

geotecnia

MARZO -
MAYO 2016

239



ÓRGANO OFICIAL DE LA SOCIEDAD MEXICANA DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA, A. C. WWW.SMIG.ORG.MX



**VISITA TÉCNICA ACADÉMICA A LA CANTERA DE LOS PUMAS
EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA**

LA ZONA ARQUEOLÓGICA CACAXTLA

LA INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA: APOYO FUNDAMENTAL
DEL DESARROLLO TECNOLÓGICO

PARTICIPACIÓN DEL LECTOR

Además de comentarios y sugerencias de sus lectores sobre los contenidos, *Geotecnia* está abierta a las colaboraciones de los profesionales vinculados a la especialidad. Quienes quieran proponer trabajos deben contactarse a través de geotecnia@heliosmx.org para que se les informe de los requisitos para recibir los materiales. Los textos serán puestos a consideración del Consejo Editorial para su posible publicación.

Contenido

3 Conversando con...

Garantizar el cumplimiento de la normatividad sin entorpecer la inversión

Renato Berrón Ruiz



7 Semblanza

José Antonio Cuevas, impulsor de la mecánica de suelos

9 La geotecnia en la historia

Efectos de los sismos de septiembre de 1985 en la presa El Infiernillo

José Francisco González Valencia

16 Artículo técnico

La zona arqueológica Cacaxtla

Efraín Ovando Shelley y cols.

20 Tema de portada / Artículo técnico

Visita técnica académica a la cantera de los Pumas en la Ciudad Universitaria

Ricardo Roberto Rojo Yaniz y cols.



26 Nota técnica

La instrumentación geotécnica: apoyo fundamental del desarrollo tecnológico

Gabriel Moreno Pecero

Tecnología e innovación

30 Nuevos equipos económicos para la caracterización de sitios costa fuera

Reseñas

35 Libros

37 Tesis

40 Calendario



SMIGnoticias

42 Informe de actividades de la Mesa Directiva 2015-2016

42 Bienvenidos nuevos socios

43 Octava Conferencia "Alfonso Rico Rodríguez"

44 Laboratorio de mecánica de rocas

44 XIX Reunión Nacional de Profesores

46 Cultura

48 Cartelera

Capítulos estudiantiles

45 Facultad de Ingeniería UNAM, licenciatura

Instituto Tecnológico de Iztapalapa III

Posgrado de la Facultad de Ingeniería, BUAP

PORTADA: LA CANTERA DE LOS PUMAS
FOTO: JUAN JACOBO SCHMITTER

CONVOCATORIA

Con el fin de enriquecer el contenido de su órgano oficial de divulgación, la SMIG hace una convocatoria abierta a los lectores de la revista *Geotecnia* para que presenten artículos que permitan inaugurar una nueva sección donde se haga prospectiva o se aborden casos insólitos en el ejercicio de la especialidad.

Las propuestas pueden enviarse a geotecnia@heliosmx.org.

