

EFFECTO DE LAS TÉCNICAS MODERNAS DE MUESTREO DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA EN LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DE LOS SUELOS MARINOS PARA DISEÑO DE PLATAFORMAS

R. Nava Castro,	Especialista, Instituto Mexicano del Petróleo
P. Barrera Nabor,	Especialista, Instituto Mexicano del Petróleo
E. Rojas Martínez	Especialista, Instituto Mexicano del Petróleo

RESUMEN

Desde que se inicio la explotación del crudo en el Golfo de México, Pemex, se ha visto en la necesidad de construir plataformas y tuberías submarinas para la extracción y manejo del vital líquido. A partir de ese entonces la Industria Petrolera se encuentra en continuo desarrollo, por lo que ha requerido construir obras costafuera más confiables y seguras. Donde la exploración geotécnica marina representa un aspecto importante en el diseño de las instalaciones de la Sonda de Campeche. La técnica de muestreo, hasta los 90's se realizó con una técnica denominada de cable guía (Wire Line), que consistía en el hincado por percusión de un muestreador de pared delgada. Ultimamente el muestreo se efectúa con tubos hincados a presión. El efecto de ambas técnicas de muestreo fue determinado obteniendo muestras de un mismo sondeo en seis diferentes sitios. Las muestras fueron ensayadas en el laboratorio de donde se obtuvieron variaciones en la capacidad axial de orden del 30%, siendo mayor en las muestras obtenidas por presión. Estos resultados han permitido reducir el costo de las cimentaciones profundas en proyecto o el incremento de la capacidad axial de los pilotes de estructuras existentes.

1. INTRODUCCIÓN

Desde que se inicio la explotación del crudo en el Golfo de México, Pemex, se ha visto en la necesidad de construir plataformas y tuberías submarinas para la extracción y operación del vital líquido. A partir de ese entonces la Industria Petrolera se encuentra en continuo desarrollo, por lo que necesita construir obras costafuera más confiables y seguras

Con el paso del huracán Roxanne en 1995 por la Sonda de Campeche se sometieron a más de 200 plataformas marinas a condiciones oceanográficas extremas, similares a las de diseño (100 años de periodo de retorno). A pesar de no observarse evidencias de falla en la cimentación se propuso una campaña de inspección detallada de las plataformas marinas existentes, mismas que fueron seleccionadas aleatoriamente del total de la población. La evaluación del estado estructural de las plataformas marinas requirió del conocimiento de la capacidad de carga real ante cargas axiales y laterales de la cimentación, que de acuerdo con el comportamiento observado debería ser mayor a la estimada durante el diseño. Este incremento fue tomado en cuenta a través de la aplicación de sesgos (relación del valor real con el valor nominal). A la fecha se han identificado diferentes fuentes que influyen en la capacidad de carga de las cimentaciones, entre ellos se pueden mencionar: la técnica de muestreo, la velocidad de aplicación de la carga, la re-estructuración del suelo (envejecimiento), los códigos utilizados en la evaluación de la capacidad de carga, procedimientos aplicados en la ejecución del sondeo, técnicas de laboratorio, etc. Este artículo tiene dos objetivos: el primero describe el procedimiento utilizado en la definición del efecto de la técnica de muestreo de los suelos marinos de la Sonda de Campeche; y el segundo describe las variaciones existentes en el esfuerzo cortante al aplicar las técnicas de muestreo.

En sus inicios la exploración geotécnica estaba limitada de tal forma que los primeros estudios que se realizaron consistían en obtener muestras por percusión lo que no permitía estudiar al suelo in-situ e involucrando un grado de alteración en la muestra, lo que requirió la implementación de nuevas tecnologías de exploración geotécnica.

Es a partir de los 90's cuando se implemento el uso de nuevas técnicas de exploración a través de pruebas de campo y nuevos métodos de muestreo; dentro de los primeros se encuentra el uso del cono penétrómetro y de veleta, dentro de los segundos se ha implementado el método de presión para la recuperación de muestras inalteradas para desarrollo de ensayos dinámicos en laboratorio. Los resultados obtenidos de las pruebas de campo junto con los resultados de laboratorio nos proporcionan parámetros de resistencia del suelo más veraces, con lo que se obtendrá un diseño más confiable de las plataformas.

Durante la ejecución de una exploración geotécnica, intervienen muchos factores que tienden a modificar los resultados del estudio, entre ellos se tienen: el movimiento vertical de la embarcación durante el muestreo, el diámetro de la tubería de perforación, el equipo y las técnicas de muestreo, el procedimiento de extracción de la muestra, de los tubos muestreadores, el empaquetamiento de las muestras y su manejo, los medios de transporte utilizados para el envío de las muestras al laboratorio, la liberación de esfuerzos de las muestras, equipos de laboratorio, etc. Hasta hace algunos años, la técnica de muestreo más popular fue el método del cable guía. Este sistema de recuperación de muestras permitía aislar los movimientos verticales de la embarcación, reduciendo aparentemente la alteración de las muestras. Actualmente, las técnicas de muestreo han sido mejoradas, los tubos muestreadores son ahora hincados a presión por medio del empuje del fluido estabilizador del pozo, y los movimientos verticales del barco son eliminados por un novedoso sistema, llamado compensador de movimientos verticales, el cual permite a la embarcación moverse verticalmente hasta 7 pies dejando fija la tubería de perforación.

Antes de los 90's, con el propósito de eliminar los movimientos verticales de las embarcaciones de exploración geotécnica marina, los sondeos se realizaban con una técnica denominada de cable guía (Wire Line), que consistía en el hincado por percusión de un tubo muestreador de pared delgada de 2 ½" de diámetro exterior y 2 ¼" de diámetro interior, con un martinete 74.8 Kg, (165 lbs) cayendo desde una altura de 1.524 m (5 pies), accionado manualmente por un cable desde la cubierta del barco. A la fecha se ha implantado en la Sonda de Campeche otra de técnica de muestreo de los suelos arcillosos, consistente en la obtención de las muestras a través tubos de pared delgada de 3" de diámetro exterior y 2 ¾ de diámetro interior, hincados por presión.

1.1 LONGITUD DE PENETRACIÓN DE LOS PILOTES

El análisis y diseño de los pilotes para plataformas marinas se rigen por las recomendaciones incluidas en el API-RP-2A (Recommended Practice for Planning and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design) en el cual se indican a grandes rasgos la filosofía para el análisis, diseño y construcción de cimentaciones costa afuera.

