



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

INGENIERÍA CIVIL

**Evaluación de los Parámetros Geotécnicos
de Sondeos efectuados en los 80's y
actuales, en zona marina.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA

LETICIA ONTIVEROS ROJAS

ASESOR DE TESIS

ING. GABRIEL ÁLVAREZ BAUTISTA



FES Aragón

MÉXICO D.F.

MARZO 2010.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A Dios: Por acompañarme siempre en todo momento de dificultad, por llenar mi vida de dicha y bendiciones, por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi vida y permitirme terminar satisfactoriamente mis estudios y lograr otra meta más en mi carrera.

A mis Padres Pedro Ontiveros y Juana Rojas: Por su cariño, comprensión y apoyo sin condiciones ni medida. Gracias por guiarme sobre el camino de la educación y que en todo momento los llevo conmigo.

A mis Hermanos Felipe, Higinio, Esther, Cristina, Silvia y Fernando: Por la compañía y el apoyo que me brindan, y se que contare con ellos siempre.

A mis Sobrinos Alberto, Alejandra, Alicia, Erika, Christian, Cristina, Judit, Fernanda, Axel, Miroslava, Fernandito y Uriel: Por su maravillosa compañía en esta etapa de mi vida.

A mis amigos Luis, Vero, Gabo, Vane, Eymard, Yola, Ángeles, Ely y Pepe: Por sus consejos, su confianza, lealtad y por pasar unos buenos momentos juntos.

A mis Profesores: Por su disposición y ayuda que me brindaron.

A los Ing. Del IMP Gabriela, Eduardo, Aurora, Blanca, Elvira, Diego, Alejandro, Antonio, Toyoki y Sergio: Por su paciencia, disposición, confianza y sobretodo por apoyarme en el desarrollo de mi tesis que sin ayuda de ellos no hubiera podido culminar esta etapa muy importante de mi vida.

A Mis Asesores de Tesis

Al Ing. Gabriel Álvarez Bautista

Muchísimas Gracias por el apoyo que me brindo en el desarrollo de mi tesis y por alentarme a continuar estudiando en esto que es lo mío.

Gracias.

Al Ing. Prócoro Barrera Nabor

Por haber confiado en mí, en mi trabajo y por haberme apoyado en la información de tesis ya que sin ello no me hubiera sido fácil continuar con mi tesis.

Gracias.

A todos los que confiaron en mí y en mi capacidad, gracias por su apoyo.

Leticia Ontiveros Rojas.

ÍNDICE

| CAPITULO | PAG. |
|--|-------------|
| I INTRODUCCIÓN | 5 |
| I.1 Objetivo..... | 12 |
| I.2 Alcances..... | 12 |
| II GEOFÍSICA PARA INSTALACIONES | 13 |
| II.1 Estudios Geofísicos para Líneas Submarinas..... | 13 |
| II.2 Estudios Geofísicos para Plataformas..... | 28 |
| Anexos | |
| III INFORMACIÓN GEOTÉCNICA | 42 |
| III.1 Información Geotécnica antes de los 90's..... | 42 |
| III.2 Información Geotécnica después de los 90's..... | 54 |
| Anexos | |
| IV ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN GEOTÉCNICA | 79 |
| IV.1 Parámetros para antes de los 90's..... | 80 |
| IV.2 Parámetros para los 90's..... | 87 |
| IV.3 Análisis con el programa Excel..... | 93 |
| V RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS | 96 |
| V.1 Comparativa de Curvas de Capacidad antes de los 90's y después de los 90's..... | 98 |
| V.2 Comparativa de Resultados por Perfil Estratigráfico, Curvas de Granulometría, Resistencia de Cono y Presión de Poro..... | 119 |
| VI RECOMENDACIONES, OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES | 129 |
| REFERENCIAS | 133 |

INTRODUCCIÓN

La sonda de Campeche se halla localizada en el Golfo de México, al oeste de la Península de Yucatán, al norte de la Ciudad del Carmen, Campeche y constituye junto con el Banco de Campeche la parte occidental de la Plataforma Marina de Yucatán; en esta porción de la plataforma continental de México con 5,000 km² de superficie aproximada, Petróleos Mexicanos realiza una extracción de hidrocarburos que constituye el 66% de los 2, 750,000 barriles de producción diaria actual.