geotecnia

Dirección general

Raúl Aguilar Becerril

Dirección ejecutiva

Natalia Parra Piedrahita

Consejo editorial

Gabriel Auvinet Guichard

Jorge Efraín Castilla Camacho

José Francisco González Valencia

Moisés Juárez Camarena

Norma Patricia López Acosta

Germán López Rincón

Raúl López Roldán

Héctor Moreno Alfaro

Gabriel Moreno Pecero

Rodrigo Murillo Fernández

Alexandra Ossa López

Juan Paulín Aguirre

Margarita Puebla Cadena

Luis Bernardo Rodríguez

Enrique Santoyo Villa

Juan Jacobo Schmitter

Guillermo Springall Cáram

Carlos Roberto Torres Álvarez

Celestino Valle Molina

Comercialización

Martha Patricia Rivera Santillanes

Realización



HELIOS comunicación
+52 (55) 55 13 17 25

Dirección ejecutiva

Daniel N. Moser da Silva

Dirección editorial

Alicia Martínez Bravo

Coordinación editorial

José Manuel Salvador García

Coordinación de contenidos

Teresa Martínez Bravo

Contenidos

Ángeles González Guerra

Diseño

Diego Meza Segura

Dirección operativa

Alicia Martínez Bravo

Administración y distribución

Nancy Díaz Rivera

Nuevos equipos económicos para la caracterización de sitios costa fuera

En este artículo se presenta un “enfoque inteligente” para la investigación de sitio que combina el uso de equipo convencional de muestreo del lecho marino (por ejemplo caja muestreadora, muestreador por gravedad, muestreador por pistón y muestreador por pistón gigante) con los nuevos equipos “inteligentes”, tales como el CPT por gravedad, el CPT Stinger y el muestreador Stinger.

Desde la primera investigación de sitio costa fuera del Golfo de México, la cual fue realizada en un tirante de agua de 2.4 m por McClelland Engineers en marzo de 1947, las investigaciones de sitio geotécnicas se han hecho convencionalmente, usando equipos de perforación operados desde la cubierta de una embarcación. Cuanto más se ha incrementado el tirante de agua, más grandes y especializados son los equipos de perforación y barcos de apoyo requeridos, cuya movilización y operación es más costosa.

Debido al alto costo de los sondeos en aguas profundas, se limita su número, así como la cantidad de muestras que pueden ser recuperadas y el área a cubrir por determinado proyecto de caracterización de sitio.

A medida que los proyectos se realizan en sitios cada vez más remotos y con mayores tirantes de agua, los grupos de desarrollo de proyectos requieren datos geotécnicos, geológicos y ambientales en las etapas tempranas del proyecto, cuando aún el financiamiento total no está disponible; para ello se han creado nuevos equipos con costos mínimos de movilización que pueden ser desplegados desde embarcaciones abastecedoras.

En este artículo se presenta un “enfoque inteligente” para la investigación de sitio que combina el uso de equipo convencional de muestreo del lecho marino (por ejemplo caja muestreadora, muestreador por gravedad, muestreador por pistón y muestreador por pistón gigante) con los nuevos equipos “inteligentes”, tales como el CPT por gravedad, el CPT Stinger y el muestreador Stinger.

La ventaja de estos equipos es que pueden ser desplegados desde embarcaciones abastecedoras. Este “enfoque inteligente” provee a los grupos de desarrollo de proyectos datos geotécnicos, geológicos y ambientales que pueden ser usados en la etapa de ingeniería básica de oleoductos, líneas de conducción, cimentaciones submarinas y sistemas de fondeo y anclaje para plataformas marinas, así como para la evaluación de riesgos geológicos, y proporcionan una base de apoyo para las evaluaciones ambientales y el trámite

de permisos. De esta manera, con una sola movilización realizada en la fase temprana de un proyecto el grupo puede progresar en el diseño, la etapa conceptual y la etapa de ingeniería básica. En muchos proyectos de aguas profundas en el Golfo de México y costa fuera de África occidental, la información obtenida con los equipos descritos ha proporcionado datos suficientemente contundentes para el diseño de detalle, sin necesidad de realizar más investigaciones geotécnicas.

UN ENFOQUE INNOVADOR ECONÓMICO

En vez del enfoque convencional de recuperar muestras de suelo (perforación y muestreo) desde barcos geotécnicos, actualmente se recomienda usar una combinación de equipos que puedan ser desplegados desde barcos abastecedores para proporcionar una caracterización geotécnica desde el lecho marino y hasta 42 m por debajo del lecho marino. Tal profundidad de investigación es generalmente suficiente para la mayor parte del diseño de la cimentación, sobre todo para aguas profundas, donde las cimentaciones que soportan las instalaciones submarinas o anclas para plataformas flotantes raramente exceden los 30 m bajo el lecho marino.