La capacidad axial de los pilotes para la determinación de la longitud de penetración es obtenida de acuerdo a la siguiente formulación la cual es aplicable solamente en suelos arcillosos y en arenas no-carbonatadas:

$$Q_s = Q_f + Q_p = fA_s + qA_p \quad (1)$$

Donde:

Q_f	Capacidad total por fricción.	A_s	Area lateral del pilote.
Q_p	Capacidad total por punta.	q	Capacidad unitaria por punta.
f	Fricción lateral unitaria	A_p	Area de la punta del pilote

a).- Para suelos cohesivos

$$f = ac \quad (2)$$

$$a = 0.5y^{-0.5} \quad \text{si } y \leq 1.0 \quad (3)$$

$$a = 0.5y^{-0.25} \quad \text{si } y > 1.0 \quad (4)$$

$$y = c / p'_o \quad (5)$$

$$q = 9c \quad (6)$$

b).- Para suelos no-cohesivos

$$f = Kp'_o \tan d \quad (7)$$

$$q = p'_o N_q \quad (8)$$

Donde:

- a Factor adimensional
- c Resistencia al corte del suelo no drenada.
- K Coeficiente de empuje de tierras (relación del esfuerzo horizontal al esfuerzo vertical)
- N_q Factor de capacidad de carga por punta, función del ángulo de fricción interna.
- P'_o Presión efectiva vertical a la profundidad en cuestión.
- d Angulo de fricción entre el suelo y el pilote.

2. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TÉCNICA DE MUESTREO

En 1983, G. W. Quiros de la cía. McClelland Engineers, Inc, realizó una comparación de los resultados de la resistencia al esfuerzo cortante obtenida de muestras recuperadas con el método del cable guía (hincado por percusión) y con el método de hincado por presión de tres sitios localizados frente a las costas de Louisiana en el Golfo de México. En los tres sitios se tenían similares características estratigráficas, arcillas normalmente consolidadas, altamente plásticas. Para la evaluación de la resistencia al esfuerzo cortante se efectuaron pruebas de compresión simple, compresión triaxial no-consolidada no-drenada (U U), veleta miniatura y veleta a control remoto. Los resultados de las pruebas indicaron relaciones de resistencia al esfuerzo cortante de las muestras recuperadas por presión a las obtenidas por percusión, del orden de 1.70 a 3.30, en las pruebas de compresión simple; de 1.40 a 2.00, con la veleta miniatura y de 1.30 con las pruebas de compresión triaxial y veleta remota; en los dos últimos casos los resultados de los tres sitios fueron similares, (G. W Quiros, et al, 1983).

En la Sonda de Campeche, en el área de Taratunich, fueron efectuados por diferentes compañías, 15 sondeos geotécnicos, identificándose similar estratigrafía en los 15 sitios, arcillas normalmente consolidadas de alta plasticidad. La mayoría de los sondeos se realizaron con el método del cable guía y solamente en uno de ellos se aplicó el método de recuperación de muestras por presión (Taratunich-TF). De estos sondeos, se evaluaron los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante y las curvas de capacidad de carga axial de cuatro sitios (Taratunich-DL1, Taratunich-TC, Taratunich-A y Taratunich-TF, refs. 8 y 11) Figs. 1 y 2; los tres primeros fueron efectuados aplicando el método del cable guía y el último fue llevado a cabo con el método de recuperación de muestras por presión. Las curvas de capacidad axial última obtenidas se indican en la Fig.2, de donde se puede definir un incremento en la capacidad de carga del pilote en el sondeo Taratunich-TF, del orden del 30%. En la generación de las curvas de capacidad axial última se aplicó el procedimiento del API-RP-2A, indicado en el párrafo 1.2.

Asimismo se efectuó la comparación de los resultados obtenidos en otros sitios donde se han realizado sondeos aplicando diferente técnica de muestreo tales como: ZAAP-B y ZAAP-B1, EK-A y EK-TA, SINAN-1 y SINAN-DL1; en las gráficas de la Fig. 2, se puede observar que los suelos constituidos básicamente por arcillas presentan una ganancia considerable en la capacidad axial. Sin embargo en los suelos donde existen estratos alternados de arena y arcillas (Fig. 3), la variación en la capacidad axial última es mínima, debido a la sobreconsolidación que se produce por las condiciones de drenaje existentes en los estratos permeables, que afectan el factor de adherencia aplicado en la evaluación de la fricción de los pilotes, párrafo 1.2.

