

DEEP FOUNDATIONS QUALITY CONTROL AND DESIGN VERIFICATION

PILE INTEGRITY AND LOAD TESTING

Juan Manuel Fernández Vincent

Gerente Técnico Regional, Pilotes Terratest

jmfernandez@terratest.cl

Santiago, Chile

Resumen

En este artículo se presenta una visión general de las pruebas o controles de calidad que se le realizan en forma habitual a los pilotes perforados. Los ingenieros deben usar las pruebas para evaluar los métodos de construcción de pilotes para garantizar que las cimentaciones se ejecutaron de acuerdo con los criterios de instalación prescriptos, y para verificar el diseño de los mismos.

La integridad estructural de pilotes hormigonados in-situ, es un tema de importancia tanto para el mandante del proyecto, como para la supervisión y la misma empresa ejecutora. Los ensayos de integridad estructural de pilotes entregan información sobre la continuidad del pilote, la calidad del hormigón y la extensión y localización de defectos. El contar con una herramienta capaz de verificar que no existen fallas significativas en los pilotes, las cuales pudieran comprometer su capacidad estructural, convierte a estos ensayos en una importante herramienta de control de calidad, tanto para especialistas geotécnicos como estructurales

Las pruebas de carga de los pilotes proporcionan una oportunidad para la mejora continua en el diseño y las prácticas de construcción, mientras que al mismo tiempo cumplen con su papel tradicional de validación del diseño y control de calidad rutinario de las obras de pilotes. Para lograr esto, los datos de las pruebas de pilotes deben ser recopilados y analizados para permitir a la industria un mejor uso de los recursos. La capacidad de las pruebas de carga para desempeñar un papel importante en la ingeniería de fundaciones para la optimización de las soluciones debe

reconocerse no sólo en términos financieros, sino también en lo que respecta a la sostenibilidad.

Abstract

This paper gives a general overview of pile testing, that are executed to bored piles. Engineers should use pile testing for assessing pile construction methods and to verify their foundation designs. Pile testing has been used to ensure that piled foundations were built in accordance with a very prescriptive set of design installation criteria.

Pile integrity of cast-in-place piles is an important issue for construction companies, construction supervision and project principal. Pile integrity tests provide information of the pile continuity, concrete quality, extent and location of defects. The ability of these tests to verify that no significant flaws are observed in foundation piles, flaws that could compromise pile structural behavior, should be seen as an effective tool for both geotechnical and structural engineers.

Pile load testing provides an opportunity for continuous improvement in foundation design and construction practices, while at the same time fulfilling its traditional role of design validation and routine quality control of the piling works. In order to achieve this improvement, data from pile tests has to be collected and analyzed to enable the piling industry, both individually and collectively, to make the best use of resources. The ability of load testing to play an important part in value engineering and the geotechnical and structural optimization of foundation solutions should be recognized not only in financial terms, but also with regard to sustainability.

Palabras Clave: Pilotes perforados; ensayos de carga; ensayos de integridad; control de calidad

Keywords: Bored piles; load tests; integrity test, construction control



Introducción

El adecuado comportamiento de una cimentación profunda depende, en gran medida, de su ejecución. La correcta selección del procedimiento y del equipo de construcción, la calidad de la mano de obra y el control de todo el proceso son aspectos esenciales. En el contexto de diferentes procedimientos de ejecución debemos prestar atención cuales controles son indicados para cada tecnología.

La construcción de pilotes requiere un análisis de las normas que establecen las reglas del arte de esta especialidad. Dada la variedad de técnicas para la ejecución de pilotes, las normas tienden a ser generales y no un manual o procedimiento de diseño y ejecución. Es por esto que el proyectista debe estar atento a las distintas posibilidades de elección y que aspectos compromete cada una. Los controles de calidad cada día aplican son una herramienta indispensable garantizar un producto final de acuerdo a las especificaciones previstas en el proyecto.

Podemos mencionar como tecnologías de fundaciones profundas disponibles en el mercado las siguientes:

- 1) Pilotes perforados
 - a) con encamisado temporal o recuperable
 - b) bajo lodo bentonítico o polímeros
- 2) Pilotes de hélice continua
- 3) Pilotes hincados (metálicos o de hormigón armado)
- 4) Barrettes (elementos de muros pantallas)
- 5) Micropilotes

Desarrollaremos algunos de los controles a aplicar a las obras de cimentaciones profundas al producto terminado.

Ensayos de control

Los ensayos de control de los pilotes se pueden encuadrar en ensayos de integridad estructural del mismo, y ensayos para verificar capacidad portante.

Ensayos de integridad estructural

Los controles de calidad para asegurar la correcta ejecución de los pilotes hormigonados in situ se llevan a cabo desde el proceso de perforación y durante el proceso de hormigonado de los mismos, pero por lo general es muy difícil o casi imposible poder confirmar la integridad del pilote luego de haber sido hormigonado, sobre todo existieran condiciones especiales que pudieran dificultar la ejecución de los pilotes.

Los ensayos de integridad entregan información básicamente sobre la continuidad y la homogeneidad del hormigón a lo largo de pilote. Son una potente herramienta para poder determinar, de manera experimental, la existencia de defectos en los pilotes de forma rápida y económica. Es importante mencionar que este tipo de ensayos no entregan información sobre el

comportamiento de los pilotes bajo condiciones de carga, es decir estos ensayos no buscan reemplazar a los ensayos estáticos o dinámicos de carga, sino que deben verse como una fuente adicional de información sobre la condición de los pilotes construidos.

