

## ESPECIFICACIONES PARA PRUEBA DE CARGA DINÁMICA Y MONITOREO DE HINCA DE PILOTES

### 1. DESCRIPCIÓN

Dentro de la práctica de ingeniería de fundaciones es usual la realización de pruebas de carga para confirmar o validar las capacidades de carga de pilotes bien sea pilotes hincados o pre-excavados.

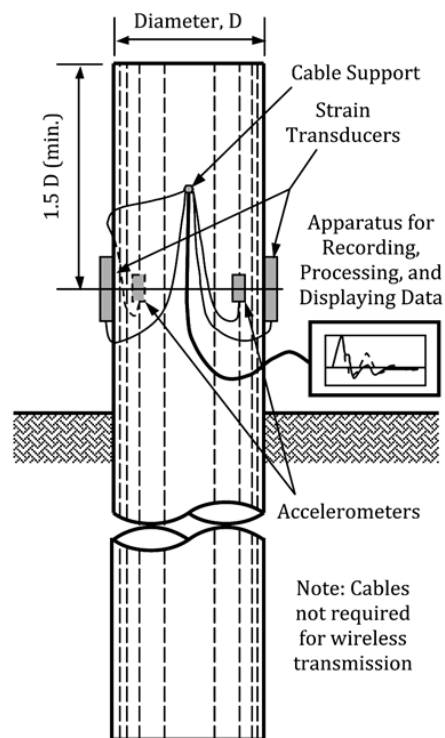
Las pruebas de carga dinámica PDA siguen la norma ASTM D-4945; este tipo de prueba lo que busca es simular una prueba de carga estática (eliminando la componente dinámica). En la literatura técnica especializada se encuentran muchos documentos donde las pruebas dinámicas y las estáticas se correlacionan bastante bien.

En el presente documento se dan a conocer los materiales, equipos y trabajos necesarios para la ejecución del monitoreo de hinca y de la prueba de carga dinámica en pilotes hincados metálicos de sección tubular, prueba que será instrumentada y realizada por Geosoluciones de acuerdo con lo requerido en la norma ASTM D4945. Se requerirá al contratante para el suministro de material y mano de obra como a continuación se especifica antes, durante y después de su ejecución.

En las figuras 1 y 2 se ilustran montajes típicos de pruebas de carga dinámica, donde previa preparación e instrumentación del pilote se monitorea el proceso de su hincado y se realiza la prueba de carga dinámica una vez se haya alcanzado la cota de cimentación correspondiente.



Figura 1. Vistas generales del monitoreo de hinca y del desarrollo de una prueba de carga PDA



*Figura 2. Imagen y esquema del montaje de una prueba dinámica a pilote pre-excavado*

Previamente al hincado del pilote a ensayar, existe la posibilidad de desarrollar un análisis de hincabilidad, si se considera necesario por parte de la obra, con el fin hacer una previsión de las características que pueden esperarse del proceso de hincado, basándose en la información correspondiente al estudio de suelos para el diseño de fundaciones en el sitio y en las características técnicas del martillo de hinca. Este análisis se realiza mediante el uso del software GRLWEAP y dentro de los resultados que pueden obtenerse se cuentan el tiempo previsto para la hinca, el número de golpes necesario para un avance en profundidad determinado y las capacidades de carga estimadas que pueden alcanzarse.

Como ya se indicó con el equipo que se realiza la prueba de carga dinámica existe la posibilidad de llevar a cabo un monitoreo muy completo del proceso de hincado del pilote, en él se registran valores de variables muy importantes como esfuerzos máximos y mínimos a compresión y a tracción en el pilote, eficiencia de la energía transmitida en cada impacto del martillo, y adicionalmente indicadores de la integridad del pilote (factor beta). Es importante que previamente al inicio del proceso de hincado se concerte con la parte interesada desde que momento se inicia el monitoreo, con el fin de hacer la instalación de sensores correspondiente.

Una vez se alcance la cota prevista para el nivel de fundación, para el desarrollo de la prueba de carga, se escoge uno de los golpes registrados al final del hincado y a partir de las señales obtenidas se hace el procesamiento necesario para estimar la capacidad de carga respectiva. Si por parte de la obra existe la necesidad de realizar pruebas de rehinca, teniendo en cuenta el efecto de mejoramiento de resistencia al

corte del suelo después del hincado, se pueden programar pruebas adicionales a un tiempo que depende de las características del suelo de fundación.