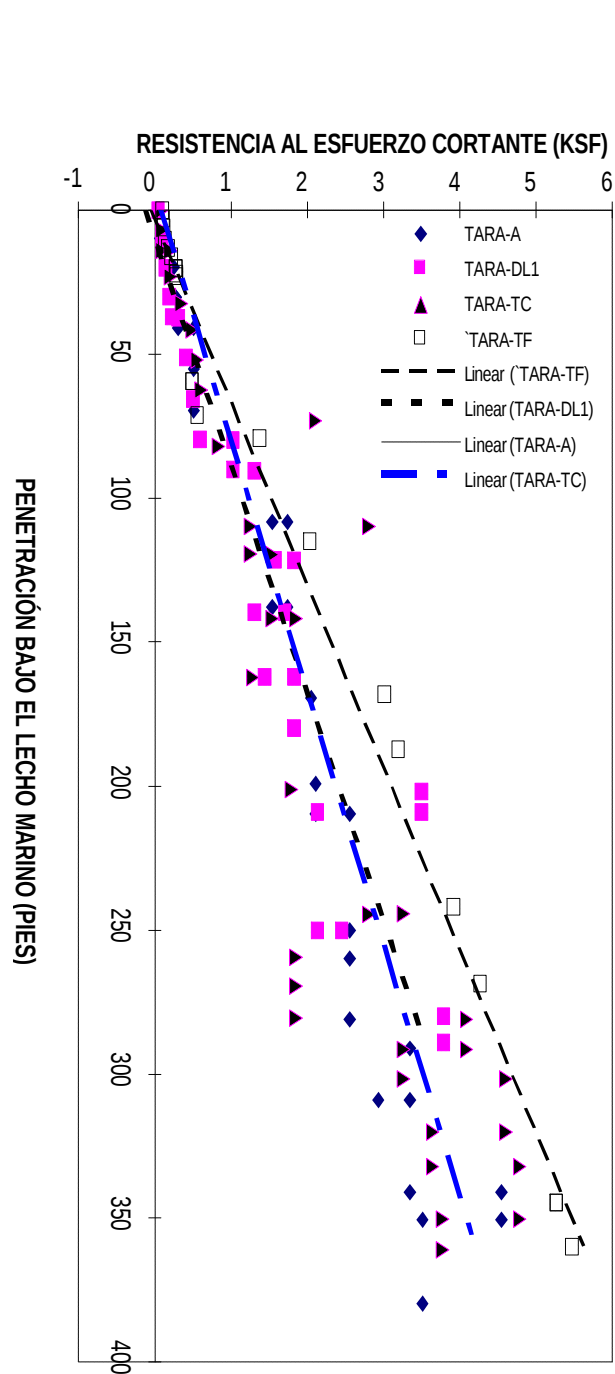


Fig. 1 Resistencia al esfuerzo cortante en el área de Taratunich

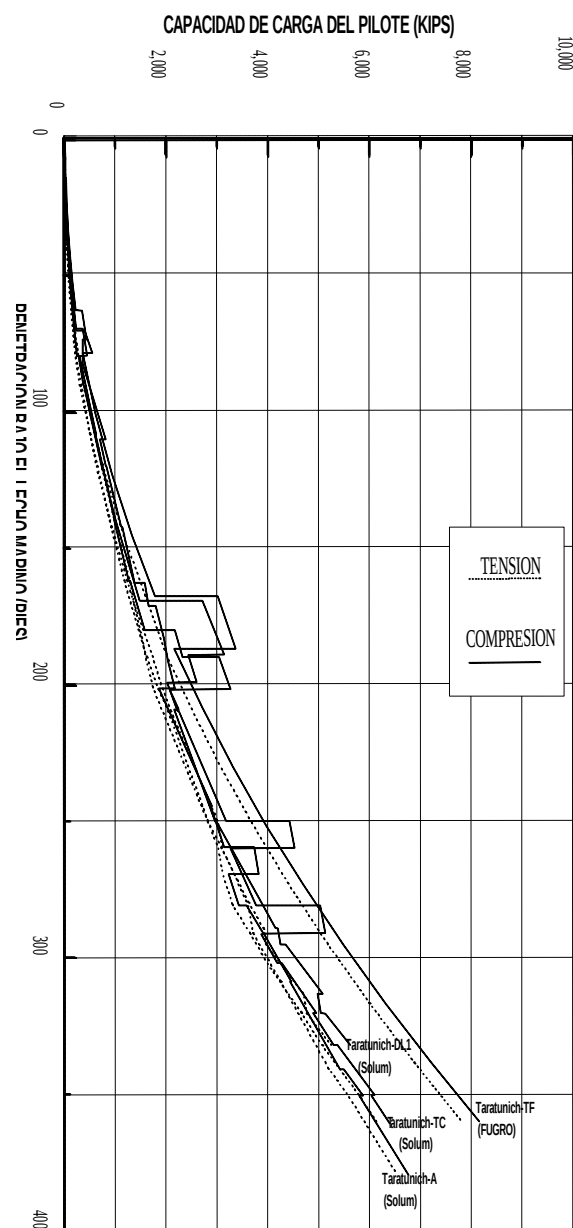


Fig.2 Curvas de capacidad axial última para el área de Taratunich

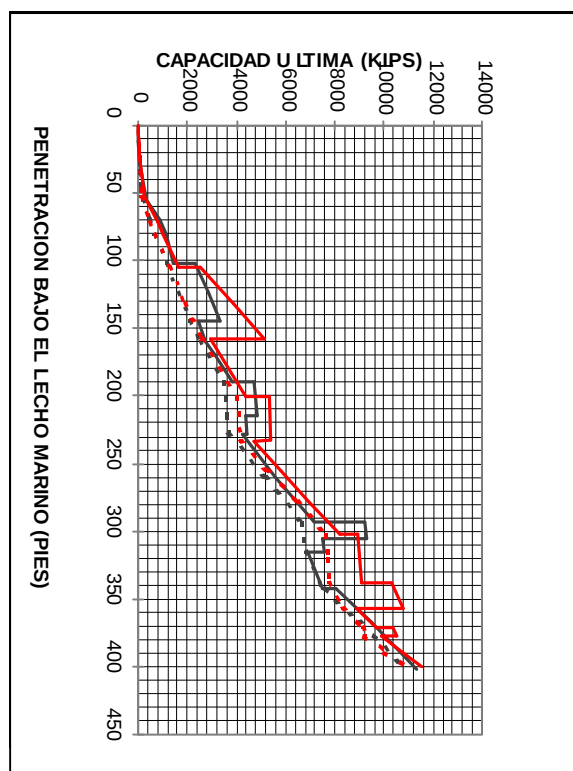


Fig. 3 Curvas de Capacidad Axial última de los sitios Ek-A y Ek-Ta

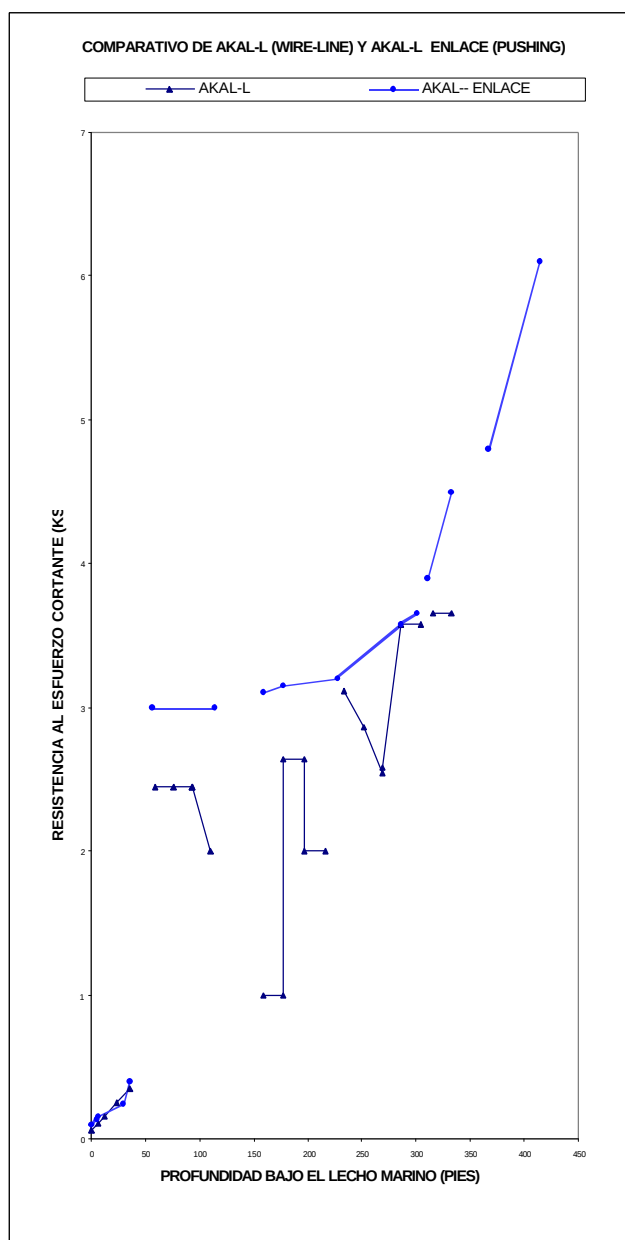
En 1997 se realizaron tres sondeos geotécnicos aplicando diferentes técnicas para la recuperación de las muestras de suelo, los sitios seleccionados corresponden con Maloob-B(1), Chuc-C y Zaap-A(1), la selección se efectuó en función de las características estratigráficas representativas de la Sonda de Campeche