El “enfoque inteligente” utiliza una mezcla de equipos convencionales de perforación y muestreo con equipos recientemente desarrollados de muestreo y de pruebas *in situ*, como se describe a continuación:

Equipos convencionales de muestreo

- Caja muestreadora (profundidad 0-1 m)
- Muestreador de pistón (profundidad 0-6 m)
- Muestreador por gravedad (profundidad 0-3 m)
- Muestreador por gravedad gigante (profundidad 0-22 m)

Muestreadores recientemente desarrollados, equipo de muestreo y de pruebas *in situ*

- Sonda de penetración dinámica de piezocono (profundidad 0-41 m)



Figura 1. Stinger CPT listo para la implementación (izquierda); desplegado sobre la popa de la embarcación (derecha).

- Muestreador profundo con tubo Shelby (profundidad 20-41 m)
- Sonda de penetración dinámica de bola (*T-bar*) dinámica y estática (profundidad 0-41 m)

Debido a las limitaciones en la extensión del artículo, sólo se describirán los equipos recientemente desarrollados.

SONDA DE PENETRACIÓN DINÁMICA DE PIEZOCONO (PROFUNDIDAD 0-41 m)

El piezocono penetrómetro CPT Stinger (0 a 41 m de profundidad) es un equipo para la delimitación de la estratigrafía y la obtención de parámetros de suelo para el diseño de pilotes de anclaje, pilotes de succión y grandes cimentaciones submarinas, así como para la evaluación de estabilidad de taludes.

Históricamente, una sonda PCPT se despliega dentro de la tubería de perforación y avanza a intervalos seleccionados de profundidad con operaciones convencionales de perforación y muestreo utilizando un barco de perforación geotécnico. Posteriormente, se diseñó el PCPT que se despliega usando pesadas unidades modulares que se bajan y apoyan directamente en el lecho marino; se realiza así un sondeo continuo desde el lecho marino hasta una profundidad típica de 40 m. Más recientemente, las unidades de perforación operadas en

el fondo marino fueron desarrolladas para perforar, muestrear y realizar pruebas de CPT proporcionando datos de CPT espaciados y discontinuos a intervalos de profundidad preseleccionados, como se realiza en los barcos geotécnicos.

En todos los casos ha sido necesario utilizar barcos sustancialmente caros para desplegar el equipo CPT y las unidades de perforación. El alto costo de los sondeos en aguas profundas y el muestreo a intervalos extensamente espaciados impone restricciones significativas para obtener suficientes datos de alta calidad del suelo. Por lo tanto, había necesidad de desarrollar mejores y más inteligentes métodos para evaluar de manera económica, rápida y continua las propiedades de suelo a través de la profundidad de cimentación sin sacrificar su exactitud.

Hace cuatro años se desarrolló el sistema portátil CPT Stinger para proporcionar datos de PCPT de alta calidad de un modo rentable. Este nuevo sistema puede ser desplegado desde un barco abastecedor, con lo cual se maximiza la disponibilidad de las embarcaciones, se reduce el programa de ejecución y se minimizan los costos de la investigación; por estos motivos el sistema rápidamente ganó aceptación (Buhler y Audibert, 2012; Young *et al.*, 2011; Jeanjean *et al.*, 2012; Velosa *et al.*, 2013).

El CPT Stinger tiene su propio barril de ensamble, juego de varillas internas, módulo de mando para empujar la vari-