## 2. EQUIPO

El equipo necesario para llevar a cabo la prueba incluye lo siguiente:

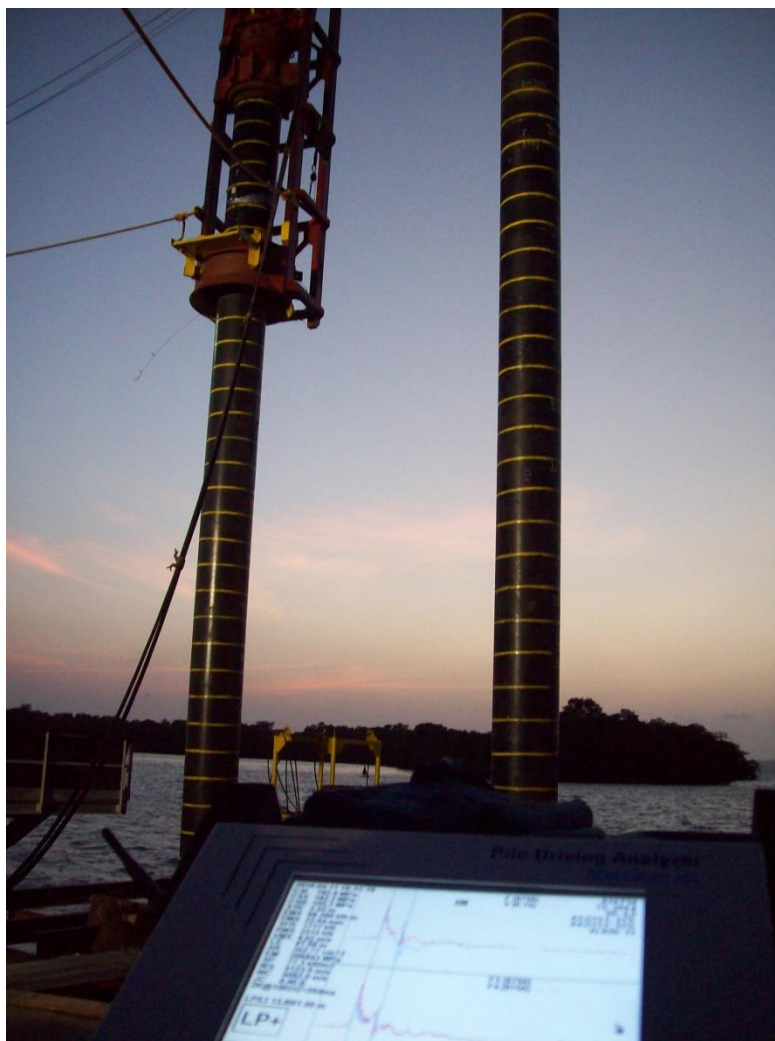
- 2.1. Instrumentación para la prueba: pares de sensores (deformímetro-acelerómetro) que se ubican en extremos opuestos del pilote sobre el fuste del mismo, a una distancia no menor a 1.5 - 2.0 veces el diámetro del pilote desde la parte superior.



*Figura 3. Par de sensores instalado (deformímetro – acelerómetro)*

- 2.2. Equipos de transmisión inalámbrica que se conectan a los sensores y transmiten datos de señales a la unidad de recolección de datos PAX. Se utilizan transmisores inalámbricos debido a la posibilidad de daño que puede presentarse con el uso de cables de conexión a la unidad de recolección de datos durante el hincado.
- 2.3. Unidad de recolección y verificación de datos (Unidad PAX).





*Figura 4. Unidad PAX para recolección y verificación de datos operando durante el hincado*

2.4. Taladro y tornillos para colocación y fijación de sensores.

### 3. PROCEDIMIENTO

3.1. Es importante que previamente al izaje del pilote y su hincado se realicen algunos trabajos de preparación en él. En primer lugar es importante que, en la medida que sea posible, se perforen los huecos mediante los cuales se fijan con tornillos los sensores. Estos huecos deben ser roscados y deberán tener un calibre 7/32" para pilotes con espesor de pared mayor a 1/4", para espesores menores a 1/4" el diámetro puede ser de 3/16". Estas perforaciones deben ubicarse a una profundidad, respecto a la cabeza del pilote, igual a 1.5-2 diámetros, separándose  $2.5" \pm 1/2"$  los ejes correspondientes a cada sensor. Con el fin de fijar al pilote los transmisores inalámbricos se recomienda también la ejecución de una perforación adicional, a una distancia de  $6" \pm 3"$  de la

ubicación de los sensores como se muestra en la Figura 5. Lógicamente, como es común en las labores de hincado, en el pilote deberán demarcarse las longitudes correspondientes para monitorear el avance sin dificultad.

