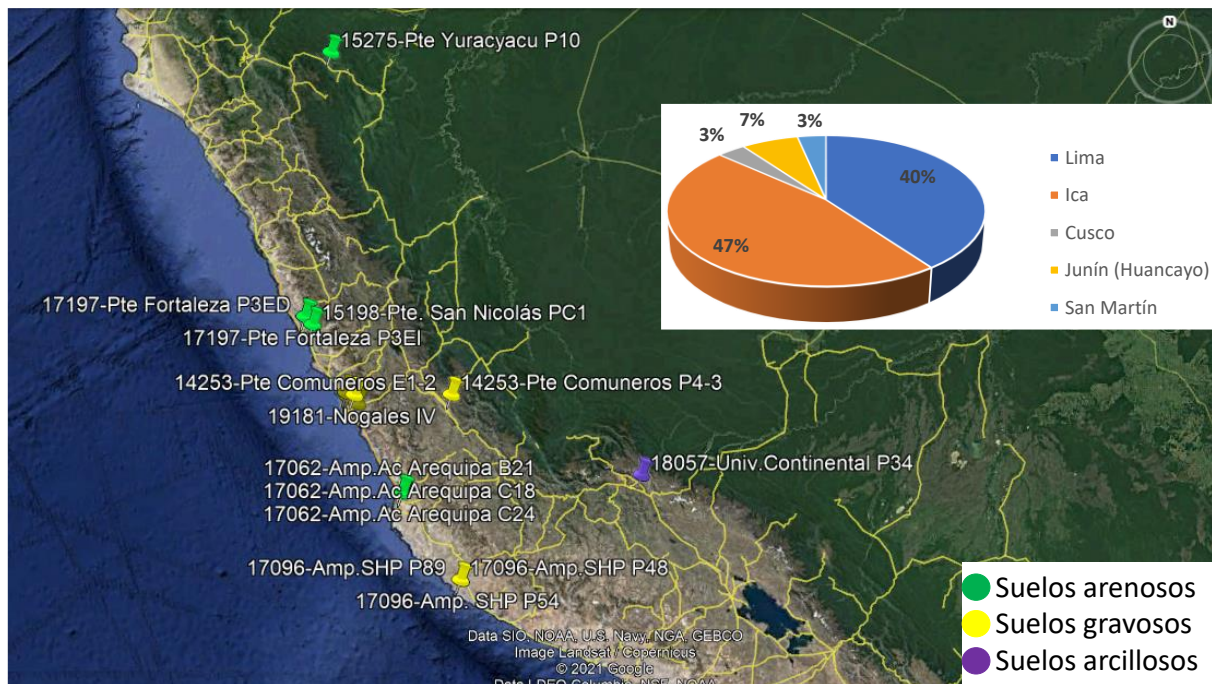


Fig. 3 – Ubicación de ensayos de carga dinámicos realizados por Pilotes Terratest Perú.

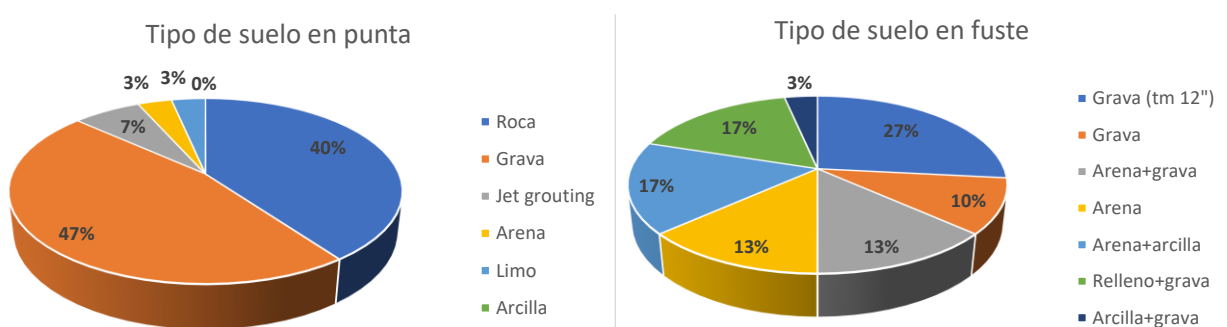


Fig. 4 – Tipos de suelo encontrados en punta y fuste en ensayos de Pilotes Terratest Perú.