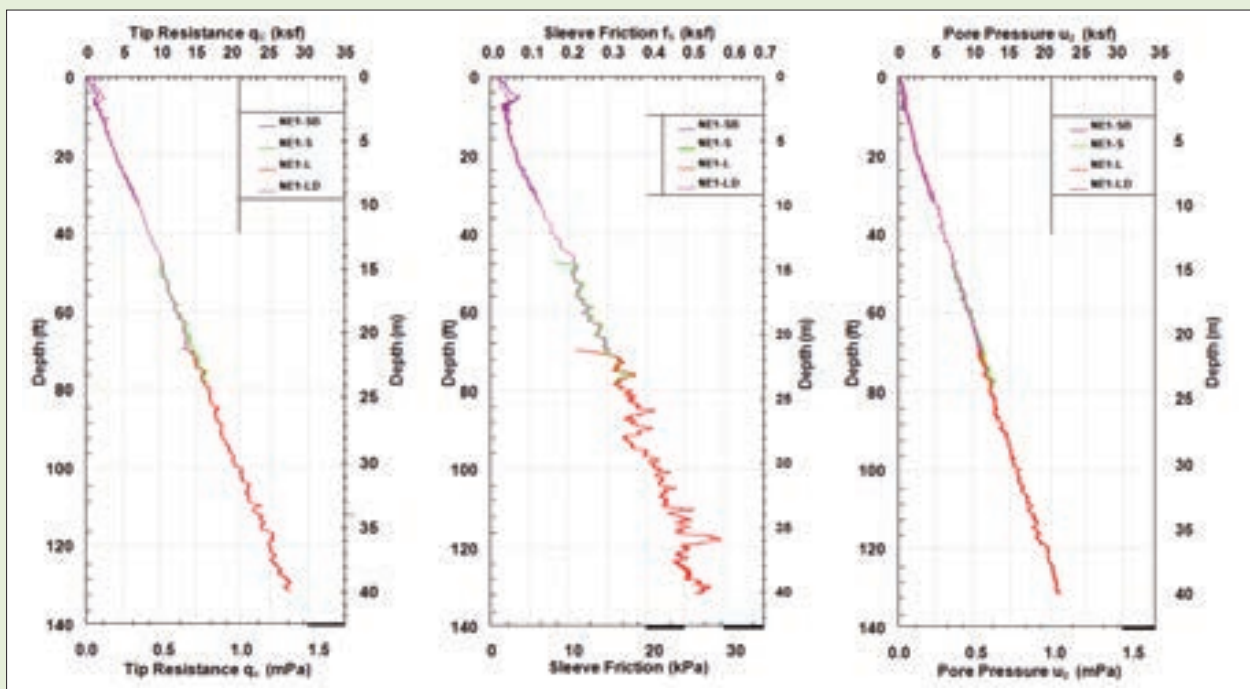


Figura 2. Ejemplo de datos de salida de tres sistemas CPT.

lla y un cono PCPT con registro de datos interno. El equipo se despliega y dispara (véase figura 1) de la misma manera en que se hace con un muestreador por pistón gigante (JPC, por sus siglas en inglés); permite la caída libre para insertarse balísticamente en el sedimento como un JPC. Después del disparo a menos de 1 m por encima del fondo marino, se adquieren datos de cono 200 veces por segundo durante los 3 segundos de penetración balística dentro de la formación, para generar así un conjunto de datos dinámicos de PCPT durante el proceso de inserción.

Después de la penetración total, se siguen obteniendo rápidamente datos con el cono mientras éste es lentamente empujado a mayor profundidad dentro de la formación a una velocidad controlada –por norma ASTM, la velocidad es de 2.0 ± 0.5 cm/s–. Los datos de la sonda son registrados cada 0.1 mm a medida que el empuje estático progresa, y se genera un conjunto de datos estáticos de PCPT. Una vez que concluye, el sistema regresa a cubierta y los datos se transfieren para su evaluación y análisis. El equipo es preparado nuevamente para el siguiente despliegue, normalmente en menos de 20 minutos, y realiza de 3 a 5 despliegues en aguas profundas por turno de 12 horas. El máximo tirante de agua en el que el equipo CPT Stinger ha sido operado con éxito es de 3,000 m, mientras que el mínimo es de 350 m, pero el equipo también puede ser operado en aguas más someras, como 30 m, usando un modo específico para ello.

Además, se pueden obtener datos de CPT estáticos de alta calidad ajustando la velocidad de muestreo de la sonda PCPT dinámica (Buhler y Audibert, 2012). Una manera particularmente eficaz de usar el sistema es junto con in-

formación cercana de muestreo continuo con JPC y perfiles sísmicos del perfilador. Esto permite la correlación de los resultados de CPT con las resistencias de muestreos continuos a una profundidad significativa de traslape y con los cortes transversales geofísicos.

