

**Aseguramiento topográfico para la hinca de pilotes en un entorno marino.**  
**Topographical securing for drives it of piles in a marine environment.**

Dr. C Jorge Ernesto Molero Tapia. (1)

1. Sociedad Mercantil Cubana SERMAR S.A. molerotapia@gmail.com

**RESUMEN:** El trabajo se desarrolla en el campo de la topografía y tiene como objetivo explicar cómo se ubicó y controló la posición final de los 330 pilotes de acero reforzado, hincados en el lecho marino de la bahía de La Habana. Para lograr este objetivo fue necesario realizar una serie de trabajos topográficos que aseguraran dicho posicionamiento. Los principales resultados obtenidos de este aseguramiento pasan por una serie de tareas, que abarcan, desde el levantamiento de los objetos subacuáticos, -que pudiesen obstaculizar la hinca de los pilotes-; la densificación de las bases topográficas frente a cada línea de pilotes, -que aseguren el replanteo y los levantamientos ejecutivos de los pilotes hincados-; la determinación de las coordenadas geográficas de las boyas de seguridad permanentes; el Sistemas de guiado y control de la hinca de pilotes en el mar, mediante tecnología GNSS (Global Navigation Satellite System- Sistema Global de Navegación por Satélites); el replanteo de la posición de cada pilote desde su cara frontal cilíndrica; la medición y monitoreo de los parámetros de record de hinca; hasta la realización del levantamiento ejecutivo de las camisas (cabezas) de los pilotes hincados.

**Palabras Claves:** GNSS; Hinca; Replanteo por coordenadas. Pilotes; Plano de levantamiento ejecutivo; Replanteo por coordenadas.

**ABSTRACT:** The work is developed in the field of the topography and he/she has as objective to explain how it was located and it controlled the final position of the 330 piles of reinforced steel, sunk in the marine channel of the bay of Havana. To achieve this objective, it was necessary to carry out a series of topographical works that you/they assured this positioning. The main obtained results of this insurance go by a series of tasks that you/they embrace, from the rising of the objects under the water, - that can block the it sinks of the piles -; the densification of the topographical bases in front of each line of piles, - that assure the I restate and the executive risings of the sunk piles -; the determination of the geographical coordinates of the permanent buoys of security; the Systems of having guided and control of it sinks it of piles in the sea, by means of technology GNSS (Global Navigation Satellite System - Global System of Sailing for Satellites); the I restate of the position of each pile from their cylindrical front face; the mensuration and pursuit of the record parameters of it sinks; until the realization of the executive rising of the shirts (heads) of the sunk piles.

**Key words:** GNSS; It sinks; I restate for coordinated. Steer; Plane of executive rising; I restate for coordinated.

Recibido: 09/03/25

Aprobado: 02/05/25

## 1. INTRODUCCIÓN.

El replanteo tradicional de la hinca con pilotes requería un gran número de personal para construir una falsa obra. Esto se traduce en un trabajo de alta intensidad, así como un problema real de tiempo. Aún si las coordenadas se midiesen, replanteando desde el frente de espigón, las marcaciones pronto estarían fuera de la posición debido al movimiento de las grúas de hinca. El acercamiento tradicional de hinca con pilotes podría ser una operación de baja eficiencia, de alto gasto y de alto riesgo. Esta deficiencia podría ser intensificada por las olas fuertes, y la presencia de obstáculos de gran dureza en el lecho.

Si las condiciones superficiales de las aguas son de máxima contaminación y además en el lecho existe una gruesa capa de sedimento, se imposibilita el levantamiento de los objetos con un sistema sonar o Líder.

Resulta novedoso en este trabajo la hinca de pilotes mediante un sistema de control inteligente que combina SinoGNSS con un replanteo, utilizando una estación total TS10 introduce varias innovaciones y ventajas significativas en comparación con los métodos tradicionales. A continuación, se explican los aspectos más importantes dentro del proceso a seguir:

### **Precisión mejorada en el posicionamiento:**

SinoGNSS: Es un sistema de navegación por satélite que combina señales de los sistemas GPS (Global Positioning System) o Sistema de Posicionamiento Global, GLONASS (acrónimo en ruso, ГЛОНАСС, ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система tr.: Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) es un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) desarrollado por la Federación de Rusia, Galileo (La Agencia del GNSS Europeo) y BeiDou. (Sistema de navegación por satélite "Beidou" es el nombre chino para la constelación de la Osa Mayor). Esto permite una mayor precisión en el posicionamiento, incluso en entornos con obstrucciones o condiciones adversas.