En la explotación de esta región marina se han construido 118 plataformas para diferentes usos como perforación, producción, enlace, separación, rebombeo, compresión y sean tenido 1260 km de tubería submarina, obras que han requerido de los estudios previos indispensables para su diseño.

La Sonda y el Banco de Campeche, tienen por límites las isobatas 0 y 200 metros y una profundidad media de 40 metros, es posible que de ahí provenga al nombre de Sonda, el paraje marino cuya profundidad se da por conocida. La coordenadas geográficas que limitan esta región, corresponden aproximadamente a 90° y 94° de longitud oeste y 18° y 22° de latitud norte.

Los estudios geofísicos y geotécnicos se requieren para la instalación de plataformas y ductos submarinos fuera de la costa para la explotación de hidrocarburos.

Para los estudios geofísicos se requiere, para conocer el estado superficial que guarda el sitio donde se va a instalar la estructura marina, considerando que este se encuentre libre de cualquier obstáculo que puede impedir la correcta colocación de la estructura y cuidando que no existan bolsas de gas, fracturas o condiciones topográficas que determinan un marcado desnivel.

Y con los estudios geotécnicos se llevan a cabo a través de estratigrafía del horizonte de suelo en donde se va a llevar a cabo la instalación de la estructura marina, con el propósito de conocer las condiciones de suelo subsuperficial que predominan con el objeto tanto de diseñar los pilotes de cimentación como evitar cualquier problema en la perforación de pozos, a través de identificar rasgos geológicos significativos que puedan representar riesgos o impactos en la localización definida.

Para el diseño de las cimentaciones de las plataformas marinas, es importante señalar que la interpretación y aplicación de los parámetros del subsuelo esta influenciada por las dificultades que existen en la obtención de muestras y en los ensayos del subsuelo desde el barco de exploración.

El objetivo del estudio geotécnico tiene como propósito general el diseño de plataformas, es proporcionar las capacidades de carga axial en compresión, tensión y de carga lateral, considerando el comportamiento del conjunto pilote-suelo, todo esto en función de los parámetros mecánicos del subsuelo, variables con la profundidad, el tiempo y la magnitud de las cargas actuantes.

Los pilotes se hincan mediante martillos de impacto que usan vapor, diesel o presión hidráulica. Así el diseño de las paredes del pilote debe ser suficiente no solo para resistir las cargas axiales y laterales sino los esfuerzos que reciben durante el hincado y de acuerdo con el **API (American Petroleum Institute, Instituto Americano del Petróleo)**, la longitud de penetración de diseño de un pilote debe determinarse con base a los criterios que se exponen, mas que en las correlaciones que pueden existir entre la capacidad de carga del pilote y el numero de golpes requerido, para hincarlo a una cierta longitud en el subsuelo marino.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La geología estructural de la Sonda de Campeche se ubica en el marco geológico regional cuyos elementos tectónicos son principalmente la Plataforma de Yucatán y el Macizo de Chiapas, y en segundo término la Cuenca de Comacalco y el Cinturón Calcáreo plegado de Reforma –Akal.

La deformación de este último así como su sedimentación, son directamente dependientes al norte por la Plataforma de Yucatán y al sur por el macizo de Chiapas.

La Plataforma de Yucatán está compuesta de rocas calcáreas mesozoicas y terciarias que parecen haber permanecido estables desde el Cretácico. Su relieve actual es casi horizontal y exhibe el fenómeno de erosión cárstica.

Las estructuras encontradas en la Sonda de Campeche tienen un alineamiento generalizado NW-SE similar a la tendencia de los ejes de la Sierra de Chiapas, sujeta a los mismos esfuerzos compresionales.

GEOLOGÍA SUPERFICIAL

Los suelos marinos en la Sonda de Campeche están constituidos por sedimentos recientes clásticos carbonatados y térreos. Existen también accidentes geológicos como formación arrénciales, montículos carbonatados, para leoconales enterrados, fallas y fracturas.

El piso oceánico de plataforma marina occidental de Yucatán puede dividirse a base de características litológicas en dos zonas: Norte y Sur.