Se ha demostrado la validez de los datos obtenidos con el CPT Stinger en cuatro niveles:

- Comparando datos estáticos de CPT Stinger con datos CPT obtenidos por otros contratistas en el mismo sitio usando equipos convencionales para sondeos CPT en el lecho marino.
- Comparando datos estáticos de CPT Stinger obtenidos por tres equipos CPT Stinger de diferentes longitudes (véase figura 2) y asegurando, por superposición de resultados, que los tres equipos proporcionan datos intrínsecamente consistentes.
- Comparando los datos de resistencia al corte obtenidos a partir del CPT Stinger estático con los resultados de laboratorio; la resistencia fue determinada en muestras de JPC y muestreos convencionales obtenidos por otros.
- Comparando los datos obtenidos de empuje estático aplicando corrección de efecto de los datos dinámicos de CPT Stinger a los datos estáticos de CPT Stinger.

Una vez que se demostró con éxito que fueron confiables tanto los datos estáticos y los datos corregidos dinámicos del CPT Stinger como aquéllos obtenidos por otros en los mismos sitios pero usando equipo convencional de CPT, el CPT Stinger quedó totalmente calificado, por lo que no había necesidad de usar el CPT Stinger de tres longitudes

diferentes para cubrir la profundidad total de 41 m. Ahora sólo se requiere el Long CPT Stinger para cubrir la parte de investigación usando el concepto de conversión dinámico a estático para hacer las operaciones aun más rentables.

El barril estándar del Long CPT Stinger puede ser insertado balísticamente hasta aproximadamente 19 m por debajo del lecho marino, y luego el cono penetrometro es empujado estáticamente hasta unos 35 m bajo el lecho marino. El Extended Long CPT Stinger puede ser insertado hasta unos 22 m por debajo del lecho marino y luego el cono penetrometro empujado estáticamente a unos 41 m por debajo del lecho marino.

El CPT Stinger ha sido usado con éxito en todo el mundo, principalmente en varios sitios en aguas profundas del Golfo de México, en el oeste y este costa fuera de África y costa fuera de Centroamérica.

En fechas recientes se introdujo una versión dinámica más corta, rápida y económica del CPT Stinger para caracterizar los primeros 10 m bajo el lecho marino con el fin de evaluar rutas de tubería o líneas de flujo. El nuevo equipo (véase figura 3), llamado CPT por gravedad, tiene la misma cabeza

que el muestreador de pistón y es desplegado con el mismo equipo (malacate y marco A) y con el mismo proceso del muestreador de pistón. Cuando se encuentra por encima del lecho marino, el equipo es disparado como muestreador de pistón, para insertarse balísticamente en el suelo.

Una vez introducido el cono en el suelo y completado el registro de datos de PCPT menos de 2 segundos después de que ha sido disparado, el sistema es inmediatamente recuperado del fondo del mar y llevado a cubierta; los datos del cono se transfieren para su evaluación y análisis. El equipo se prepara para el siguiente despliegue, normalmente en menos de 5 minutos, y hace numerosas medidas por día en aguas profundas, dependiendo sólo de la profundidad del agua y la velocidad del malacate. La profundidad de agua máxima en la que ha operado el CPT es de 3,000 m.

MUESTREO DINÁMICO PROFUNDO.

MUESTREADOR STINGER (PROFUNDIDAD 20-41m)

Como se mencionó antes, el alto costo de los sondeos convencionales en aguas profundas limita el número de éstos, la