Estación total TS10: Este dispositivo topográfico de alta precisión permite realizar mediciones angulares y de distancia con una exactitud milimétrica. Al combinar ambos sistemas, se logra un control preciso de la ubicación y alineación de los pilotes.

### **Automatización y control inteligente:**

El sistema inteligente integra datos en tiempo real desde el SinoGNSS y la estación total, permitiendo ajustes automáticos durante la hinca de pilotes. Esto reduce errores humanos y mejora la eficiencia.

La automatización también permite monitorear y corregir la verticalidad y profundidad de los pilotes durante el proceso de hinca.

### **Mayor eficiencia en el replanteo:**

La combinación de ambas tecnologías agiliza el proceso de replanteo, ya que la estación total TS10 puede marcar puntos con precisión y el SinoGNSS verifica y ajusta las coordenadas en tiempo real. Esto reduce el tiempo de preparación y aumenta la productividad en obra.

Ç

### **Reducción de costos y errores:**

Al minimizar los errores de posicionamiento y alineación, se evitan costosos trabajos y se optimiza el uso de materiales.

La precisión del sistema también reduce el riesgo de fallas estructurales debido a una mala instalación de los pilotes.

### **Integración de datos en tiempo real:**

El sistema permite la visualización y análisis de datos en tiempo real, lo que facilita la toma de decisiones durante la ejecución del proyecto.

Los datos recopilados pueden almacenarse y utilizarse para generar informes y documentación técnica de alta calidad.

### **Adaptabilidad a terrenos complejos:**

La combinación de estas tecnologías es especialmente útil en terrenos difíciles o con limitaciones de acceso, donde los métodos tradicionales podrían ser menos efectivos.

El SinoGNSS asegura un posicionamiento preciso incluso en áreas con poca visibilidad satelital, mientras que la estación total TS10 garantiza mediciones exactas en el terreno.

### **Sostenibilidad:**

Al optimizar el proceso de hincado de pilotes, se reduce el consumo de energía y recursos, contribuyendo a prácticas de construcción más sostenibles.

La extensión y mejoramiento de un espigón comienza por la hincado de pilotes que sean capaces de sostener toda la estructura. En este caso se trata de pilotes de acero reforzados en forma cilíndrica de 32.5 m de largo y 13 toneladas de peso. Las posiciones de estos pilotes están diseñadas de forma alineadas, tanto longitudinal como transversalmente, a longitudes que permitan colocar piezas y losas prefabricadas estándar. Por tanto, su ubicación no debe diferir en un desplazamiento de 7.5 cm de sus ejes de proyecto. El permisible exigido por el cliente solo es posible, realizando el replanteo topográfico a la cara frontal del pilote cilíndrico desde una posición fuera de la influencia de los martillos vibradores y de percusión de la hincado. Las mediciones solo son posibles desde el antiguo espigón, desde el cual se estacionan los instrumentos de medición topográficos. En aras de lograr una mayor eficiencia, se elige realizar el replanteo acercando los cepos (moldes) con un sistema de guiado GNSS y utilizando una estación total que logre cumplir con los permisos exigidos con mediciones sin prismas y a distancias de hasta 300 m.

## **2. METODOLOGÍA Y DISCUSIÓN.**

### **Datos técnicos del equipamiento:**

Los trabajos de densificación se realizan con receptores GNSS de la Leica Viva Series GS14.

Receptor GNSS T300 en modo RTK (REAL TIME KINEMATIC) o cinemático en tiempo real con todas las constelaciones GNSS. El receptor T300 Plus es una poderosa capacidad anti-interferencia, lo que le permite trabajar incluso en ambientes hostiles. SinoGNSS® T300 Plus es el producto RTK/GNSS ideal para Levantamientos y replanteos topográficos.