#### 4 Análisis e interpretación de resultados de ensayos ejecutados por Pilotes Terratest Perú

A continuación, se presentan los resultados de 30 ensayos realizados por Pilotes Terratest Perú con las características indicadas en el ítem 3.

El resultado inmediato de los ensayos de carga dinámica es la carga total movilizada, la cual se compara con la carga de prueba última requerida para definir si el pilote es aceptable. En general, los ensayos ejecutados por Pilotes Terratest Perú muestran una carga por fuste dominante a excepción de los ensayos en la región Junín que presenta una carga por punta dominante (Ver Fig.°5). La carga total movilizada suele ser mayor a 2 veces la carga de servicio del pilote, en algunos casos llega a ser 7 veces la carga de servicio y sólo en un caso puntual no se logró la carga de servicio.

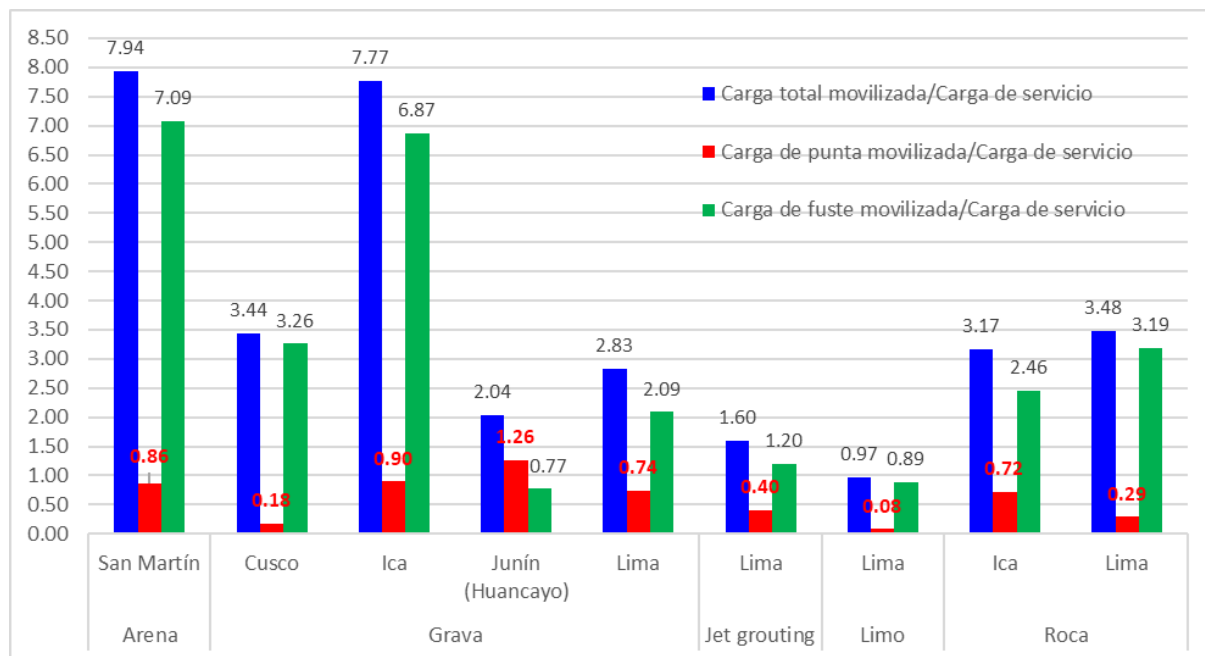


Fig. 5 – Cargas movilizadas en ensayos ejecutados por Pilotes Terratest Perú.

La masa utilizada en los ensayos ejecutados se dimensionó de acuerdo con las recomendaciones de Robinson et al. (2002), Rausche et al. (2008) y Vaidya y Linkins (2013), y se puede constatar que en el 97% de los ensayos se lograron resultados satisfactorios debido a que se consiguió movilizar al menos la carga de prueba última requerida. Se tiene un único ensayo que representa el 3% que no logró el objetivo, pero por problemas de diseño del elemento, y que no se atribuye al dimensionamiento del peso de la masa y la ejecución del ensayo.

En la Fig.°6 se presenta una medida de la eficiencia de la masa utilizada en los ensayos, la cual consiste en la relación entre la masa y la carga de prueba requerida, la masa y la carga de servicio al que estará sometido el pilote durante la vida útil del proyecto; y la masa y la carga total movilizada en el ensayo para distintos suelos en los que se aloja la punta de los pilotes y sectorizado por regiones del Perú. De esta manera, se puede realizar una comparación directa con las recomendaciones del ítem 2.3 de este documento.