La zona sur comprende la plataforma marina que se localiza frente a las costas van desde la desembocadura del Río Grijalva, Punta Xicalango e Isla del Carmen hasta la desembocadura del Río Champotón (**Sonda de Campeche**), esta zona tiene una amplitud máxima de 120 Km y una mínima de 36 Km, es dependiente pronunciada y una profundidad media de 40 m aproximadamente.

Los sedimentos de la zona sur (térreos); arcillas y limos de manera predominante producto del acarreo de los Ríos Grijalva, Usumacinta, San Pedro y la desembocadura de la laguna de términos por sus abundantes corrientes fluviales. Los terrígenos se transportan y sobre el piso marino acompañados con arena. Frente a la desembocadura del Río Grijalva, donde los movimientos del mar son turbulentos tiene la depositación de arenas finas uniformes. Dentro de mar abierto el flujo se comporta como laminar y de baja velocidad, permitiendo la depositación de los sedimentos del tamaño de la arcilla.

La zona norte es lo que se denomina Banco de Campeche, se localiza al norte de la desembocadura del Río Champotón, de fisiografía uniforme, suave pendiente y poca profundidad. Gran parte del área tiene una profundidad menor a los 40 m. Esta zona se encuentra algunos desarrollos de coral y los sedimentos son fundamentalmente carbonatados. La terraza alcanza su mayor extensión (200 km) frente a las costas de la ciudad de Campeche.

En la parte más oriental del Banco de Campeche los sedimentos están compuestos por arenas biógenas carbonatadas, constituidas por fragmentos de moluscos foraminíferos y precipitados aloquímicos. Su distribución granulométrica va de bien graduada frente a las costas de la Ciudad de Campeche, a uniforme frente a las costas que se encuentran al norte de la misma ciudad.

Las costas que se localizan frente a la desembocadura del Río de Champotón forman la zona de transición entre la Sonda y el Banco, se observa la graduación del tamaño de limos medios y gruesos a limos finos y mar adentro en arcillas.

DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE CARBONATOS.

El análisis de la distribución porcentual de carbonatos delimita cuatro zonas de distribución: **A, B, C y D.**

La zona de **A**, comprende las áreas de sedimentos carbonatados en un porcentaje menor al 25%; la **B** de 25% a 50%; la **C** de 50% a 75% y la **D** mayor a 75%.

Los sedimentos tipo A, se localizan frente a las desembocaduras de los Ríos Grijalva y San Pedro, existe un bajo régimen de precipitación de carbonato ya que esta influenciada por una gran parte de terrígenos provenientes de la parte continental y por que no se suceden las condiciones físico-químicas adecuadas, tales como la temperatura y PH para que se precipiten los materiales.

Los sedimentos tipo B, representa aumentos ligeros de carbonato en sus sedimentos. Esta área, de mayor profundidad, se encuentra por sedimentos del tamaño de las arcillas, sus valores aumentan al aproximarse hacia la zona norte. Debido a la granulometría fina de sus sedimentos podemos inferir que los carbonatos están constituyendo el material cementante y han sido precipitados mediante procesos físico-químicos directos.

Los sedimentos tipo C, se encuentran hacia el este, estos porcentajes de carbonato de calcio aumentan de manera gradual encontrándose el área frente a la laguna de términos y hasta más allá de las costas de Campeche. Esta área es de poca profundidad y la distribución de carbonatos es prácticamente homogénea en los sedimentos recientes.

Los sedimentos tipo D, presentan crecimiento arrecifales típicos de las plataformas carbonatadas. Se suceden fenómenos físico-químicos y biológicos que tienen injerencia en el régimen de precipitación de carbonatos y desarrollo de organismos calcáreos, corales, foraminíferos planctónicos, conchas y moluscos; que cubren el fondo de esta parte de la plataforma marina de Yucatán. La profundidad de esta zona es propia para el desarrollo de componentes aloquímicos y organismos calcáreos.

El material fino, que ha dejado atrás el material grueso, se acomoda en el fondo ocupado por que viven en condiciones de mayor quietud alejados de la costa formando lodos calcáreos o los de arcilla con residuos orgánicos, tanto en Sonda como en el Banco.