Nivel óptico NA 728. Leica.

Estación total TS-10.

Esta técnica ha mostrado gran impacto en la obtención de profundidades marinas en aguas poco profundas, permitiendo una gran cobertura en superficie, puesto que las imágenes permiten abarcar una mayor extensión de territorios, posibilitando un ahorro considerable de recursos humanos y financieros.

Levantamiento de los objetos subacuáticos que pudiesen obstaculizar la hinca de los pilotes.

Los trabajos comprendieron la exploración submarina y ubicación topográfica, en el entorno del espigón, para identificar objetos extraños visibles que representen peligro durante la hinca.

El reconocimiento de las áreas, se inició con una inspección visual detallada de los objetos de obra; haciendo hincapié en el espigón, las dimensiones del área de interés a levantar, la búsqueda de los puntos del sistema de referencia y los puntos de control establecidos anteriormente, así como la definición de los nuevos puntos que se establecerán para el levantamiento de las áreas solicitadas por el cliente.

Se escoge densificar planimétricamente tres estaciones topográficas para el replanteo, mediante mediciones con diferencial RTK. Las alturas serán determinadas mediante una poligonal altimétrica de rodeo, partiendo y cerrando desde el mismo punto de orden superior.

Se constata que las condiciones superficiales de las aguas son de máxima contaminación, (petróleo, aceite, basura náutica, vegetación, etc.) lo que imposibilita el levantamiento de los objetos con un sistema sonar o Lidar, además de encontrar en el lecho una capa de sedimento que en algunos lugares llega a los 7 m de espesor.

Se preparan cabos de replanteo para superficies de 50 m y 100 m.

Desde las bases geodésicas mencionadas, se replantearon las áreas a inspeccionar, colocando boyas de señalización en los límites, como medida de seguridad contra las embarcaciones que circulan por la bahía. Estas áreas a inspeccionar son fijadas a un peso muerto y conectadas en cuadrículas de 5 x 5 m, para facilitar la localización del obstáculo. Ver figura 1.

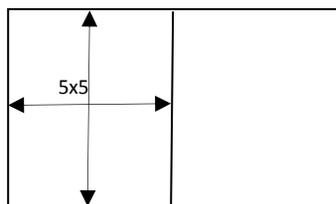


Figura 1. Cuadrículas de 5 x 5 m para facilitar la localización del obstáculo.

Las mediciones de replanteo y levantamiento se realizaron con el apoyo de un prisma, sostenido por uno de los buzos. El prisma se ubicó lo más cercano posible a la boya de despliegue o al lugar que indicaban las coordenadas de replanteo, para el límite de la parcela a replantear. Las indicaciones para el replanteo se realizan por radio, por este medio se señala al buzo en cubierta (embarcación), la dirección en distancia a la que estaba la boya de señalización sostenida por otro buzo; esta debe quedar lo más cercana posible de la posición por coordenadas del límite de la parcela.

### **Exploración, identificación de objetos visibles y ubicación con Estación Total.**

La inspección subacuática se realizó, siguiendo los cabos de replanteo colocados y tensados sobre el lecho marino. Durante la inspección visual se anotaron y midieron los objetos encontrados en la tablilla de anotaciones, en tal caso se soltaba la boya de despliegue con el cabo fijo al centro del obstáculo en sí. De tal forma que la medición superficial fuese lo más puntual posible al objeto.

### **Reconocimiento final de los resultados.**

A cada obstáculo se le dio una enumeración coincidente con la fecha y el orden consecutivo de aparición. De esta forma al final de cada jornada se concilia el orden del obstáculo y sus características para su diaria representación.

### **Edición del plano topográfico y elaboración del informe final.**

La descarga de las mediciones se realizó desde el puerto USB de la estación total TS 10 con una memoria hasta un procesador, mediante un archivo txt. La visualización de dichos datos se obtuvo mediante el programa Civil 3D 2020 Metric. Con este programa se configuran los símbolos para cada obstáculo. Ver figura 2.