Es importante reconocer que las diferencias de interpretación de ensayos para la validación de pilotes son en ocasiones importantes, por lo que la confianza en los resultados proporcionados por los métodos de control sólo pueden obtenerse si se conocen adecuadamente los principios en que se basan éstos y las limitaciones que presentan.

Dos de los ensayos más utilizados a nivel mundial para la evaluación de integridad de pilotes son el ensayo de baja deformación (low-strain impact integrity test) también llamado método sónico o de eco, al cual nos referiremos como PIT (Pile Integrity Testing) y el ensayo crosshole (CSL, por sus siglas en inglés).

Antes de realizar los ensayos es imprescindible disponer de datos previos como:

- identificación del elemento
- dimensiones y tipo de pilotes a ensayar
- situación en planta del elemento a auscultar
- cotas de cabeza y el fondo de perforación
- condiciones geotécnicas del entorno
- dosificación y características del hormigón
- incidencias durante la excavación del pilote como en el suministro del hormigón

Para definir la cantidad de ensayos a realizar se debe tener presente:

- la categoría geotécnica de la obra
- el tamaño del pilote (diámetro y profundidades)
- el tipo de ejecución del pilote (en seco, con camisa, con lodos, perforado, barrenado, etc.)
- la disposición del pilote en el cabezal, en grupo o individual
- el tipo de cargas que soportará la cimentación y las condiciones de diseño (resistencia por fuste, punta o ambas)
- conocimiento del entorno geotécnico y las dificultades constructivas
- la experiencia y maquinaria disponible de la empresa especialista

En los métodos no destructivos, como concepto “defecto” se debe entender de formal general una o varias irregularidades observadas en los registros obtenidos, que indica la presencia de una posible heterogeneidad que afecta a la integridad del elemento.

Anomalía: desviación de la forma normal del registro del ensayo.

Fallo: Desviación con respecto a lo previsto en la forma o en el material constitutivo del pilote

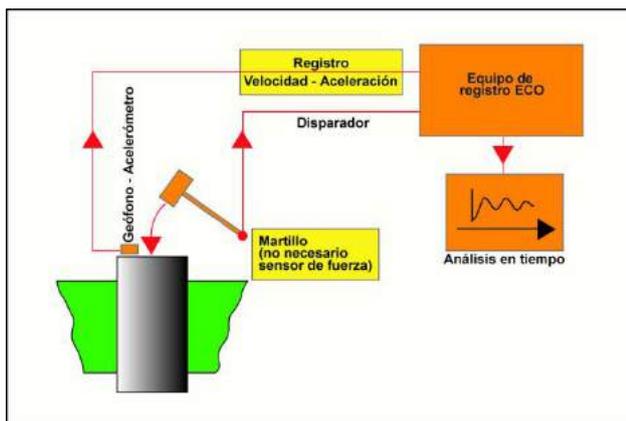


Defecto: cuando los fallos por su tamaño o localización pueden llegar a reducir la capacidad resistente del pilote o su durabilidad.

Ensayos de Eco o PIT

El ensayo PIT, el cual se basa en la teoría de propagación de ondas, consiste en golpear la cabeza del pilote con un martillo ligero que genera una onda de compresión que viaja a lo largo del pilote. La onda se refleja cuando se encuentra con un cambio de impedancia o la punta del pilote, incluso por efectos del suelo que rodea al pilote. La señal creada por el golpe del martillo es medida por un acelerómetro que se coloca en la cabeza del pilote. La señal resultante, llamada reflectograma, es capturada por el acelerómetro y transmitida a un computador para su evaluación. Estos ensayos permiten controlar pilotes u otros elementos estructurales siempre que la geometría sea cilíndrica o prismática.

Figura 1. Esquema general de la técnica.



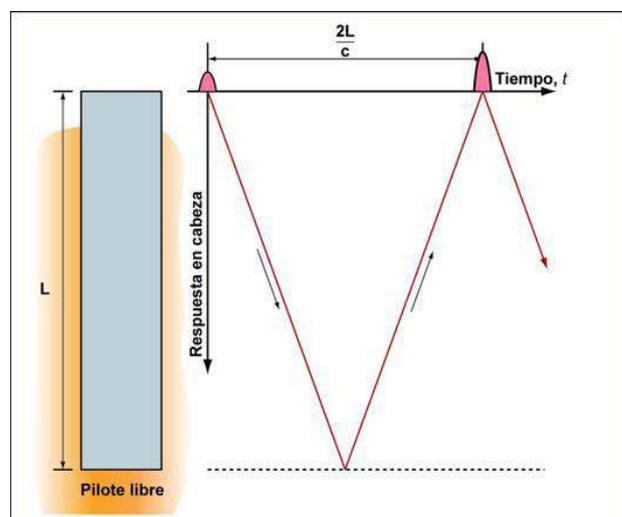
Estas técnicas se emplean exclusivamente en pilotes, y generalmente con diámetros menores y siempre en condiciones que permitan que las relaciones longitud/diámetro de los pilotes no sean elevadas

En el ensayo se provoca, con un martillo ligero de mano, un impacto en la cabeza del pilote. El impulso mecánico genera un tren de ondas que se transmite a lo largo del cilindro o barra a una velocidad que dependerá de las características del material. El frente de onda que se genera en el punto de impacto realmente tiene forma esférica pero, a una distancia de dos diámetros se puede considerar como un frente de onda plano que se transmite por el cilindro a una velocidad de propagación c , de valor $c = \sqrt{E / \rho}$, donde E es el módulo de elasticidad dinámico del material y ρ la densidad. En el hormigón esta velocidad varía entre 3500 y 4400 m/s.