Tal como fue indicado, la relación de la masa y la carga de prueba requerida debe estar entre el 1% y 2%, lo cual se verificó en la mayoría de las ubicaciones, salvo en 3 ubicaciones se tiene un valor ligeramente menor al 1% (Ver Fig.°6). Esto se debe a que la masa máxima utilizada es de 20 ton y en los proyectos en los que se requiere una mayor masa, se asegura que al menos la relación entre masa y carga de servicio del pilote sea mayor al 1.5%, y proporcionar la energía de transferencia necesaria con el uso de mayores alturas de caída, siempre que se traten de pilotes que son parte de la estructura definitiva y que serán puestos en servicio después del ensayo realizado.

Para que el ensayo sea satisfactorio, la carga total movilizada debe ser al menos la carga de prueba requerida. Por ello, la relación de la masa y la carga total movilizada en el ensayo debe ser menor e igual a la relación de masa y carga de prueba requerida. En la Fig.°6 se puede visualizar que existe un único resultado con punta en limo que no fue satisfactorio por causas ajenas a la ejecución del ensayo. Asimismo, se puede comprobar que, para pilotes con punta en roca, la relación entre masa y carga total movilizada en el ensayo es menor a 1% y resulta acertado usar este valor para el dimensionamiento de la masa. Por otro lado, para pilotes con punta en suelos granulares gruesos se tienen valores como máximo de 1.28% que resulta ser menor al valor recomendado de 1.5% a 2%.

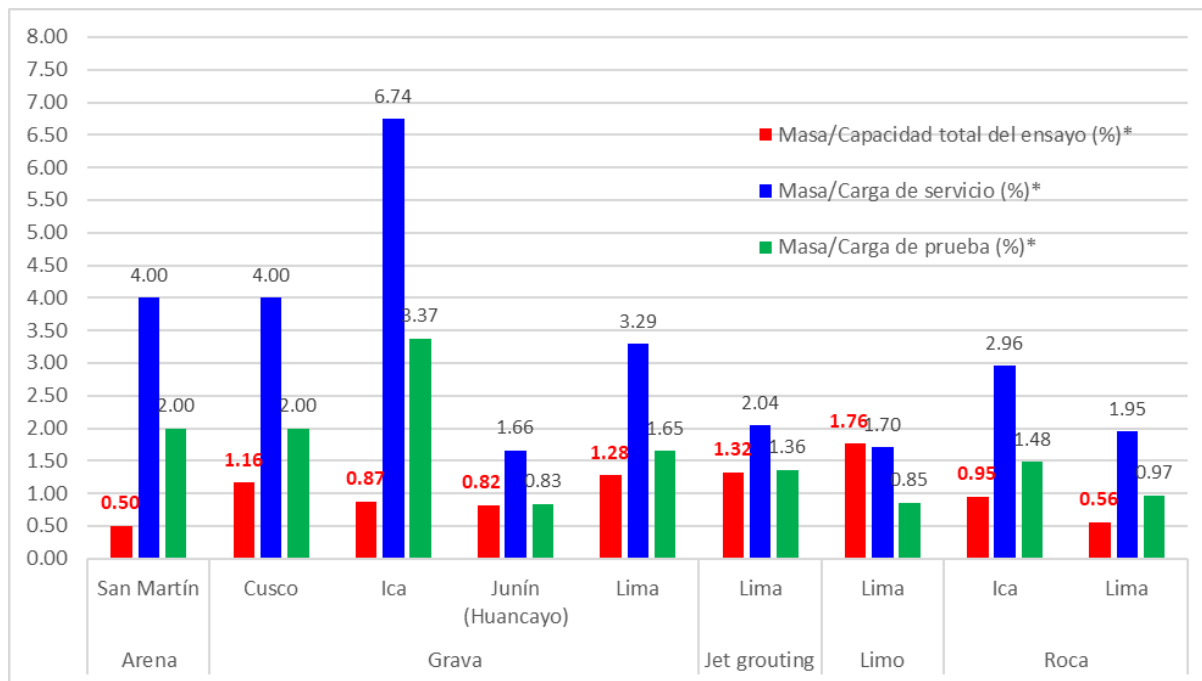


Fig. 6 – Relaciones de masa y cargas de prueba, cargas de servicio y carga total movilizadas para distintos suelos en la punta de pilotes en ensayos ejecutados por Pilotes Terratest Perú.