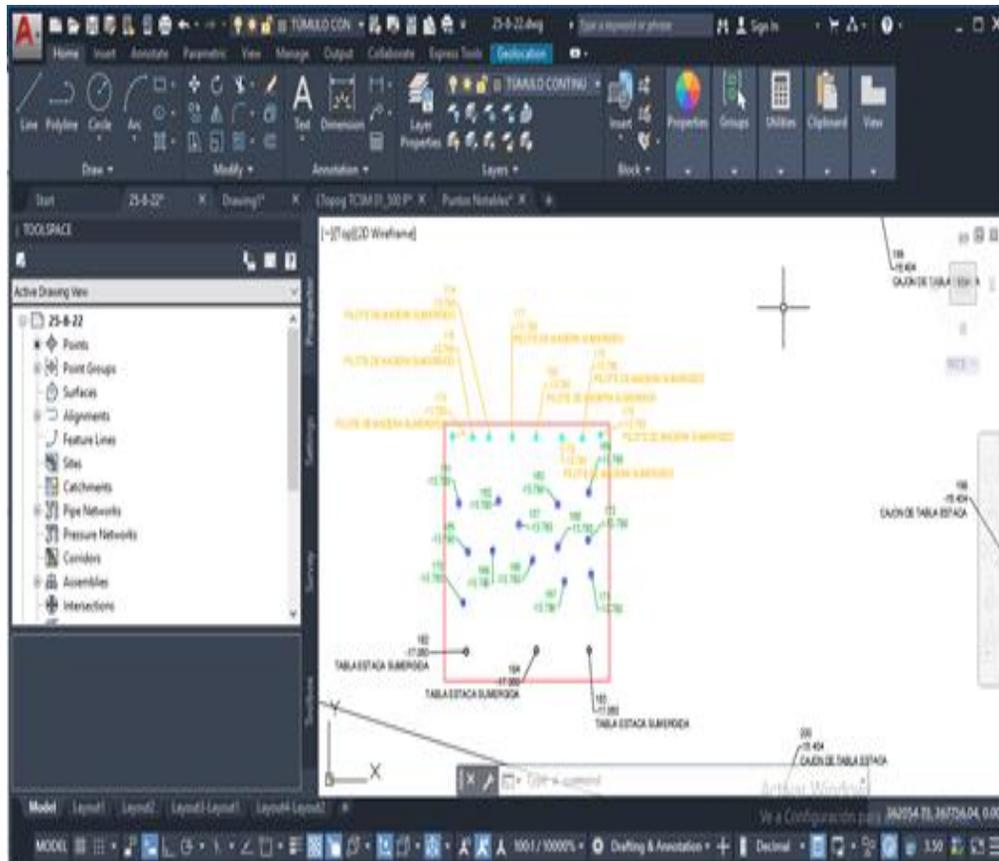


Figura 2. La visualización de los datos se obtuvo mediante el programa Civil 3D 2020 Metric. Densificación de las bases topográficas frente a cada línea de pilotes, que aseguren el replanteo y los levantamientos ejecutivos de los pilotes hincados.

Desde las tres bases topográficas monumentadas durante la exploración subacuática, se colocan marcas que resulten alineadas con las tres filas de cada eje de pilotes proyectados, de forma tal que se biseque cada pilote de manera totalmente frontal y las instrucciones por radio para que movimientos de replanteo sean lo más claras posibles (hacia proa, hacia popa, a estribor o a babor).

### **Determinan las coordenadas geográficas de las boyas de seguridad permanentes.**

Con el fin de lograr una máxima seguridad para la maniobra de las patanas y remolcadores, se han de colocar boyas permanentes ubicadas en la posición de las últimas guías de ancla en el fondo. Las posiciones de estas anclas resultan de proyectar la posición que ocuparán las mismas, cuando se hincan los últimos pilotes de las piñas de amarre.

Para lograr esto se debió levantar la patana y la posición del cepo, de forma que se pudo representar su figura y los cables guías para su ubicación fiel en el entorno geográfico. Definitivamente se determinaron las posiciones finales de dichos guías, donde se ubicaron las boyas permanentes.