En su camino descendente por el pilote, la onda sufre disipación de energía por amortiguamiento debido al propio material prismático. Si, además el elemento está rodeado de material, como sucede en un pilote en todo su fuste al estar

rodeado de suelo, la pérdida de energía de la onda es mucho mayor. El amortiguamiento de la señal depende entonces de la relación de rigideces entre suelo y pilote. Si el terreno que rodea al pilote es blando o suelto, una gran cantidad de energía se transmite a lo largo del pilote sin disiparse lateralmente. La onda se transmite de ese modo hacia la punta del pilote donde parte de la energía se transmite al terreno bajo la punta y parte se refleja. El análisis de la onda reflejada (Eco) permite obtener información sobre los cambios de características mecánicas a lo largo del pilote. Se trata por tanto, de realizar un análisis de las ondas reflejadas causadas por cambios significativos en las propiedades del pilote o del terreno en que se sitúa.

Figura 2. Curva Eco teórica de pilote en condiciones de punta libre.



Los cambios en las características geométricas (forma del pilote) o en las propiedades del material que lo constituyen y que producen ecos que permiten diagnosticar el estado del pilote son:

- Área de la sección transversal del pilote
- Densidad del material
- Módulo de elasticidad o velocidad de la onda en el material

Estos aspectos se engloban en el término Impedancia y que se define como:

$$Z = \rho \cdot c \cdot A = E \cdot A / c$$

donde Z es la impedancia de una sección del pilote, ρ la densidad del material, c la velocidad de propagación de la onda de compresión, A el área de la sección transversal y E el módulo de elasticidad dinámico. Como la densidad del suelo varía relativamente poco de una zona a otra, aunque haya cambios importantes en las propiedades del material, los dos parámetros que más afectan el valor de la impedancia son c y A , y principalmente éste último. Por lo tanto con las reflexiones del Eco se están registrando variaciones en la velocidad y sobre todo el área transversal de los pilotes ensayados. En un pilote sin defectos, en un terreno homogéneo, el primer cambio de



impedancia que se produce es en la punta del pilote. La reflexión que llega a la cabeza habrá recorrido la distancia $2L$, siendo L la longitud del pilote. Si se registra en la cabeza del pilote con un geófono o acelerómetro en tiempo t , que ha tardado la onda en volver a la cabeza tras el impacto y se conoce la velocidad c (3500-4400 m/s) se puede calcular la longitud del pilote como: $L = c \cdot t / 2$.

Figura 3. Ejecución ensayo PIT (arriba), ejemplos de reflectogramas típicos: (a) Pilote continuo, se refleja la punta, (b) pilote continuo punta empotrada o apoyada en estrato muy duro, (c) aumento de impedancia (ensanchamiento), (d) reducción de impedancia (estrechamiento).

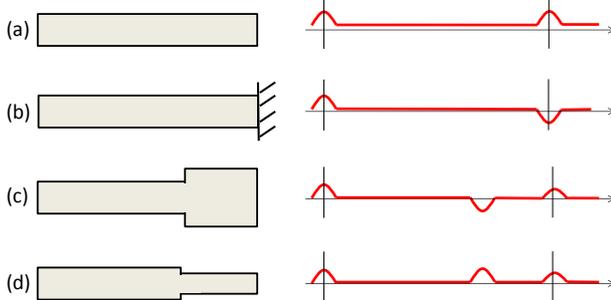
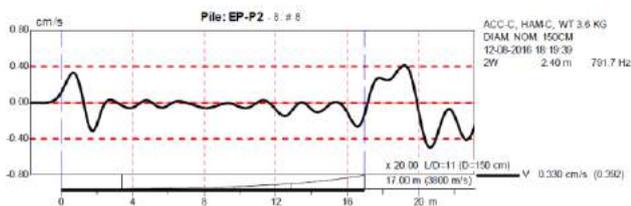


Figura 4. Resultado reflectograma PIT de pilote continuo e íntegro.



Se analizara que las reflexiones en el mismo sentido que las del impacto se deben a un descenso de la impedancia y en sentido contrario a un aumento de la impedancia. Como hay que indicar si se trata de un aumento o disminución de la impedancia y esto puede estar afectado por las condiciones de contorno, para la interpretación se requerirá de la utilización del perfil geotécnico y de los partes de perforación y hormigonado.