En las localizaciones de Akal-L, Pool-D y Akal-H, se realizaron estudios geotécnicos en diferentes épocas; los primeros estudios se efectuaron en los 70's con el método del cable guía y los segundos se realizaron con el método de presión, estos estudios se ubicaron cerca de las plataformas, sólo en el caso de Akal-L el estudio se ubicó a una distancia de 170 metros aproximadamente. En estos estudios se observa que la técnica de presión empleado vierte mejores resultados que la del cable guía, tal como se puede observar en las figuras 4 a 6. En los estratos formados por arcillas se nota un incremento en su capacidad axial, en el caso de los estratos intercalados con arenas y arcillas la ganancia es mínima, debido posiblemente al grado de consolidación de las arcillas.

2.1 TÉCNICAS DE EXPLORACIÓN Y MUESTREO

Los sondeos se perforaron usando un taladro de perforación costa afuera y un bloque giratorio de acción superior tipo Wirth B3-5 (con un compensador de movimientos verticales, con carrera de 3 m (10 pies), montado sobre la escotilla de perforación del barco. La embarcación fue anclada con un sistema de amarre de 4 puntos. La perforación se efectuó con tubería convencional API de 127 mm de diámetro (5 pulg.) y el sistema *Dolphin* para el muestreo. Las muestras fueron obtenidas a través de la tubería de perforación a intervalos de 0.9 m (3 pies) hasta una penetración de 12.2 m (40 pies), a intervalos de 1.5 m (5 pies) desde una penetración de 12.2 m (40 pies) hasta una penetración de 24.7 m (81 pies) y aproximadamente a intervalos de 3.7 m (12 pies) desde la penetración anterior hasta la profundidad final del sondeo, las cuales fueron recuperadas con un muestreador *shelby* de pared delgada de 76.2 mm (3 pulg) de diámetro exterior y 69.85 mm (2.75 pulg) de diámetro interior, presionándolo dentro del suelo por la presión del fluido de perforación. Adicionalmente a la recuperación de las muestras tradicionales también se recuperaron muestras con la técnica del cable guía de una elevación inferior, adyacente al sitio de obtención de las muestras por presión. Estas muestras se obtuvieron usando tubos *shelby* de pared delgada de 57.2 mm (2.25 pulg) de diámetro exterior y 54.0 mm (2.125 pulg.) de

diámetro interior, hincado con un martillo de 79.45 Kg (175 libras) accionado con un cable guía desde la cubierta del barco



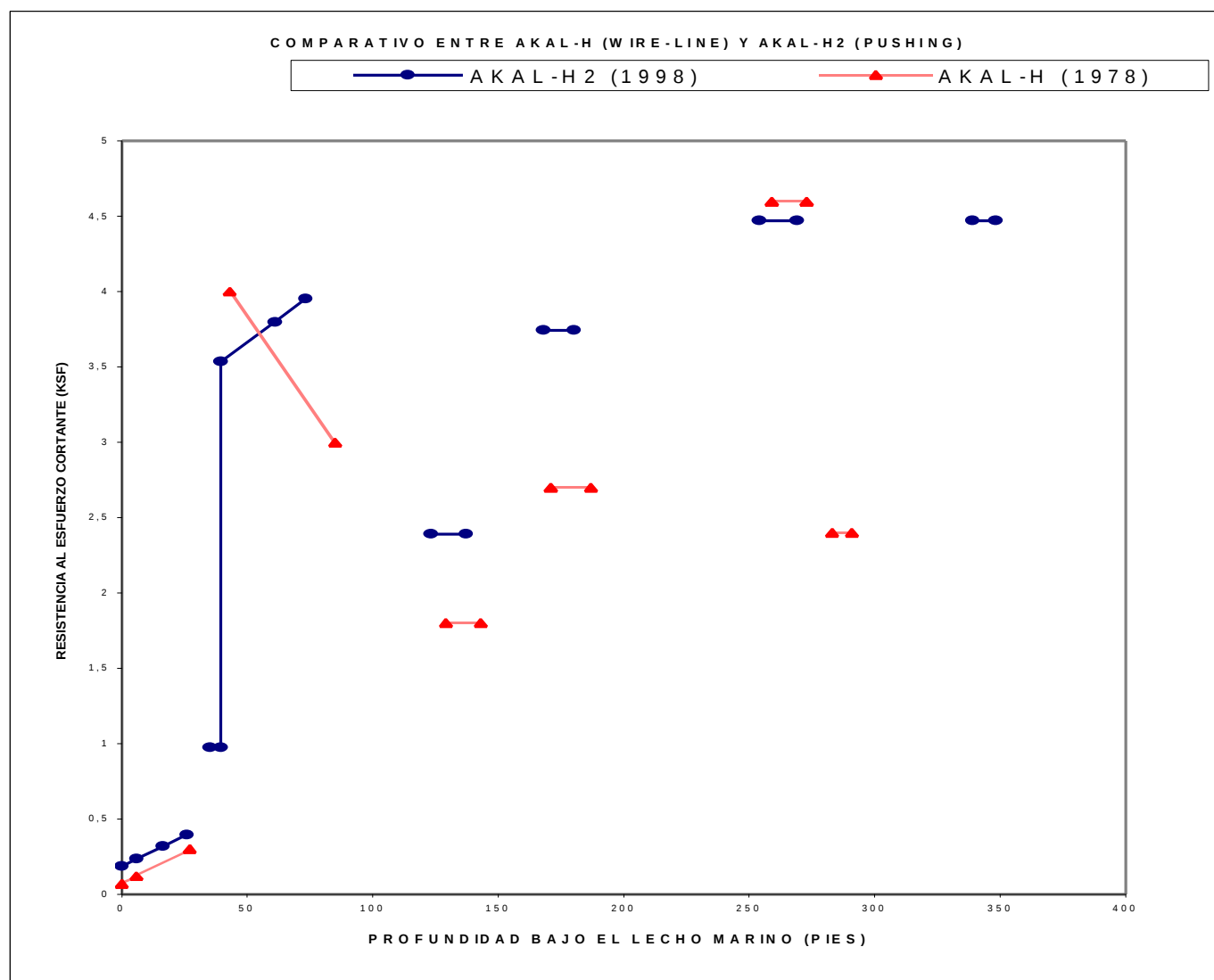


Figura 6. Resistencia al Esfuerzo Cortante en la Localización de Akal-H

2.2 Pruebas de laboratorio

El programa de pruebas de laboratorio fue diseñado para determinar las propiedades requeridas para el análisis del diseño estático de pilotes tubulares. Dicho programa de pruebas se llevó a cabo en dos fases: (1) costa fuera en un laboratorio de campo, mientras se realizaban las perforaciones, y (2) en el laboratorio en tierra.