Las coordenadas planas rectangulares de las boyas permanentes, se convierten del sistema de coordenadas planas rectangulares Cuba Norte al sistema de coordenadas geográficas World Geodetic System 1984 (WGS-4) que significa Sistema Geodésico Mundial 1984, para que las embarcaciones puedan ubicar puntualmente las boyas permanentes e informar de dichas coordenadas a capitanía del puerto.

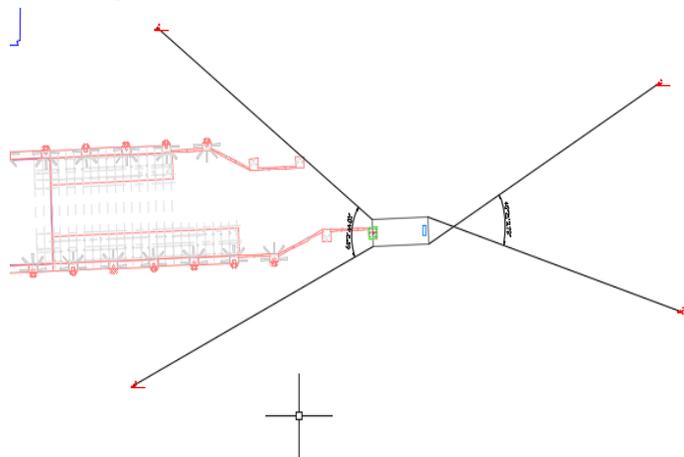


Figura 3. Posición que ocuparon las anclas cuando se hincaron los últimos pilotes de las piñas de amarre.

Sistemas de guiado y control de la hincada de pilotes en el mar, mediante tecnología GNSS.

Procedimiento de funcionamiento.

Preparación preliminar de datos: Los datos del punto de base se obtienen a partir de uno de los tres puntos densificados con RTK, más el dibujo de Diseño Asistido por Computadora (CAD) del área de hincada con pilotes o las coordenadas de la hincada con pilotes, estos se exportan al software PILEMASTER (estación móvil o Rover).

Posicionamiento de la estación base: Se ubicará la estación base sobre uno de los puntos densificados, alejado lo más posible de las áreas de laboreo y que posea buena cobertura satelital.

Instalación del sistema: Las dos antenas móviles AT 340 deben instalarse en el techo del contenedor de la patana, conectadas hacia el Tablet (estación móvil) por dos cables coaxiales.

### Operación de máquina:

Configuración del sistema de coordenadas de los puntos de entrada para los parámetros del replanteo.

El proyecto es diseñado y los parámetros del sistema de coordenadas configurados, entonces se extraen las coordenadas de los ejes de los pilotes proyectados. El archivo DWG (DraWinG formato de archivo informático de dibujo computarizado, utilizado principalmente por el programa AutoCAD, producto de la compañía Autodesk) se importa directamente en el programa para su visualización.

La pantalla de presentación o inicio, ofrece. La información de la línea base Baseline (de 0,93 m) o distancia entre las antenas, además de las coordenadas autónomas de la antena primaria.

Configuración del Datum. Se escoge el elipsoide de la región, para el caso de Cuba será el elipsoide Clarke 1866 con un semieje mayor  $a=6\ 378\ 204.4$  m un semieje menor  $b=6\ 356\ 583.8$  m y un achatamiento de  $1/f=294.978698213898$ .

Configuración del Datum. Projection. Projection name. Lambert Conformal Conic 2 parallel.

Control Point. Se editan las coordenadas de los puntos de control que se utilizarán durante la calibración de las antenas. En el sistema de coordenadas Cuba Norte (CN) planas rectangulares y en el sistema de coordenadas WGS 1984 Geodésicas.

Site calibration. Se introducen las coordenadas planas rectangulares y la altura ortométrica con sus homólogas coordenadas geodésicas en el WGS 1984 y su respectiva altura elipsoidal. El programa las compara y establece una constante, válida para el resto de los puntos a replantear.

Cálculo de las coordenadas de eje o del eje del pilote proyectado en la hinca.

Los tres puntos (dos antenas de GNSS y un eje del pilote proyectado) conforman un triángulo fijo.