El Eco con análisis en el tiempo t , debe tomarse como un método sencillamente de análisis de integridad. No puede exigirse precisión de la medida de la profundidad debido a que para el cálculo se supone una determinada velocidad de propagación. La atenuación de la señal depende de la esbeltez del pilote (L/D) y de la rigidez del terreno. En terrenos blandos o sueltos pueden interpretarse bien los registros con esbelteces hasta 30:1 o superiores, e incluso en la bibliografía se describen resultados buenos con esbelteces de 60:1 en suelos aluviales. Si el terreno es rígido puede ser muy difícil analizar los registros de pilotes con esbelteces incluso inferiores a 20:1. Aunque sea exagerado, la norma francesa considera como campo de aplicación de ambas técnicas esbelteces entre 10 y 30, y diámetros inferiores a 1m, salvo si el pilote está en suelos blandos en los que se puede aumentar la esbeltez. La atenuación puede por sí misma impedir detectar la punta del pilote, pero además la punta puede quedar enmascarada por la presencia de cambios de impedancia en el terreno circundante. Los cambios de impedancia en el propio pilote serán los que dificulten el análisis de resultados, pero a la vez serán los que nos proporcionen información del estado de integridad. Para que sean detectables por estas técnicas y los equipos empleados, las variaciones de impedancia deben ser de al menos un 20%. Si los defectos están muy próximos a la cabeza de los pilotes habrá que considerar que la longitud de onda que generamos es de unos 3-4 m. Por lo tanto puede ser que no sea detectable con los ensayos de Eco en el tiempo. A pesar de sus limitaciones, dado que no detectan todas las imperfecciones, son una buena herramienta para detectar defectos significativos y comprobar la longitud teórica de los pilotes de forma sencilla.

Ensayos de transparencia sónica o cross-hole

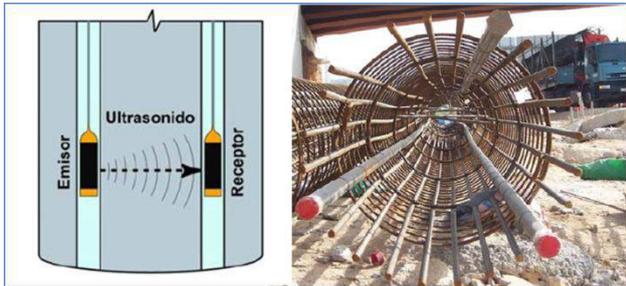
El ensayo crosshole (CSL) consiste básicamente medir el tiempo de que tarda una onda ultrasónica en propagarse desde un emisor a un receptor, los cuales se mueven simultáneamente a lo largo del pilote a través de dos tubos de auscultación, los cuales están sujetos a la armadura del pilote y quedan hormigonados permanentemente dentro del pilote. El tiempo medido es función de la distancia entre el emisor y el receptor, así como de las características del medio atravesado.

El equipo de medición consta básicamente de una sonda emisora y una receptora, un computador de terreno y un set de poleas equipadas con un sensor de profundidad, con los que se registra la posición de las sondas mientras se desplazan simultáneamente a través del pilote. A medida que las sondas van ascendiendo por los tubos de auscultación, los cuales deben estar llenos con agua al momento del ensayo, se emite un pulso ultrasónico (p. ej. > 20.000 Hz) normalmente cada 5 cm y se registra continuamente el tiempo de llegada de la onda (FAT, por sus siglas en inglés) y la energía relativa entre sondas. A la medición y registro de datos entre dos tubos se le conoce como perfil. El número de perfiles medidos es función del



número de combinaciones entre tubos de auscultación. El número de tubos de auscultación dependerá del diámetro del pilote. El ensayo es llevado a cabo de acuerdo a la norma ASTM D6760.

Figura 5. Esquema de medición de CSL y tubos metálicos alojados en la armadura del pilote.



En el caso de existir defectos en el camino de las ondas tales como inclusiones de suelo, oquedades, coqueras u otros que hagan alargar el tiempo de recorrido, en la gráfica del ensayo queda reflejada la variación y la profundidad a la que se ha producido la anomalía.

Para realizar los ensayos se deben dejar previstos tubos de para introducir las sondas hasta la profanidad que se quiera ensayar. Los tubos deben ser preferentemente de acero, con diámetro mínimo 40 mm y preferiblemente 50 mm. Los empalmes deben realizarse mediante manguitos roscados y los extremos inferiores deben cerrarse herméticamente por medio de tapones metálicos para evitar la entrada de elementos extraños y para evitar la pérdida de agua que deben contener durante el ensayo. Los extremos superiores deben cerrarse y sobresaldrán al menos 40 cm del hormigón del pilote.

Hay aspectos que afectan significativamente a la medición:

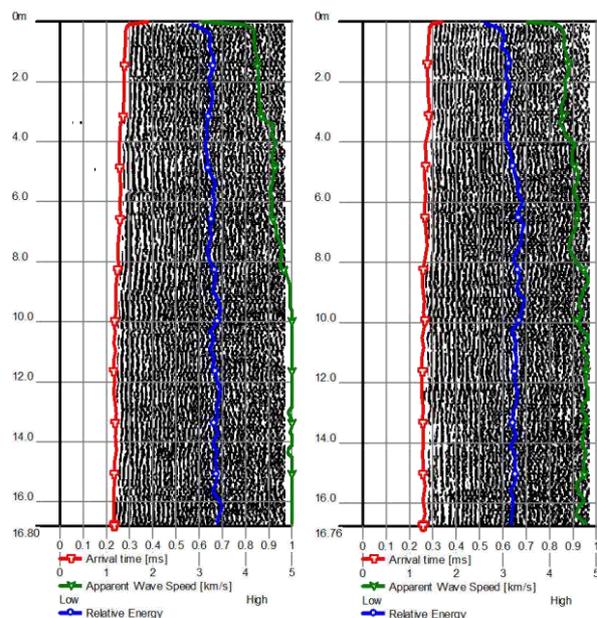
- las sondas en el interior de los tubos no deben moverse lateralmente
- las sondas deben mantenerse en la misma profundidad a lo largo de todo el recorrido
- en ocasiones los tubos no mantienen las distancias en toda la profundidad
- la edad del hormigón debe ser de al menos 5-7 días.