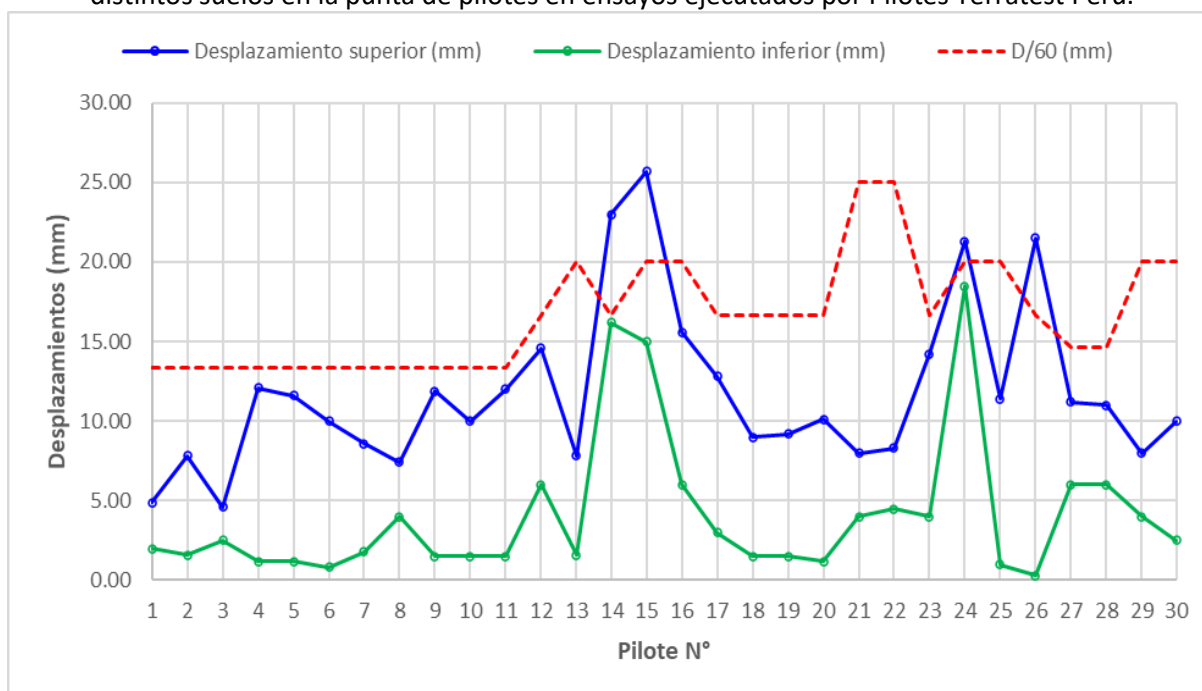


Fig. 7 – Desplazamientos en el pilote de ensayos ejecutados por Pilotes Terratest Perú.





Los resultados de desplazamientos de los pilotes ensayados se presentan en la Fig.°7, tanto en la cabeza como en la punta del pilote. De los 30 ensayos ejecutados sólo 2 ensayos alcanzaron el criterio de falla, definido como el diámetro del pilote dividido entre 60 (Rausche, 2008). Uno de ellos desarrolló 1.25 veces la carga de prueba última requerida (2.5 veces la carga de servicio), el 22% de la carga última activada corresponde a la punta del pilote y el desplazamiento fue de 16.2mm cercano al criterio de falla de 16.67mm (Diámetro 1000/60). El otro ensayo no logró la carga de prueba última requerida y llegó al 97% de la carga de servicio, sólo el 8% de la carga movilizada corresponde a la punta del pilote y el desplazamiento fue de 18.5mm cercano al criterio de falla de 20mm (Diámetro 1200/60); este pilote no fue aceptado y se ejecutó un mejoramiento de *jet grouting* en la punta. Los 28 ensayos restantes presentan desplazamientos en la punta mucho menores al criterio de falla, por lo que la carga total se reporta como movilizada y se resalta que la carga última del pilote es mayor a la obtenida en el ensayo. Si bien en estos ensayos no se llegó a la carga última, la carga máxima movilizada supera a la carga de prueba requerida y los pilotes se consideran aceptables. En estos casos, la continuidad del ensayo no fue dominada por el criterio de falla, sino que se debe asegurar la integridad estructural del pilote.