El Banco de Campeche los sedimentos son fragmentos líticos aloquímicos o bien granos erosionados y arrastrados desde la plataforma continental de Yucatán.

El fondo marino esta representado principalmente por arenas carbonatadas de grano fino, medio y grueso, cuyo grado de clasificación va desde bien graduadas hasta uniformes o mal graduadas, que están cerca de los arrecifales los sedimentos que tienen parte por corales y especulas de esponjas.

Una característica importante de la estratigrafía de la Sonda de Campeche es que abajo del lecho granular que subyace a la capa de arcillas superficiales se encuentra una secuencia alternada de arcillas superficiales se encuentran una secuencia alternada de arcillas y arenas. Las primeras varían de muy firmeza a duras y las segundas son medianamente densas.

ESTRUCTURAS E INSTALACIONES

Las plataformas están constituidas por superestructura y subestructuras tubulares.

A grandes profundidades se han empleado, además de las plataformas de estructuras fijas hay otros tipos de plataformas como son: **La torre desplantada en el fondo** que se mantiene en posición vertical por medio de tensores múltiples anclados en el piso marino; **La de columnas tensadas**, que esta constituida esencialmente por una balsa semisumergida con nivel de flotación constante, soportada mediante columnas tubulares a tensión cimentadas en el fondo marino mediante pilotes y la llamada **Instalación flotadora de producción**, que es el tipo semisumergible, constituida también por un barco o balsa asegurada mediante un sistema de tensores anclados o lastrados en el piso marino.

Para trabajos de exploración, existen tipos de plataforma móviles son los siguientes:

-
- **PLATAFORMAS LASTRABLES:** Estas son recomendables para tirantes de aguas hasta 50 m, se instalan mediante la inundación de sus depósitos flotadores, las cuales que dan así, apoyados directamente sobre el piso marino.
 - **PLATAFORMAS AUTOELEVABLES:** Son las móvil mas comúnmente usadas para trabajar en tirantes de agua hasta de 100m, constituidas por un conjunto de cubiertas plegables, donde se alojan los equipos necesarios.
 - **PLATAFORMA FLOTANTES:** son utilizadas para operar en condiciones adversas, disminuyendo los efectos de oleaje mediante flotadores se sumergen profundidad de 15 a 25 m donde las aguas están relativamente tranquilas, sin embargo no se puede evitar un desplazamiento relativo entre la herramienta de perforación fija en el fondo de mar y plataforma.

PLATAFORMAS EN LA SONDA DE CAMPECHE

Las plataformas que se han instalado en la Sonda son estructuras reticulares formadas por tubos de acero que constan de una subestructura que va apoyada en el lecho marino y empotrado por medio de pilotes y una superestructura que aloja los paquetes de perforación, los equipos de producción, según el tipo o propósito de la plataforma.



Figura 1 Plataforma Marina en la Sonda de Campeche

La subestructura o elemento de apoyo es una unidad estructural piramidal tubular constituida por cuatro marcos trapeziales formados por tuberías de 1.32m y 1.21m de diámetro y longitud que varía entre 50 y 80 metros, según la profundidad donde se instale.

Por su función las plataformas instaladas se clasifican en:

- **PLATAFORMAS DE PERFORACIÓN:** Su función es colocar la tubería que permita perforar el pozo y explotarlo e instalar el cabezal donde se emplazara mas tarde la plataforma de producción; su cubierta consta de dos niveles, uno de producción a 16m sobre el nivel del mar otro de perforación.
- **PLATAFORMAS DE PRODUCCIÓN:** Su función consiste en separar el gas del crudo y bombear este último a tierra.
- **PLATAFORMAS DE ENLACE:** Su función es recolectar el crudo con gas procedente de las plataformas de perforación y lo distribuyen a la de producción para su procesamiento; unen los ductos que recolectan el crudo con los oleoductos que lo transportan a tierra, en estas plataformas se instalan los cabezales de recepción y envío de aceite crudo y gas.
- **PLATAFORMAS HABITACIONALES:** Como su nombre lo indica son para albergar los trabajadores de distintos complejos con las áreas necesarias.
- **PLATAFORMAS DE COMPRESIÓN:** Tienen como función alojar los equipos compresores de gas para su transporte.
- **PLATAFORMAS DE REBOMBEO:** Tiene como función aumentar la presión para el transporte del crudo desde el punto medio entre las plataformas de enlace y las instalaciones en tierra. Alojan las turbinas de gas para accionar las bombas y generadores eléctricos suficientes para satisfacer sus propias necesidades de energía eléctrica.