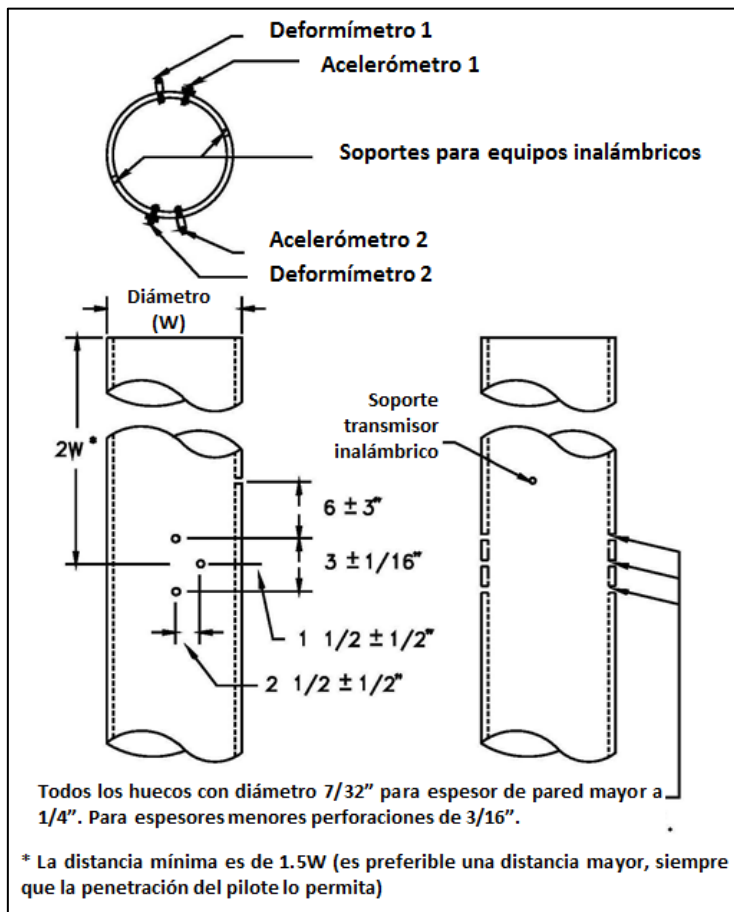
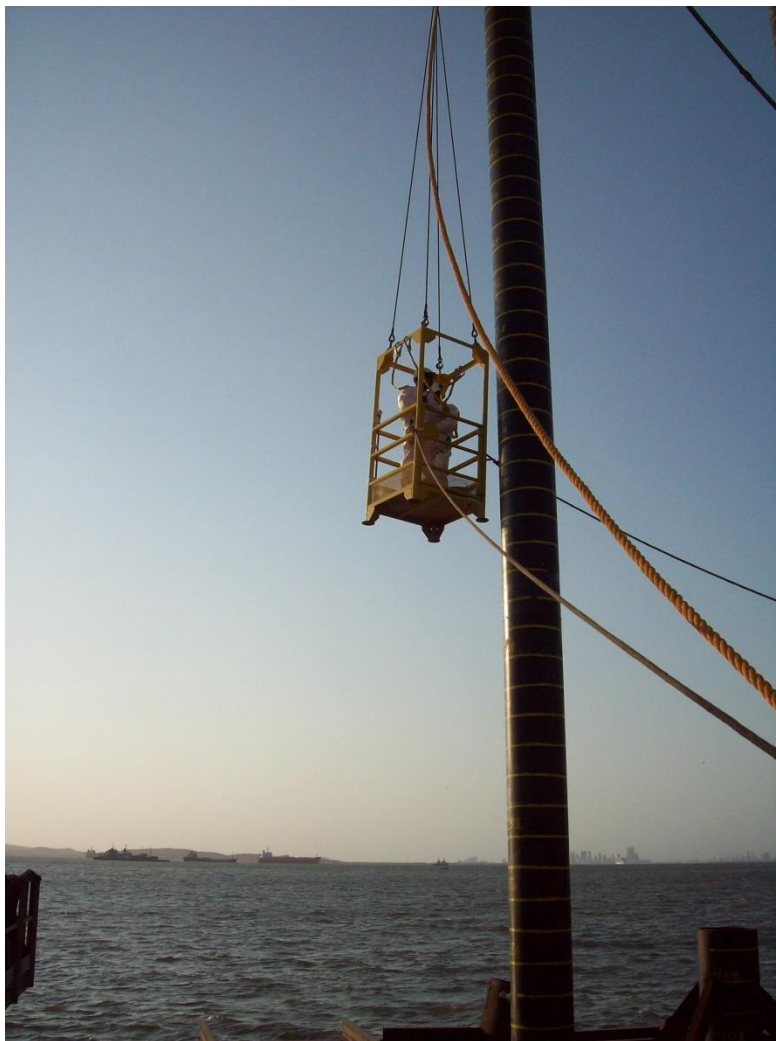