El análisis de los perfiles registrados permite la detección de anomalías presentes en el pilote, las cuales se manifiestan mediante un incremento en el tiempo de llegada de la onda (FAT) y/o una reducción de la energía relativa (intensidad de señal). La velocidad de onda del hormigón puede ser estimada dividiendo la distancia entre los tubos de auscultación del perfil evaluado entre el tiempo de llegada de la onda (FAT), esta velocidad de onda deber entenderse como una velocidad de onda aparente, debido a que los tubos de auscultación pueden desviarse de su posición original al momento de instalar los cuerpos de armadura o durante el proceso de hormigonado del

pilote, lo que genera que los tubos no sean completamente paralelos a lo largo de todo el pilote.

La velocidad de onda aparente puede usarse un apoyo al momento de evaluar la calidad del hormigón debido a que la velocidad de onda está directamente relacionada con la resistencia a la compresión del hormigón, sin embargo la evaluación de integridad debe basarse en el tiempo de llegada de la onda (FAT) entre sensores, ya que junto con la intensidad de la señal (convertida en energía relativa), son los principales parámetros que se miden en el ensayo. Por lo general un incremento significativo en el tiempo de llegada de la onda (FAT) acompañado de una significativa reducción de la energía relativa indican la presencia de una anomalía, mientras que si solo se observa una reducción de energía sin incremento en el tiempo de llegada (FAT) indicaría la presencia de hormigón de menor calidad mas no necesariamente un defecto en el pilote.

Figura 6. Perfiles diagonales del ensayo CSL.



El método se debe considerar como una técnica para evaluar la continuidad del pilote y la homogeneidad del hormigón de forma cualitativa. Como ventaja, presenta una gran precisión en la medida de profundidades (20 mm) y es el método más recomendable para evaluar la integridad de los pilotes en toda su longitud.

Ensayos de carga

Una falta de objetivos respecto de los ensayos de carga, usualmente significa que la inversión en ese ítem estará pobremente orientada. Los requerimientos del ensayo pueden estar simplemente orientados a cumplir con la normativa y seguir la práctica común, más que promover la mejor práctica.

La habilidad de hacer que el ensayo de carga sea una parte importante de la ingeniería de valor y una optimización



geotécnico-estructural de las soluciones fundaciones debe ser reconocida no sólo en términos económicos, sino asociados a la sustentabilidad. Es importante, que los pilotes a ensayar se programen en el inicio del proyecto y con el suficiente tiempo para, en función de los resultados obtenidos implementar la mejora en el proyecto final.

El tomar los ensayos como una tarea más, impide que el costo del mismo se torne en una inversión para la mejora del proyecto actual o futuro, y que el costo del mismo sea solventado por la mejora del proyecto, generalmente porque aparecen situaciones como:

- falta de tiempo para realizar los ensayos y evaluar los resultados
- falta de flexibilidad en el programa de ensayos
- no prever la reingeniería asociada a los resultados
- especificación de criterios de comportamiento no realistas de carga-deformación.
- especificación del método de ensayo inapropiado
- las condiciones de cargas no representan las condiciones de servicio de los pilotes
- los pilotes raramente son cargados hasta la falla

Los ensayos de carga ofrecen una oportunidad para una mejora continua del diseño de las fundaciones y las prácticas de construcción, mientras que al mismo tiempo se cumplimentan los requerimientos de validación del diseño y control de calidad de los pilotes.

La estrategia del programa de ensayos de pilotaje varía en función del nivel de riesgo asociado al trabajo de pilotaje. Donde los pilotes están trabajando a cargas muy importantes, puede no ser económico realizar un ensayo a escala real. En esas circunstancias, se debe prestar atención a realizar ensayos en pilotes de diámetros menores usando la misma metodología constructiva y extrapolando los resultados con las debidas precauciones del caso.

Para ensayos preliminares, es preferible ubicarlos cercanos a los sondeos geotécnicos ya ejecutados, de forma de correlacionar adecuadamente el resultado con las unidades geotécnicas del sitio. Si las condiciones no son uniformes, se deberán disponer de ensayos para cada unidad representativa del terreno.

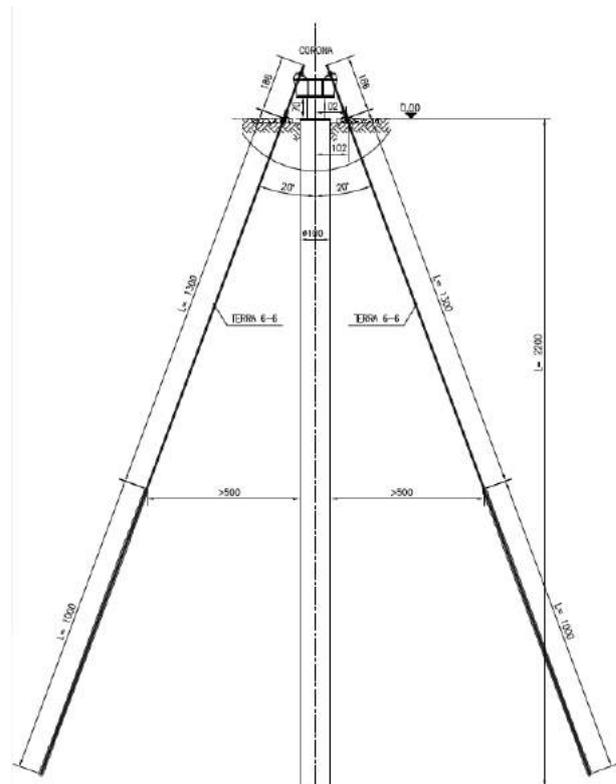
Para cargas rápidas y ensayos de dinámicos, puede ser necesario incrementar las cargas del pilote para disminuir los efectos de atenuación del suelo. La calibración con ensayos estáticos es preferible, dependiendo de las condiciones de suelo preponderantes. Las pruebas de carga se deben diseñar analizando la seguridad de todos los componentes participantes de la misma.