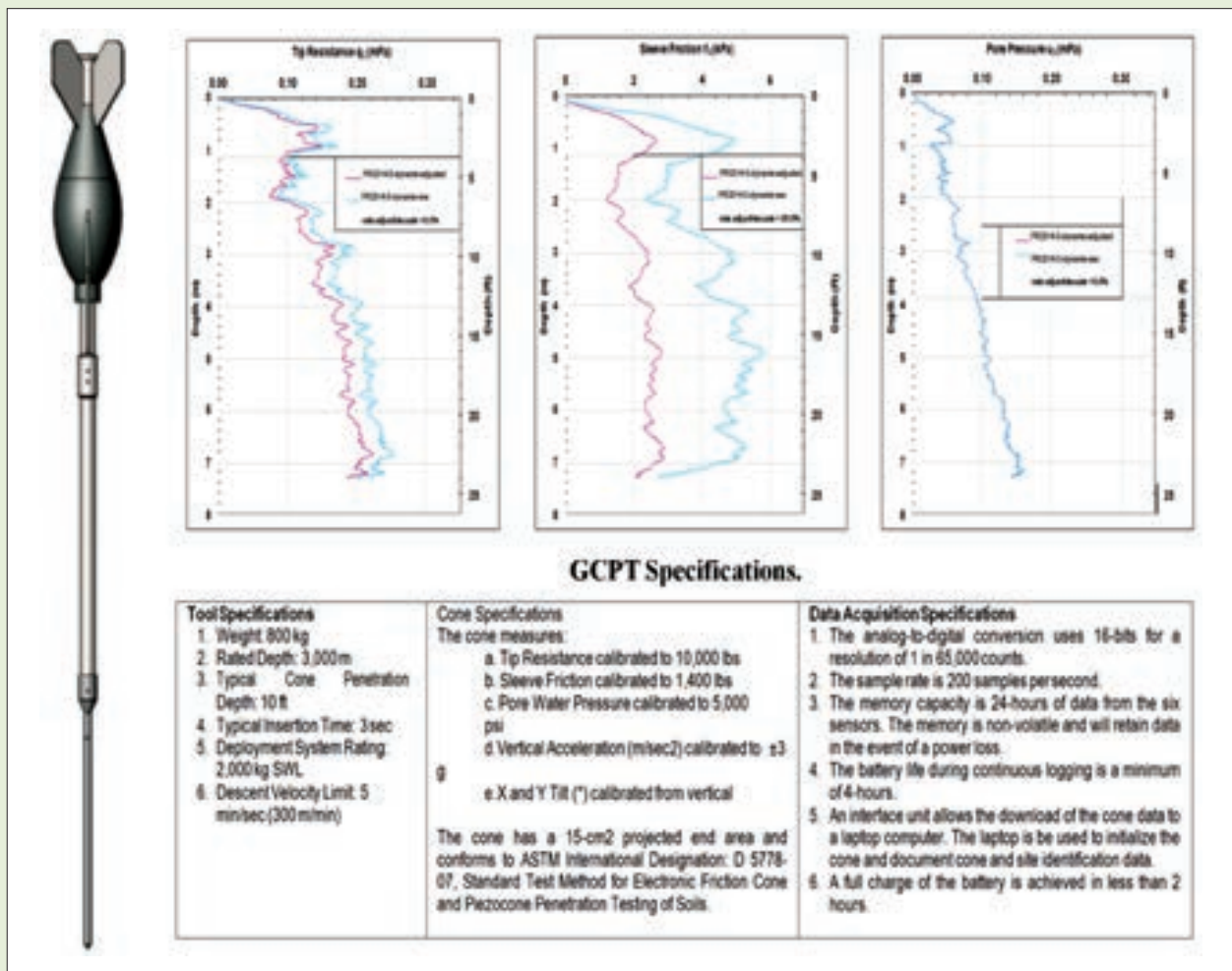


Figura 3. Esquema del sistema de CPT Stinger por gravedad (izquierda); resultados gráficos de un despliegue GCPT (derecha arriba) y especificaciones GCPT (derecha abajo).

cantidad de muestras de suelo que se pueden recuperar y la cobertura regional de un determinado proyecto.

Para solucionar este problema, hace aproximadamente un año se desarrolló un equipo innovador y rentable llamado muestreador Stinger (véase figura 4). La idea básica del sistema es insertar un tubo Shelby estándar en el suelo marino para adquirir muestras inalteradas de alta calidad de 3 pulgadas de diámetro a profundidades de 20 a 40 m por debajo del lecho marino, para complementar eficazmente el muestreo continuo de suelo de 0 a 20 m con JPC.