## 5 Conclusiones

El ensayo de carga dinámica es el método más utilizado en pilotes perforados a nivel mundial y en Perú por su facilidad de ejecución en terreno, bajo costo y confiabilidad técnica respaldada en correlaciones con ensayos de carga axial estática que demuestran una precisión relativamente buena de la predicción de carga total proporcionada por el CAPWAP.

Las recomendaciones para el dimensionamiento del peso de la masa a utilizar en el ensayo proporcionan resultados satisfactorios debido a que se logra activar la carga de prueba e incluso una carga mayor. La aplicación de estas recomendaciones en ensayos ejecutados por Pilotes Terratest Perú son muy acertados en pilotes en donde la punta se aloja en roca y un poco conservadores en pilotes en donde la punta se aloja en suelo granular (gravas y arenas). Sin embargo, es importante revisar en el diseño si la capacidad del pilote tiene un aporte dominante de la punta para usar la masa necesaria que logré movilizar la punta del elemento.

Los resultados de ensayos ejecutados por Pilotes Terratest Perú muestran una carga total movilizada mayor a 2 veces la carga de servicio del pilote, e inclusive llega a un valor máximo de 7 veces la carga de servicio en algunos casos. Esta carga total movilizada tiene una contribución por fuste dominante en casi la totalidad de los ensayos, sólo en un caso se tiene mayor contribución de carga por punta que por fuste.

El criterio de falla recomendado por Pile Dynamics Inc (PDI) es una buena aproximación para obtener la carga última del pilote. En general, los ensayos ejecutados reportan la carga movilizada y se resalta que la carga última del pilote es mayor a la obtenida en el ensayo; la carga máxima movilizada es mayor a la carga de prueba requerida por lo que los ensayos son aceptables.

La continuidad y finalización del ensayo es dominada por temas operacionales en terreno y por asegurar la integridad estructural del pilote, dado que son elementos que serán utilizados en la vida útil del proyecto después de la prueba.

La normativa E 050-2018 Suelos y cimentaciones de Perú exige la ejecución de una prueba de carga estática o dinámica cada 50 pilotes para aumentar el nivel de seguridad y control en las obras. Esta iniciativa se puede replicar en Chile debido a que es una necesidad en las obras y una oportunidad importante a considerar por los mandantes, oficinas de ingenierías, ITOs; y tomando en cuenta que la prueba de carga dinámica es una metodología probada a nivel mundial y sudamericano que implica un costo bastante menor que las pruebas estáticas.



## 6 Referencias

Holeyman, A. (1992). Technology of pile dynamic testing, Keynote lecture. In Proc. of the 4th Int. Conf. of Application of Stress-wave Theory to Piles (pp. 195-215).

Robinson, B., Rausche, F., Likins, G., & Ealy, C. (2002). Dynamic load testing of drilled shafts at national geotechnical experimentation sites. In Deep Foundations 2002: An International Perspective on Theory, Design, Construction, and Performance (pp. 851-867).

Likins, G., & Rausche, F. (2004). Correlation of CAPWAP with static load tests. In Proceedings of the seventh international conference on the application of stresswave theory to piles (pp. 153-165).

Rausche, F., Likins, G., & Hussein, M. H. (2008). Analysis of post-installation dynamic load test data for capacity evaluation of deep foundations. In From Research to Practice in Geotechnical Engineering (pp. 312-330).

Conroy, R., Mondello, B., Hussein, M. H., & Gissal, R. (2010). Drilled Shaft Load Testing: Made Easy and Inexpensive. Foundation Drilling Magazine, 53-57.

Basarkar, S. S., Kumar, M., & Vaidya, R. (2011). High Strain Dynamic Pile Testing Practices In India–Favourable Situations And Correlation Studies. In Proceedings of Indian Geotechnical Conference Kochi (Paper No. Q-303).

GRL Engineers Inc. (2011). Performing and Evaluating Dynamic Load Tests. <https://www.grlengineers.com/services/dlt/>.

Vaidya, R., & Likins, G. (2013). Guidelines for successful high strain dynamic load tests & low strain integrity tests for bored piles. Proc., DFI-India-2013, Mumbai.

Sellountou, E. A., Duffy, P. H., & Holman, T. P. (2016). Optimization of drilled shaft design using high strain dynamic monitoring. In Geotechnical and Structural Engineering Congress 2016 (pp. 724-734).