Ensayos de carga estática

Las pruebas de carga estáticas constituyen un método por el que se puede comprobar la integridad y la capacidad portante de un pilote. Sin embargo las pruebas estáticas son caras y lentas en su preparación y ejecución, por lo que sólo es posible realizarlas en un número reducido de pilotes dentro del conjunto de una obra.

Una configuración empleada habitualmente para ensayos de compresión axial hasta cargas de 10.000 KN consiste en una corona metálica de reacción, sobre la cual apoyaba el gato hidráulico para comprimir el pilote de prueba. El anclaje de la estructura de reacción al terreno se realizó mediante 12 anclajes postensados unidos a la corona mediante barras tipo TITAN 73-53. Los anclajes se tensaron a una carga muy baja de 50/70 kN cada uno, de forma que al aplicar la precarga se encuentre casi en equilibrio. La cabeza del pilote se prepara eliminando el hormigón de mala calidad o con impurezas, y se ejecuta un cabezal de hormigón armado sobre el que se aplica la carga.

Figura 7. Configuración de ensayo de carga con anclajes de reacción.



El gato hidráulico se apoya sobre una placa de 50 mm de espesor que reparte la carga uniformemente sobre la superficie del pilote. Los anclajes se ejecutaron entorno al pilote de tal manera que distancia libre entre el mismo y los bulbos de los anclajes de reacción cumpliera con la norma, la cual especifica que sea por lo menos de 5 veces diámetro del pilote, pero no menor de 2.5 metros. La carga se aplica mediante un único actuador hidráulico con una capacidad de



carga nominal de 1000 ton, accionado por una bomba hidráulica. Además, se incluyó una celda de carga de cuerda vibrante capaz de registrar cargas de hasta 10000 kN. Para la medición de las deformaciones axiales se emplean relojes comparadores con diales que permiten lecturas de hasta 0,01 mm. Los comparadores se montaron con base magnética a una estructura auxiliar apoyada en forma independiente a la estructura cargada.

Figura 8. Montaje de ensayo de carga estático.



Figura 9. Disposición de relojes comparadores y gato hidráulico.

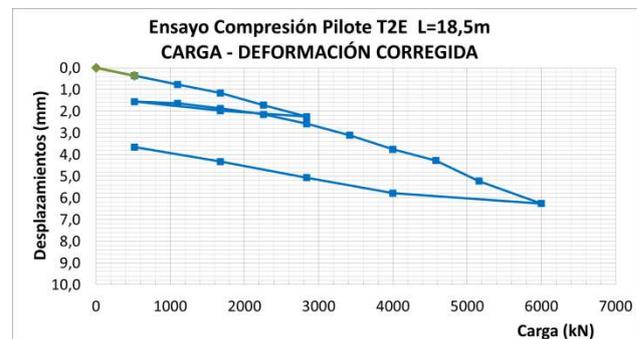


Se colocaron tres comparadores repartidos sobre la superficie del pilote para obtener finalmente un promedio de las deformaciones medidas. La carga máxima de prueba se aplica en ocho incrementos de carga iguales, con un ciclo de descarga-carga intermedia. Una vez alcanzada la misma, se

puede agregar escalones de carga mientras la máxima carga segura de la estructura de reacción lo permita. Después de cada incremento de carga se esperó un tiempo mínimo de 20 min con el fin de determinar si existe estabilización de la carga. Sino es así, se amplía el tiempo de espera en intervalos de 10 a 20 min. Para la carga de prueba habitualmente la medición de desplazamientos es por un período de 60 minutos.

Como resultado de este ensayo se entrega la curva carga-deformación.

Figura 10. Curva carga-deformación de pilote.



Ensayos de carga dinámica

El objetivo del ensayo dinámico es determinar la capacidad de carga del pilote y la relación carga-asentamiento correspondiente. La ejecución del ensayo, consiste en movilizar la resistencia del pilote a través de varios golpes de diferente energía, proporcionados por una maza. A través de sensores de aceleración y de deformación, se obtienen las ondas de fuerza y velocidad en el pilote generadas por el golpe. Estas señales deben ser procesadas y analizadas en un programa (PDA, Capwap), para obtener la componente estática de la respuesta del suelo y determinar la capacidad de carga estática del pilote.

Figura 11. Ensayo de carga dinámico en ejecución.



Después de que todos los sensores se colocaron en el pilote y la maza estuvo en su lugar, se tomó una primera medida de ajuste que ayudará a obtener la medida cero en un lado del pilote. El PDA debe entonces ser inicializado, comprobarse los offsets, y verificarse las señales de calibración.

Figura 9. Instalación de sensores.