2.2.1 Pruebas Costa Fuera

Durante las operaciones de campo, las muestras fueron extraídas de los muestreadores, examinadas y clasificadas; al mismo tiempo que se llevaban a cabo las operaciones de perforación, muestreo y pruebas *in situ*. Varios tipos de pruebas de resistencia al esfuerzo cortante se realizaron en el campo a las muestras de suelo (resistencia al corte inalterado y residual) con un aparato de veleta miniatura motorizada, mientras aún estaban en el tubo. Después de la extracción de las muestras, se realizaron pruebas remoldeadas de veleta miniatura y pruebas triaxiales inalteradas y remoldeadas sin consolidación ni drenaje (UU), estimados adicionales de resistencia al esfuerzo cortante se realizaron con un torcómetro y un penetrómetro de bolsillo. Asimismo se efectuaron determinaciones del contenido de humedad, peso volumétrico unitario y límites de consistencia. Después de la ejecución de las pruebas en el laboratorio del barco, el material restante fue guardado en recipientes herméticos para su transporte al laboratorio en tierra.

2.2.2 Pruebas en el laboratorio en tierra

Tomando como base los resultados de campo se formuló el programa de pruebas en tierra para complementar y verificar la información de las pruebas de campo y laboratorio:

- Clasificación visual
- Límites Atterberg
- Contenido de Carbonatos.
- Pruebas triaxiales sin consolidación ni drenaje (UU) inalteradas y remoldeadas

2.3 Estratigrafía General del Suelo

La estratigrafía del suelo determinadas por las investigaciones de campo y de laboratorio de las seis localizaciones se presentan en las tablas I, II, III, IV, V y VI Las estratigrafías del suelo se basan en las observaciones realizadas durante las operaciones de perforación y clasificación visual de las muestras. Un resumen de los estratos principales de suelo encontrados en el sitio MALOOB-B(1), CHUC-C, ZAAP-A(1), AKAL-L, POOL-D Y AKAL-H se indica en las mismas tablas.

Los calificativos, "calcáreo" o "carbonatado" es convencional y se usan para distinguir aquellos sedimentos que son predominantemente sílicos de aquellos que son predominantemente de origen carbonatado. La diferencia entre calcáreo y carbonatado se basa en el porcentaje de material soluble en ácido clorhídrico. Un material que tiene entre el 10 y 50 porciento de material soluble se considera que es material calcáreo, y uno que tiene un porcentaje de material soluble mayor al 50 porciento es considerado como un material carbonatado.

2.4 Comparación de las condiciones de suelo.

Por lo general, el método de muestreo (Muestreo por presión versus muestreo por percusión) no tiene ningún efecto en las propiedades índice del suelo. Por lo tanto, la comparación efectuada se concentró en las diferencias y/o similitudes de la resistencia al esfuerzo cortante de las arcillas de los tres sitios. Otra comparación que se realizó fue en las localizaciones: Akal-L, Pool-D y Akal-H, está se realizó entre los dos sondeos efectuados en cada sitio. Las estratigrafías de MALOOB-B(1) y ZAAP-A(1) son muy similares, debido a su proximidad el uno del otro. La estratigrafía de suelo CHUC-C es bastante diferente, y como puede observarse se compone de estratos alternados de arena y arcilla.

Tabla I, Estratigrafía en el sitio MALOOB-B(1)

Estrato	Penetración de: m(pies)	a m (pies)	Espesor del Estrato m (pies)	Descripción
I	0.0(0)	2.1 (7)	2.1(7)	Arcilla calcárea muy blanda
II	2.1(7)	4.0 (13)	1.9 (6)	Arena arcillosa carbonatada sílica suelta
III	4.0 (13)	10.7 (35)	6.7 (22)	Arena carbonatada sílica compacta a muy compacta
IV	10.7 (35)	60.4 (198)	49.7 (163)	Arcilla calcárea media a muy firme
V	60.4 (198)	65.2 (214)	4.8 (16)	Arena carbonatada sílica media compacta
VI	65.2 (214)	94.5 (310)	29.3 (96)	Arcilla calcárea muy firme
VII	94.55 (310)	117.7 (386)	23.2 (76)	Limo arenoso a limo carbonatados sílico medio compacto a muy compacto
VIII	117.7 (386)	129.80m (426)	12.10 m (40.00)	Arcilla calcárea dura

Tabla II, Estratigrafía en el sitio CHUC-C

Estrato	Penetración de: m(pies)	a m (pies)	Espesor del Estrato m (pies)	Descripción
I	0.0 (0)	19.5 (64)	19.5 (64)	Arcilla calcárea muy blanda a media
II	19.5 (64)	27.7 (91)	8.2 (27)	Arena fina limosa compacta
II	27.7 (91)	41.8 (137)	14.1 (46)	Arcilla calcárea muy firme
IV	41.8 (137)	45.7 (150)	3.9 (13)	Arena fina muy compacta
V	45.7 (150)	59.7 (196)	14.0 (46)	Arcilla calcárea muy firme
VI	59.7 (196)	72.8 (239)	13.1 (43)	Arena fina limosa de compacta a muy compacta
VII	72.8 (239)	81.7 (268)	8.9 (29)	Arcilla calcárea muy firme a dura
VII	81.7 (268)	89.9 (295)	8.2 (27)	Arena calcárea media compacta a compacta
IX	89.9 (295)	100.3 (329)	10.4 (34)	Arcilla calcárea dura
X	100.3 (329)	123.1 + (404+)	22.8+ (75+)	Arena fina limosa compacta

Tabla III, Estratigrafía en sitio ZAAP-A(1)