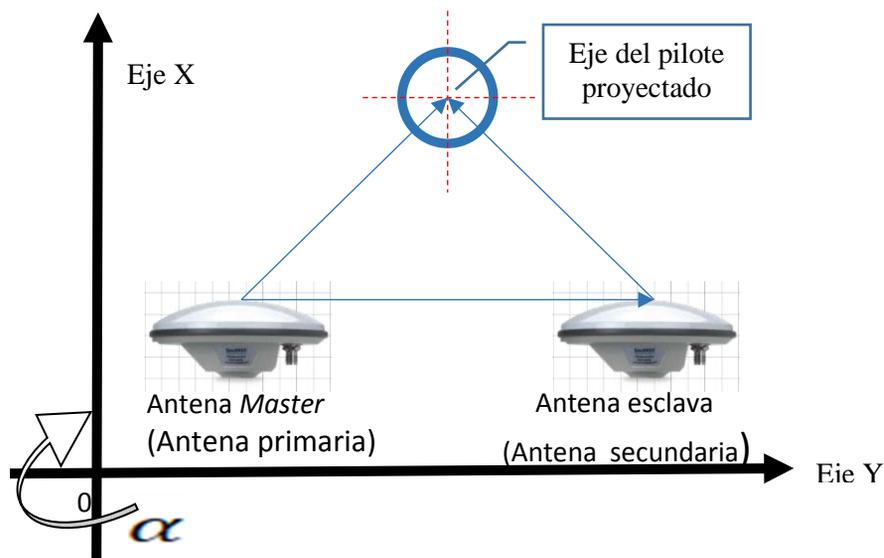


Figura 4: Principio de cálculo.

Eje X y eje Y (ejes del pilote proyectado).

Antena máster

Antena esclava

$\alpha$  es el ángulo entre el segmento formado por la antena máster y la antena esclava y la dirección del movimiento, en este caso es de  $278^{\circ}$ .

0.93 m es la distancia en el eje Y en metros desde la antena máster hasta la antena esclava (separación entre antenas).

Central Point. Punto central. En el caso que la antena primaria no se encuentre centrada sobre el Piling Point se editará la distancia off set que exista entre ambos puntos. Por ejemplo, Piling Point/Edit/N: 15.25 m.

Los dos puntos de GNSS se obtienen por RTK y entonces fácilmente se computan los ejes de los pilotes proyectados.

El software calcula y transforma los parámetros reunidos para obtener 3D exacto, se coordina y los parámetros de conducción del pilote.

Tolerance Setting. Configurando la tolerancia de los errores en el replanteo.

Base coordinates. Una vez calibradas las antenas rover, se obtienen las coordenadas de la estación base, desde la cual se reciben las correcciones.

Distance of antenna and pile. Permite la configuración al programa de las alturas entre la antena primaria y la posición del eje de pilote proyectado, donde debe hincarse el pilote.

Receiver Configuration. Configuración de receptor. Configuración de la frecuencia y el canal de recepción por radio, debe ser igual a la transmitida por la radio interna de la estación base.

Start Piling. Inicio del replanteo de la hincada de pilotes. Una vez calibradas las antenas y corregida la posición con señales RTK. Es posible visualizar la posición de la antena primaria, la dirección del movimiento de la embarcación, el error en la determinación de la antena primaria, y los satélites activos visibles.



Figura 5. Inicio del replanteo de la hincada de pilotes.

Obsérvese en este caso que el error de replanteo del pilote 1 es de 0.03 m, o sea 3cm, suficiente para acercar el centro del cepo a la posición del pilote proyectado.

### **Replanteo de la posición de cada pilote desde su cara frontal cilíndrica.**

Una vez acercado el cepo a la posición de las coordenadas proyectadas del pilote, se procede a replantear definitivamente dicho pilote. Para esto se centra la estación total en línea con el eje de los pilotes, jalonando la dirección base topográfica-eje de pilotes. Se procede a replantear las coordenadas del centro del pilote proyectado, dando indicaciones por radio sobre los movimientos en centímetros que debe hacer la patana (a proa, a popa, a estribor, a babor), estos movimientos se realizan mediante un sistema de Guinches que accionan los cables guías anclados en proa y popa de la patana. Los movimientos deben lograr la posición milimétrica en dirección y 0.45 m en distancia (radio desde la cara frontal del cilindro hasta su centro).