La maza debe ser guiada de manera que su superficie de impacto sea paralela a la parte superior del pilote. La superficie de impacto debe ser uniforme y cubrir al menos el 25% del área de la sección transversal de la cabeza del pilote. Se realizan

impactos de diferentes alturas de caída, por ejemplo con 0,50 m de incrementos, monitoreando las tensiones dinámicas del pilote y su integridad en cada escalón. La altura de caída debe ser ajustable a un cada 100 mm y alcanzar un máximo de al menos 2,0 m. El marco del sistema caída debe ser capaz de soportar con seguridad el peso de la maza antes del impacto y debe guiarla durante la caída. En el impacto se debe evitar el movimiento lateral de la maza.

La cabeza del pilote tiene que ser suave y uniforme. Cuando se utiliza un transductor de celda de carga para medir la fuerza de impacto, los acelerómetros se colocan en el pilote aproximadamente de 20 a 30 cm por debajo de la cabeza del pilote. El pilote se puede extender aproximadamente 30cm por encima de la plataforma o puede realizarse una excavación menor alrededor de la cabeza del pilote. Los acelerómetros se colocan en el pilote mediante pernos, por lo general en agujeros perforados de 10 mm de diámetro. Una interfaz de madera nueva debe colocarse entre la célula de carga y el pilote. Placas adicionales de madera nueva amortiguadora se insertan entre la maza de impacto y la parte superior de la célula de carga.

El ensayo concluye con el golpe de la maza de la máxima altura. Luego se realiza la interpretación de los diferentes golpes para poder determinar la carga estática equivalente activada y su deformación. Podemos concluir que el ensayo dinámico realizado ha permitido verificar la aptitud del pilote para las sollicitaciones de diseño.

Figura 10. Disposición de los distintos elementos del ensayo dinámico

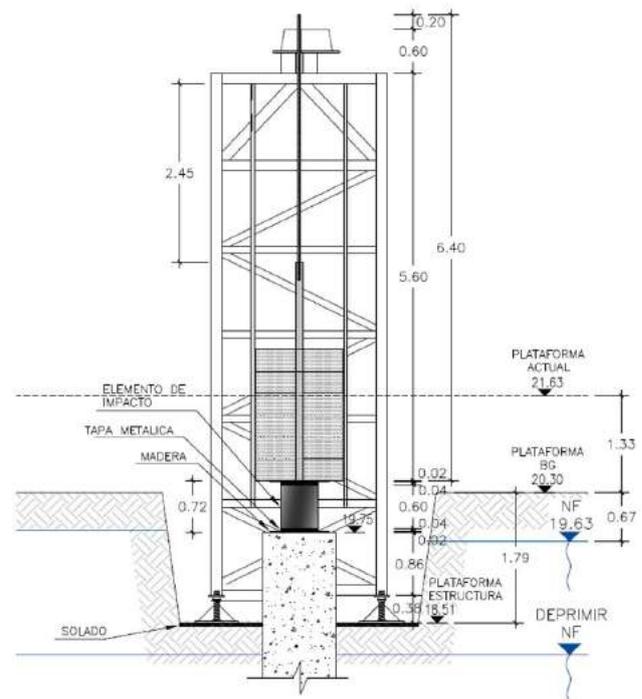
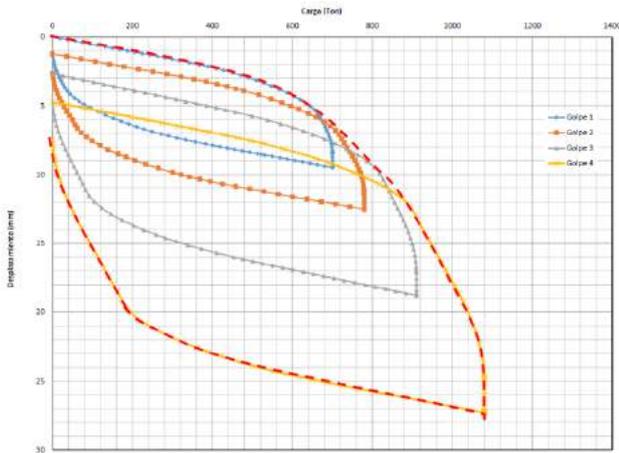


Figura 11. Curva carga-deformación estática equivalente



Fernandez Vincent: Deep foundations quality control and design verification



Ensayos de carga de celda bidireccional

El ensayo con la celda de carga bidireccional (Osterberg cell), consiste en colocar una celda hidráulica en la punta del pilote u otra profundidad determinada, y hacer que la misma reaccione en ambos sentidos. Es decir, aplicará una carga de compresión que movilizará la punta del pilote, y usará como reacción en el sentido inverso, el peso propio junto con la fricción lateral del pilote. La carga máxima del ensayo, generalmente está limitada por esta componente. Habitualmente se instrumenta el pilote, en varios niveles, de forma de discretizar y analizar las fricciones desarrolladas en cada unidad de suelo. La carga equivalente en cabeza se obtiene de sumar las curvas carga-deformación en ambas direcciones. Este ensayo es una opción muy adecuada para cargas de compresión mayores de 9000 KN, y para realizar en un mismo ensayo tracción y compresión axial.