Estrato	Penetración de: m(pies)	a m (pies)	Espesor del Estrato m (pies)	Descripción
I	0.0 (0)	2.4 (8)	2.4 (8)	Arcilla calcárea muy blanda
II	2.4 (8)	11.0 (36)	8.6 (28)	Arena carbonatada sílica compacta a muy compacta
III	11.0 (36)	46.9 (154)	35.9(118)	Arcilla calcárea a muy firme
IV	46.9 (154)	50.0 (164)	3.1 (10)	Arena carbonatada sílica compacta
V	50.0 (164)	60.7 (199)	10.7 (35)	Arcilla calcárea muy firme
VI	60.7 (199)	64.0 (210)	3.3 (11)	Arena limosa carbonatada sílica muy compacta
VI	64.0 (210)	121.9+(400+)	57.9+ (190+)	Arcilla calcárea muy firme a dura

Tabla IV, Estratigrafía en sitio AKAL - L

Estrato	Penetración de: m(pies)	a m (pies)	Espesor del Estrato m (pies)	Descripción
I	0.0 (0)	10.7 (35)	10.7 (35)	Arcilla muy blanda
II	10.7 (35)	18.0 (59)	7.3 (24)	Limo carbonatado, arcilla fina a arena media
III	18.0 (59.)	33.5 (110)	15.5 (51)	Arcilla calcárea muy firme
IV	33.5 (110)	48.5 (159)	15 (49)	Arena fina calcárea
V	48.5 (159)	54.8 (177)	6.3 (18)	Intercalaciones de limo calcáreo, arena fina y arcilla dura calcárea
VI	54.8 (177)	66.0 (217)	11.2 (40)	Arena calcárea muy dura
VII	66.0 (217)	71.0 (234)	5.0 (17)	Limo arenoso carbonatado
VIII	71.0 (234)	92.7 (304)	21.7 (70)	Arcilla calcárea dura
IX	92.7 (304)	96.3 (316)	3.60 (12)	Arena fina carbonatada
X	96.3 (316)	101.5 (333)	5.2 (17)	Arcilla calcárea muy dura
XI	101.5 (333)	105.9 (347.54)	4.40 (14.5)	Arena fina carbonatada

Tabla V, Estratigrafía en sitio POOL - D

Estrato	Penetración de: m(pies)	a m (pies)	Espesor del Estrato m (pies)	Descripción
	0.0 (0)	15.8 (52)	15.8 (52)	Socavación
I	15.80 (52)	18.61 (61)	2.8 (9)	Arena fina a media calcárea suelta (material de relleno)
II	18.61 (61)	26.8 (88)	8.2 (27)	Arcilla calcárea muy blanda
III	26.8 (88)	39.6 (130)	12.8 (42)	Arcilla calcárea muy firme
IV	39.6 (130)	53.9 (177)	14.3 (47)	Arena fina compacta
V	53.9 (177)	73.2 (240)	19.3 (63)	Arcilla calcárea muy firme
VI	73.2 (240)	81.1 (266)	7.9 (26)	Arena fina limosa o fina calcárea muy compacta
VII	81.1 (266)	83.8+ (275+)	2.7+ (9+)	Arcilla calcárea dura

Tabla VI, Estratigrafía en sitio AKAL - H

Estrato	Penetración de: m(pies)	a m (pies)	Espesor del Estrato m (pies)	Descripción
I	0.0 (0)	7.9 (26)	7.9 (26)	Arcilla calcárea muy blanda a blanda
II	7.9 (26)	10.7 (35)	2.7 (9)	Arena limosa carbonatada sílica media compacta a compacta
III	10.7 (35)	22.3 (73)	11.6 (38)	Arcilla calcárea a lodo carbonatado arcilloso muy firme
IV	22.3 (73)	37.5 (123)	15.2 (50)	Arena fina a fina limosa calcárea compacta a muy compacta
V	37.5 (123)	41.8 (137)	4.3 (14)	Arcilla calcárea firme
VI	41.8 (137)	51.2 (168)	9.4 (31)	Arena limosa carbonatado sílica suelta.
VII	51.2 (168)	54.9 (180)	3.7 (12)	Arcilla calcárea muy firme
VIII	54.9 (180)	77.4 (254)	22.6 (74)	Arena fina limosa carbonatada sílica a calcárea media compacta a muy compacta
IX	77.4 (254)	82.0 (269)	4.6 (15)	Arcilla calcárea dura
X	82.0 (269)	88.7 (291)	6.7 (22)	Arena fina limosa calcárea compacta
XI	88.7 (291)	103.3 (339)	14.6 (48)	Arena fina a fina limosa media compacta a compacta intercalada con arcilla dura
XII	103.3 (339)	106.1 (348)	2.7 (9)	Lodo carbonatado arcilloso magro duro
XIII	106.1 (348)	111.6 (366)	5.5 (18)	Arena fina limosa calcárea media compacta a compacta.
XIV	111.6 (366)	117.3 (385)	5.8 (19)	Calcilutita (caliza arenosa)
XV	117.3 (385)	122.8+ (403+)	5.5+ (18+)	Arcillita calcárea (marga)