Figura 5. Detalle perforaciones para instalación de sensores y de soportes para transmisores inalámbricos. Tomado de Manual del usuario PAX, PDA Test (PDI, 2008)



*Figura 6. Ejecución de perforaciones para la fijación de sensores y transmisores inalámbricos*

- 3.2. Una vez se realicen las actividades propuestas en el numeral 3.1, se puede proceder al izaje del pilote y a su prehincado que puede realizarse con equipo oscilador o similar.
- 3.3. Cuando se alcance la profundidad de hincado a partir de la cual se quiera realizar el monitoreo, se detiene la acción del martillo de hincado y se procede a la instalación de los pares de sensores (deformímetro-acelerómetro) y de los transmisores inalámbricos. Si la profundidad de instalación, respecto a la superficie de la plataforma, es de magnitud considerable se puede hacer uso de una canasta para el posicionamiento del personal encargado del montaje, siempre siguiendo las normas de seguridad establecidas en obra. En la Figura 7 se puede ver el procedimiento de instalación con el uso de canasta y en la Figura 8 se pueden ver los sensores y equipos de transmisión ya fijados, se recomienda que los cables que conectan a los sensores son los transmisores sean envueltos con cinta adhesiva para evitar cualquier contacto con la guía del martillo.



*Figura 7. Instalación de sensores mediante el uso de canasta para posicionamiento de personal encargado*



*Figura 8. Sensores y transmisores inalámbricos ya instalados*

- 3.4. Después de la instalación de sensores y de transmisores se realiza la comprobación de comunicación con la unidad PAX y cuando se garantiza la recepción y envío de datos se reinicia el proceso de hincado iniciándose también el monitoreo.
- 3.5. Cuando se alcance un nivel cercano a la cota de cimentación se debe dar aviso al profesional encargado de la supervisión de la prueba de carga, de manera que se verifique la calidad de las señales generadas por el impacto de cada golpe, recibidas por la unidad PAX, y se pueda contar con información que cuente con las características de homogeneidad y proporcionalidad requeridas para hacer los análisis de estimación de capacidad de carga correspondientes a la prueba de carga. Es importante que el personal encargado del proceso de hincado suministre la información relacionada con el registro de hinca, donde se especifique el asentamiento ejercido en el pilote para cada golpe.
- 3.6. Una vez terminado el proceso de hinca, o cuando el personal encargado de su supervisión lo estime conveniente, se puede hacer la desinstalación de los sensores y transmisores.

#### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS E INFORME

Una vez se cuenten con los datos recolectados, serán procesados en oficina con el fin de emitir un informe puntual donde se especifican las características de la prueba y los resultados de los análisis llevados a cabo haciendo énfasis en la magnitud de la



resistencia última del suelo estimada y en las condiciones de integridad del pilote ensayado. Los análisis que se realizan son llevados a cabo mediante la metodología de comparación de señales (signal matching) haciendo uso del software CAPWAP® y teniendo como referencia el marco teórico el método CASE desarrollado en Case Western University.