Figura 6. Movimientos a través de un sistema de Guinches que accionan los cables guías.

En el caso de los pilotes inclinados se biseca a una señal colocada en la cara frontal del cepo con una diferencia en distancia de -0.70 m (a la derecha en la imagen) en los cepos delanteros y -0.80 m en los cepos traseros (a la izquierda en la imagen).



Figura 7. En el caso de los pilotes inclinados se biseca a una señal colocada en la cara frontal del cepo.

### **Medición y monitoreo de los parámetros de record de hinca.**

El record de hinca constituye un grupo de datos relacionados con el comportamiento de la hinca durante su penetración en el estrato rocoso del lecho. Deben corresponderse con los elementos diseñados en el proyecto en cuanto a: dimensiones del pilote, su peso, tipo de estrato rocoso y cantidad de golpes que debe recibir el pilote durante su hincado. Estos datos se registran al unísono con el replanteo del pilote y se traducen en medir con la estación total y anotar:

Medir la altura superior del cepo.

Replantear la posición frontal del pilote.

Determinar la altura a la que queda el pilote, antes y después del martillo vibrador.

Medir la marea en ese momento.

Determinar la altura a la que queda el pilote, antes y después del martillo percutor.

Contar la cantidad de golpes que da el martillo percutor por cada metro o pie hincado.

Controlar, que durante el hincado la cota del pilote, en su unión con el martillo percutor, no baje más de 0.60 m (cota de enrase o corte del pilote).

### **Levantamiento ejecutivo de las camisas (cabezas) de los pilotes hincados.**

Se levanta la posición de los bordes delanteros y traseros del pilote hincado, con la señal radio láser (RL) sin prisma. Esto permitirá conocer la altura final del pilote y representar las coordenadas As Built (como construido) sobre el plano del diseño original. Es en este paso, donde se comprueba que el centro de la circunferencia del pilote en el diseño y el centro de la circunferencia dibujada con los puntos delanteros y traseros medidos, no sea superior a los 7.5 cm de tolerancia exigidos.

La proyección de los pilotes medidos, sobre los pilotes proyectados conforman el plano de levantamiento ejecutivo de los trabajos de hinca.

### **CONCLUSIONES.**

La inspección visual que se realiza mediante el buceo y el levantamiento de los obstáculos subacuáticos, permiten determinar la posible interferencia con la hinca de pilotes aledaños a la terminal portuaria.

Se densificaron de las bases topográficas frente a cada línea de pilotes, estas aseguraron el replanteo y los levantamientos ejecutivos de los pilotes hincados.

El aseguramiento topográfico densificó las coordenadas geográficas en el sistema WGS-84, de las boyas de seguridad permanentes, y realizaron las maniobras de acercamiento y guiado de pilotes en el mar mediante tecnología GNSS.

Se replantearon por coordenadas las posiciones de cada pilote desde su cara frontal cilíndrica.

El proceder elaborado permitió que se midieran y monitorearan los parámetros de record de hinca, así como el levantamiento ejecutivo de las camisas (cabezas) de los pilotes hincados.

### **REFERENCIAS.**

1. Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland. Manual de uso. Versión 1.0. Español. [www.leica-geosystems.com](http://www.leica-geosystems.com).
2. Heinrich-Wild-Strasse. Leica Viva Series Manual de Referencia Técnica. Versión 5.6 español. Impreso en Suiza © 2014 Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland. [www.leica-geosystems.com](http://www.leica-geosystems.com).
3. Grupo Empresarial Geocuba. Metodología para el posicionamiento topo-geodésico empleando la tecnología GNSS Leica viva. MET30-10:2014. 2014.7.
4. Normas de la OHI para los levantamientos hidrográficos. Academia de las FAR General Máximo Gómez. 2008. Publicación Especial No. 44. (SP-44).