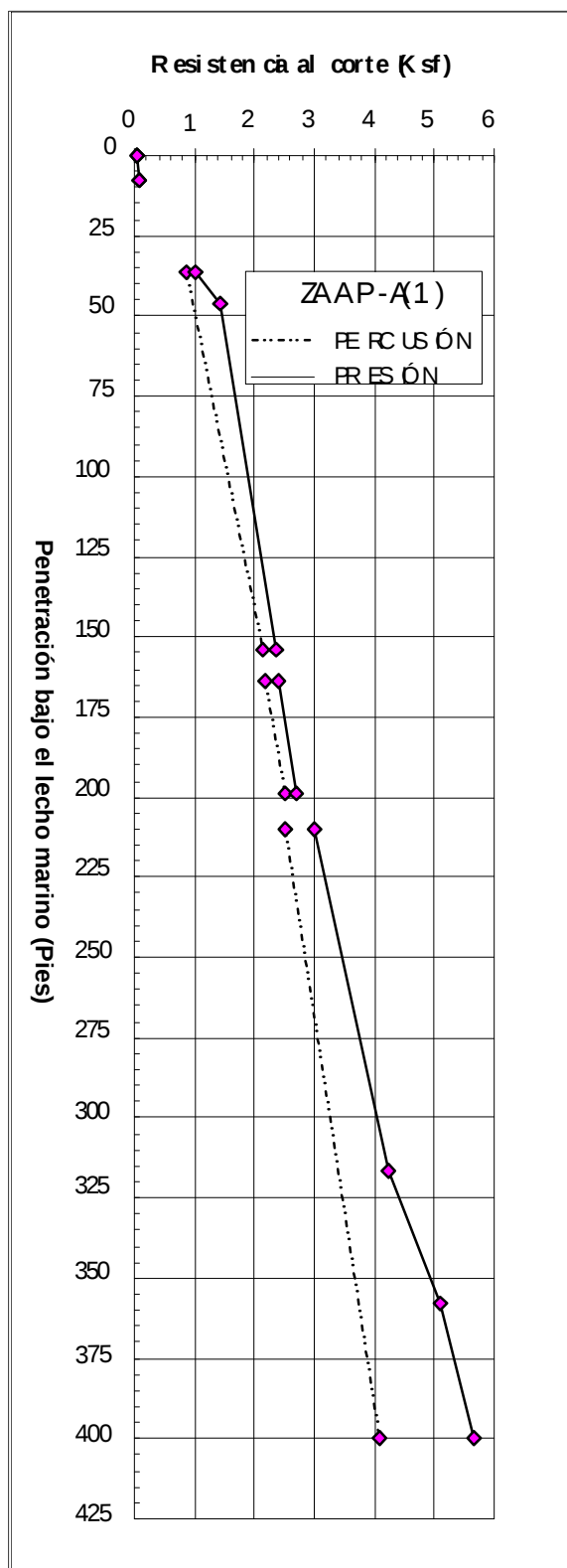


Fig. 4 Perfil de resistencia al corte en Zaap-A(1)

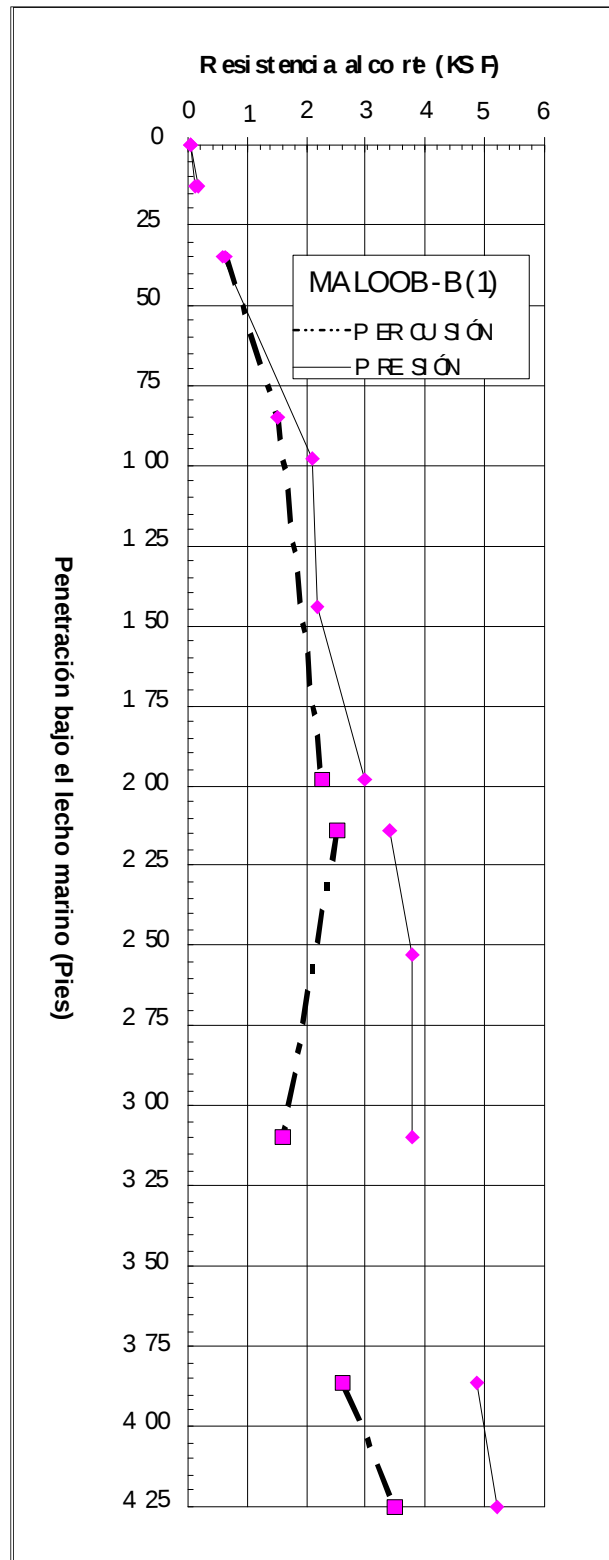


Fig. 5 Perfil de resistencia al corte en Maloob-B(1)