Los beneficios económicos de adquirir rápidamente varias muestras de alta calidad de suelo geotécnico desde un barco con costo modesto son evidentes. El muestreador Stinger permite la adquisición de datos de alta calidad con un bajo presupuesto y abarca mayor cobertura regional en comparación con la cantidad de datos obtenidos de un solo sondeo convencional más caro. De esta manera, el muestreador Stinger ayuda a reducir los riesgos globales asociados al diseño de la cimentación y la planificación de la instalación (por ejemplo para pilotes de anclaje, pilotes de succión, diseño de cimentaciones submarinas y evaluación de estabilidad de taludes).

SONDAS T-BAR O BOLA PENETRÓMETRO DINÁMICA (PROFUNDIDAD 0-41m)

La *T-bar* Stinger o bola penetrómetro Stinger se despliega exactamente de la misma forma que el CPT Stinger. El cono CPT es simplemente sustituido por equipos de desplazamiento total, como la *T-bar* o bola penetrómetro. La ventaja de los equipos de desplazamiento total sobre el cono consiste en que se puede obtener una resistencia cortante más consistente y que no depende de la geografía, como sí lo hace el CPT. En cuanto al CPT, este equipo es el más útil para delinear la estratigrafía y para obtener parámetros de diseño del suelo para pilotes de anclaje, pilotes de succión, diseño de cimentaciones submarinas y evaluación de estabilidad de taludes.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Se ha presentado y comentado lo que se entiende por un “enfoque inteligente” para la caracterización de sitio. Los atributos de este enfoque son los siguientes:

- Proporciona datos de alta calidad de la estratigrafía del suelo hasta la profundidad de cimentación de interés, que es desde el lecho marino hasta 41 m bajo el lecho marino.
- Proporciona parámetros de diseño de suelo de alta calidad hasta la profundidad de cimentación de interés, que es desde el lecho marino hasta 41 m bajo el lecho marino.
- Proporciona datos de suelo de alta calidad para una variedad de aplicaciones de diseño, desde cerca del lecho marino para tuberías y diseño de instalaciones submarinas hasta grandes profundidades para el diseño de cimentación o pilotes de anclaje.
- Proporciona datos geológicos de alta calidad para ayudar a los grupos de diseño a evaluar los georriesgos potencia-



Figura 4. Ilustración esquemática del muestreador Stinger. Arriba: ensamble general; abajo: detalle del muestreador.

les, tales como inestabilidad de taludes, movimiento de taludes o flujos turbios.

- Proporciona a los grupos de desarrollo de proyecto datos rápidos para ayudarles a descubrir y evitar potenciales errores fatales o que podrían surgir posteriormente en el ciclo de diseño del proyecto.
- Proporciona datos más rentables al usar una combinación de equipos convencionales con equipos recientemente desarrollados que pueden ser desplegados desde abastecedores disponibles, los cuales tienen gastos de movilización y operación más bajos que los barcos especializados de perforación geotécnica ➡

Referencias

- Buhler, L. R. y J. M. E Audibert (2012). Rate-effect correction methods for free-fall CPT data in deepwater Gulf of Mexico – An operator’s perspective. *Proceedings of the Seventh International Conference*. 12-14 de septiembre. Londres: Royal Geographical Society.
- Jeanjean, P., D. Spikula y A. Young (2012). Technical vetting of free-fall cone penetrometer. *Proceedings of the Seventh International Conference Offshore Site Investigation and Geotechnics*. Londres.
- Velosa, C. L., B. Remmes y M. Bik (2013). Strength characterization of soft marine deposits off East Africa using the CPT Stinger method. *Proceedings of the Deep Offshore Technology Conference*. The Woodlands.
- Young, A., B. Bernard, B. Remmes, L. Babb y J. Brooks (2011). CPT Stinger – An innovative method to obtain CPT data for integrated geo-science studies. *Offshore Technology Conference*. 2-5 de mayo. Houston.

Elaborado por Bernie B. Bernard, Jean M. E. Audibert y James M. Brooks.

Todas las imágenes, cortesía de TDI-Brooks International.