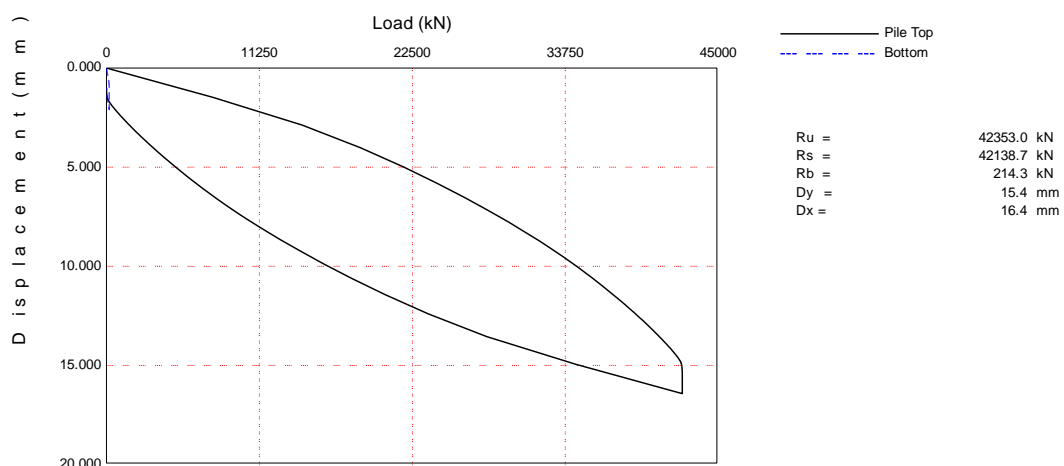
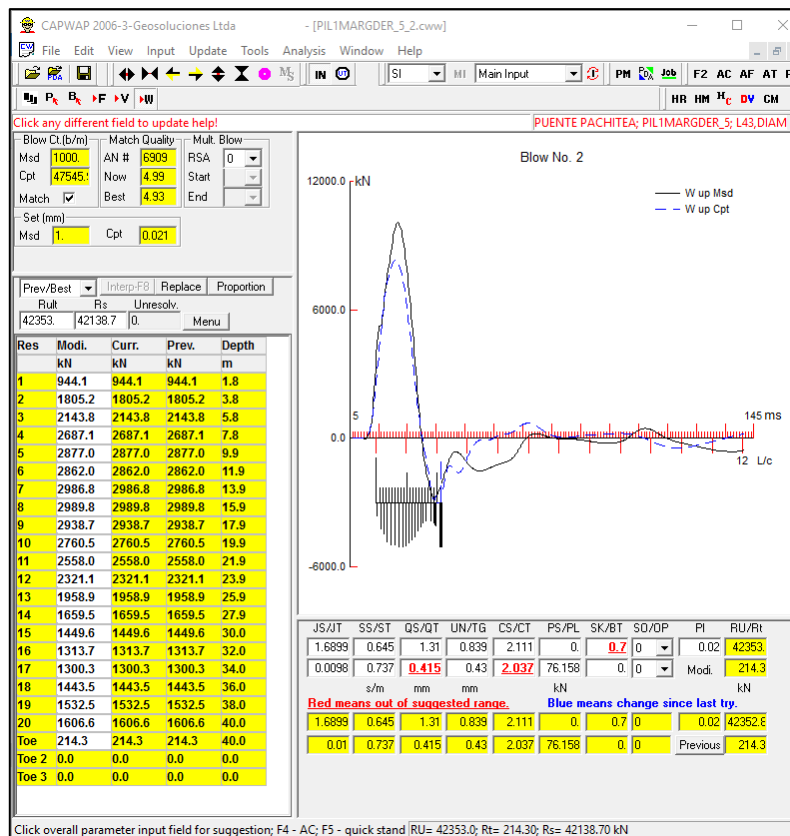


Figura 9. Arriba: Análisis usando CAPWAP®. Abajo: curva carga-desplazamiento estimada

Durante el proceso de monitoreo del hincado es posible registrar valores estimados de esfuerzos a compresión y a tracción máximos en el pilote, energía máxima transferida y conteo de golpes, los cuales se presentan en el informe final de manera gráfica como se presenta en la Figura 10. Adicionalmente, con el monitoreo de hincado que se realice, es posible la verificación de la integridad del pilote mediante la estimación del factor Beta (b) el cual indica la posibilidad de un daño en el elemento estructural a una profundidad determinada.