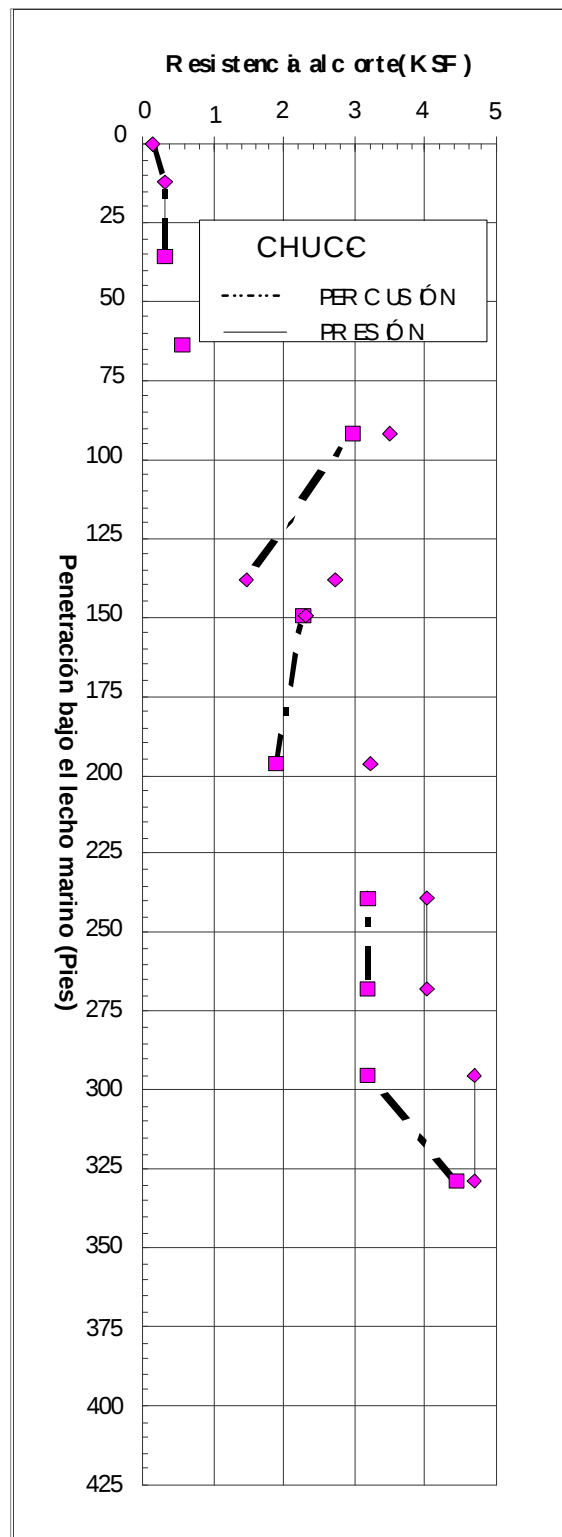


Fig. 6 Perfil de resistencia al corte en Chuc-C

COMPARACIÓN DE LOS EFECTOS DE MUESTREO EN LA RESISTENCIA AL CORTE

Cuando se comparan las resistencias al corte entre los tres sitios se observa que el efecto de muestreo por percusión versus muestreo por presión es bastante variable. La resistencia al corte de las arcillas en el sondeo Maloob-B(1) parece haber sufrido mayormente el efecto de los golpes del martillo, debido a que presenta una reducción considerable en la resistencia al esfuerzo cortante, entre el 20 y 60% por ciento en las arcillas más profundas; las arcillas de ZAAP-A(1) presenta un comportamiento similar a las de MALOOB-B(1), con una variación del orden del 40%. En cambio en las arcillas de Chuc-C, no se observa una variación uniforme con la profundidad, mostrando una reducción entre el 0 y 40%. Los resultados del estudio comparativo ilustran que el nivel de reducción es relativamente inconsistente con la profundidad en los sitios del estudio, por lo que es difícil generalizar estos valores a otras áreas fuera de los sitios en cuestión.

La comparación entre las localidades de Akal-L, Pool-D y Akal-H se encontró la misma variación en su resistencia al esfuerzo cortante. En los tres casos se puede observar que hasta aproximadamente unos 40 pies, la resistencia al esfuerzo cortante es prácticamente la misma, es después de esta profundidad que se empieza a reflejar la ventaja de utilizar el método de presión. En el caso de Pool-D se observa que de 87.93 pies a 88.0 pies existe un incremento en la resistencia, esto es debido a que en dicha localización se produjo una explosión alterando el suelo superficial y formando un cráter, es después de este punto cuando se refleja una continuidad en los valores obtenidos.

3.0 CONCLUSIONES

Los resultados de los estudios comparativos mostraron claramente que aproximadamente después de 40 pies de profundidad las muestras de arcilla recuperadas por percusión presentaron resistencias al corte considerablemente menores a la obtenida de las muestras recuperadas por presión, sin embargo, debido a que el nivel de alteración determinado fue relativamente inconsistente en el sitio constituido por arenas y arcillas, es arriesgado generalizar la información obtenida para la Sonda de campeche.

En los resultados se observa la influencia que tiene la técnica de muestreo empleada en la determinación de la resistencia al esfuerzo cortante. De aquí que se pueda inferir que los suelos que conforman las áreas de Pool, Akal y Taratunich son sensibles a la técnica de muestreo utilizada durante la exploración geotécnica. Este incremento dista de ser una norma establecida, proporciona información acerca de la estabilidad de las estructuras diseñadas con los resultados obtenidos por el método de cable guía.

Se deberá continuar con la investigación de la técnica de muestreo en más sitios de la Sonda de Campeche para poder determinar la ley de variación de la resistencia al corte en caso de que se disponga de estudios geotécnicos efectuados con la técnica de percusión; para evaluar la estabilidad de las estructuras existentes.

4.0. APORTACION TECNICA

Con los datos obtenidos utilizando estas nuevas técnicas de exploración se realizan diseños no tan conservadores como antaño, abaratando el costo de las cimentaciones para plataformas marinas. Para el caso de estructuras existentes los resultados indican mayor seguridad en su estabilidad y pueden seguir operando por varios años más dentro del marco recomendado por los códigos vigentes.

5.0 REFERENCIAS

1. American Petroleum Institute "Recommended Practice for planning, Designing and constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design, vigésima edición, julio 1993.
2. Fugro McClelland Marine Geosciences, Inc, (Reporte final, Comparaciones de resistencia al corte de muestreo por percusión y presión durante investigaciones geotécnicas), Sondeos: Maloob-B(1), Chuc-C y Zaap-A(1), Bahía de Campeche México, 1997.
3. R. G. Bea, K. J. Loch, P. L. Young, "Capacities of template-type platforms in the Gulf of Mexico during hurricane Andrew, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, vol. 119/1, febrero 1997.

4. Joseph e. Bowles, "Foundation analysis and design", tercera edición, de. McGraw-Hill Book Company.
5. F. C. Chow, R. J. Jardine, F. Brucy "The effects of time on the capacity of pipe piles in dense marine sand", OTC 7972, Houston Texas, mayo 1996.
6. Fugro McClelland Marine Geosciences, Inc, "Criterios para diseño dinámico para condiciones de carga sísmica, sondeos Yaxiltum-101, Yaxiltum-1, IB-102, Ceeh-101, Moan-1, Tabay-1 y Kayab-1", Vol. II, Campaña geotécnica 1993, Bahía de Campeche, México.
7. Fugro McClelland Marine Geosciences, Inc, "Reporte final, investigación geotécnica, sondeos Sinan-TB, Akal-T-I, Sinan-DL1; Vols. II, Campaña geotécnica 1996, Bahía de Campeche, México.
8. Fugro McClelland Marine Geosciences, Inc "Sondeo Geotécnico Taratunich-TF, Bahía de Campeche, México.
9. M. R. Horsnell & F. E. Toolan "Risk of foundation failure of offshore Jacket piles", OTC 7997, Houston Texas, mayo 1996.
10. G. W. Quiros, A. G. Young, J. A. Pelletier, J. M-C. Chan "Shear strength interpretation for Gulf of Mexico clays", Proc. Geotechnical Practice in Offshore Engineering, ASCE, 1983.
11. Solum S. A. de C. V. "Informes geotécnicos Taratunich-DL1, Taratunich-TC y Taratunich-A, Bahía de Campeche, México.
12. Fugro McClelland Marine Geosciences, Inc, "Reporte final, investigación geotécnica, sondeo Akal-L, Campaña geotécnica 1997, Bahía de Campeche, México.
13. Fugro McClelland Marine Geosciences, Inc, "Reporte final, investigación geotécnica, sondeo Pool-D, Campaña geotécnica 1998, Bahía de Campeche, México.
14. Fugro McClelland Marine Geosciences, Inc, "Reporte final, investigación geotécnica, sondeo Akal-H, Campaña geotécnica 1998, Bahía de Campeche, México.