Figura 12. Esquema de ensayo de carga bidireccional

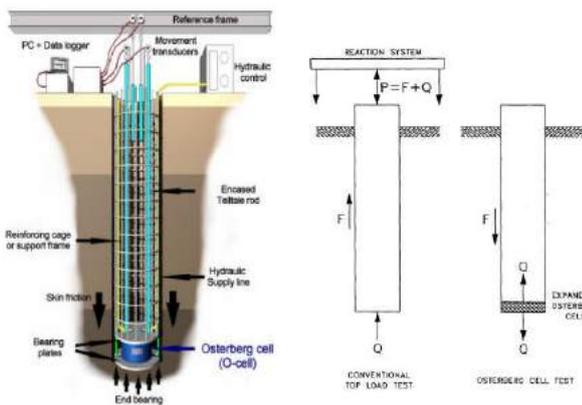
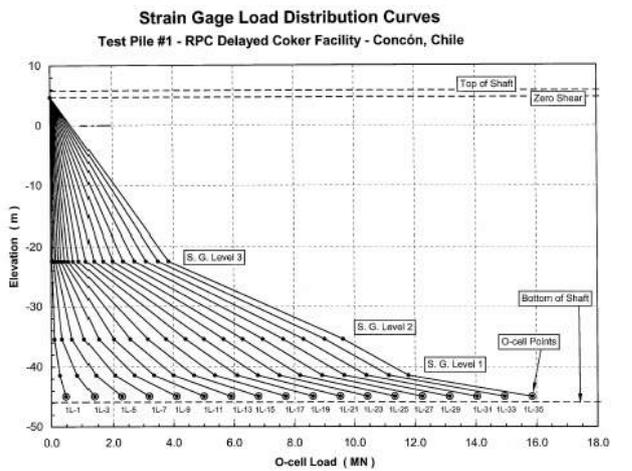
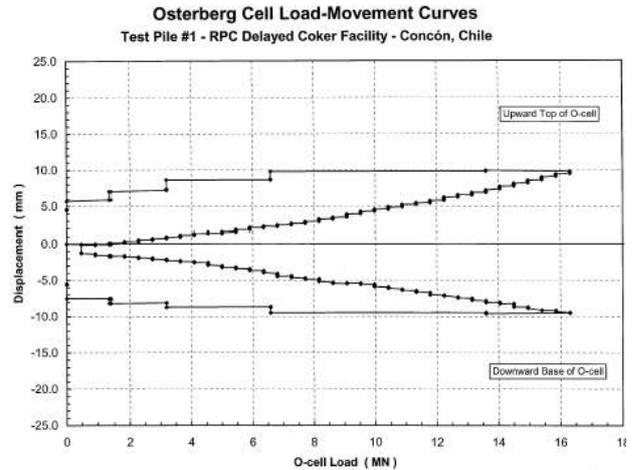


Figura 12. Curva carga-deformación del ensayo y distribución de carga a lo largo del fuste



Conclusiones

Existe cada vez mayor disponibilidad y acceso a las pruebas para garantizar que las cimentaciones profundas se ejecutaron de acuerdo con el diseño de los mismos.

Los ensayos de integridad estructural de pilotes entregan información sobre la continuidad del pilote, la calidad del hormigón, y la extensión y localización de defectos. El contar con una herramienta capaz de verificar que no existen fallas significativas en los pilotes, convierte a estos ensayos en una importante herramienta de control de calidad, tanto para especialistas geotécnicos como estructurales.

Las pruebas de carga de los pilotes proporcionan una oportunidad para la mejora continua en el diseño y las prácticas de construcción, mientras que al mismo tiempo cumplen con su papel tradicional de validación del diseño y control de calidad rutinario de las obras de pilotes. La capacidad de las pruebas de carga para desempeñar un papel importante en la ingeniería de fundaciones para la optimización de las soluciones debe reconocerse no sólo en términos financieros, sino también en lo que respecta a la sostenibilidad.

Referencias



Fernandez Vincent: Deep foundations quality control and design verification

- AASHTO (2012). American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO Bridge Design Specifications. Washington, DC.
- ASTM (2007). Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Piles, ASTM D 5882-07
- ASTM (2008). Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundation by Ultrasonic Crosshole Testing, ASTM D 6760-08.
- ASTM (2007). Standard Test Method for Piles Under Static Axial Compressive Load, ASTM D 1143-07
- ASTM (2007). Standard Test Method for Individual Piles Under Static Axial Tensile Load, ASTM D 3689-13
- AMIR, J.M., et al. (2004) Acceptance criteria for bored piles by ultrasonic testing. Proceedings International Conference on Application of Stress Wave Theory to Piling.
- AMIR, J.M., et al. (2009) Capabilities and limitations of Cross Hole ultrasonic testing of piles. Proceedings of the Conference on Contemporary Topics in Deep Foundation, Orlando. GSP. Vol. 185.
- DEEP FOUNDATION INSTITUTE (2005), Manual for Non Destructive Testing and Evaluation of Drilled Shafts, USA.
- EAP (2012). Recommendations on Piling. Sociedad Alemana de Geotecnia (DGGT).
- LIANG, L., et al. (2011) Quality Assessment Procedure and Classifications of Cast-In-Place Shaft using Low Strain Dynamic Test. Proceedings from Deep Foundations Institute 36th Annual Conference on Deep Foundations. Boston, MA; 553-562.
- RAUSCHE, F., et al. (2008). Analysis of Post-Installation Dynamic Load Test Data for Capacity Evaluation of Deep Foundations. From Research to Practice in Geotechnical Engineering, Geotechnical Publication No.180, Eds, American Society of Civil Engineers: Reston, Virginia; 312-330.
- SÁNCHEZ DOMÍNGUEZ, F. y otros. (2006) Recomendaciones para la ejecución e interpretación de ensayos de integridad de pilotes y pantallas 'in situ'. Monografía del Laboratorio de Geotecnia del Cedex, Ministerio de Fomento, 2006.