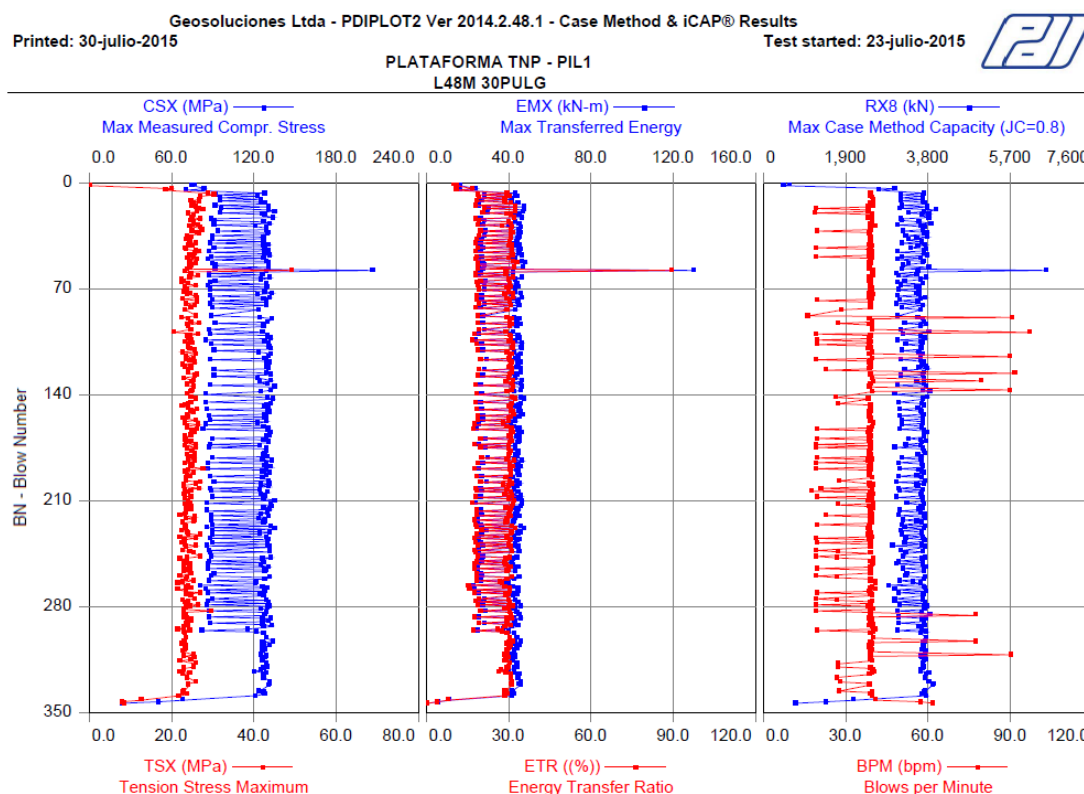


Figura 10. Variables monitoreadas durante el proceso de hincado (esfuerzos máximos a compresión y a tracción, energía transferida, relación de energía, conteo de golpes por minuto)

## 5. PROVISIONES ADICIONALES

- 5.1. Es importante que se cuente con un punto eléctrico en el sitio dispuesto para el hincado, lo anterior teniendo para el caso en el que sea necesario hacer algún cambio en las perforaciones para la fijación de sensores y transmisores.
- 5.2. Se debe contar con personal de apoyo de la obra para la instalación de los sensores y para coordinar el inicio de cada prueba PDA con el inicio de la hinca del pilote del tramo final.
- 5.3. Si el consultor geotécnico del Cliente lo requiere se realizarán pruebas de rehinca adicionales, de acuerdo con las especificaciones de la obra.

- 5.4. En cuanto al procedimiento durante el hincado, también es importante mantener los sensores, transmisores y cables dentro del tramo de la guía del martillo de hinca y que en ningún momento lleguen a la campana guía, por el riesgo que tendrían los sensores y cables de romperse con elementos metálicos (guías o centradores metálicos o cualquier otro elemento).
- 5.5. Los sensores y transmisores deben instalarse a una distancia mínima de 2.0m por encima de la plataforma de trabajo que rodea el pilote. Los sensores deben quedar visibles de tal manera que la persona a la que se delegue para la supervisión del hincado, advierta algún peligro de daño de los cables y sensores.
- 5.6. Los transmisores, sensores y cables se deben envolver con la cinta adhesiva para garantizar que no se cuelguen o despeguen del pilote. Cuando se enciente se debe tener cuidado que la cinta no se “arrugue o entorche” para lograr la máxima adherencia de los elementos a proteger.
- 5.7. La operación del martillo de hinca se debe hacer de tal manera que el “cono” de contacto martillo-pilote este lo más retraído posible, y garantice que los sensores y cables nunca lleguen a la campana-guía. Antes de que los cables y sensores lleguen a la campana el monitoreo y la prueba PDA se debe suspender, retirar sensores, y si eventualmente se requiere una hinca adicional final se continuaría pero sin monitoreo.

## REFERENCIAS

- [1] ASTM D4945-00. Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Deep Foundations.
- [2] FHWA. Design and construction of driven pile foundations. Chapter 4 Dynamic and static pile load test data. 2006.
- [3] PDI (Pile Dynamics). PDA-W Manual of operation. 2009