OBJETIVO:

Evaluar los parámetros geotécnicos para saber que tanto a cambiado el suelo marino con forme a los años 80´s y actuales y de que manera nos puede afectar o beneficiar este tipo de análisis para plataformas marinas.

ALCANCE:

La Superintendencia General de Geotecnia, de la Gerencia de Ingeniería de Proyecto de Petróleos Mexicanos, es el grupo de trabajo que se responsabiliza de la dirección técnica de los estudios de esta especialidad para el desarrollo de proyectos en la zona marina.

El comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos subsidiarios, es una norma de referencia que establece los requisitos mínimos que debe cumplir el contratista para llevar a cabo estudios de exploración geofísica y geotécnica, tanto de corredores de líneas submarinas y de plataformas marinas fijas.

GEOFÍSICA PARA INSTALACIONES

El objetivo de estos estudios se requieren para conocer el estado superficial que guarda el sitio donde se va a instalar la estructura marina, considerando que este se encuentre libre de cualquier obstáculo que puede impedir la correcta colocación de la estructura y cuidando que no existan bolsas de gas, fracturas o condiciones topográficas que determinen un marcado desnivel.

Dentro de estos estudios destacan la medición del tirante de agua, así como la evaluación de las condiciones del fondo marino considerando los planos y las pendientes del área en estudio y sus inclinaciones.

También se requiere conocer las condiciones del suelo obteniendo muestras del fondo marino y determinar el tipo de material, ya que en la sonda de Campeche predominan los suelos formado por arcillas calcáreas muy blandas. Además, es necesario determinar los bolsillos y las veta de limos, arena y concha localizados en los suelos someros, probablemente discontinuos y que podrían contener áreas aisladas del suelo cementado, por lo que los soportes de una plataforma autoelevable o fija podrían encontrar diferencias en el tipo de suelo somero de un lugar a otro.

También es necesario conocer la ubicación exacta de las bolsas de gas, las fallas geológicas que pueden cruzar el área en estudio, así como su tendencia y conocer si son activas y si han desplazado el fondo marino, lo que podría considerarse un riesgo para la localización de la estructura o línea submarina.

ESTUDIOS GEOFÍSICOS PARA LÍNEAS SUBMARINAS

El objetivo de los estudios geofísicos para líneas submarinas es el obtener la descripción del fondo marino y del suelo correspondiente para definir la ubicación exacta de la línea y para recabar la información necesaria para su diseño. Se debe identificar la morfología del fondo marino, el tirante de agua o batimetría del área, las obstrucciones superficiales y enterradas e irregularidades presentes en el suelo marino como son los arrecifes coralinos, emanaciones de gas, cables u otras líneas y el perfil estratigráfico superficial. La profundidad a explorar para el tendido de líneas, debe ser de 40 m (131,2 pies) bajo el lecho marino, o hasta donde el perfilador somero lo permita según la estratigrafía del suelo.

Los estudios geotécnicos se deben realizar al mismo tiempo que los estudios geofísicos. Su propósito es complementar la información obtenida de los estudios geofísicos, **de tal manera que se confirme la ruta del tendido de la línea submarina así como para obtener los parámetros del suelo necesarios para su diseño, para lo cual se deben recuperar muestras del suelo del tipo inalteradas para posteriormente realizar pruebas de laboratorio a bordo.** Los estudios geotécnicos combinados con los estudios geofísicos, deben proporcionar la información suficiente para el diseño e instalación de la línea submarina.

Ruta preliminar

La información de la ruta preliminar de la línea submarina debe ser proporcionada por **PEP (PEMEX Exploración y Producción)**, según necesidades del proyecto.

Embarcación

La embarcación para realizar los estudios geofísicos del corredor debe ser la adecuada para operar en las condiciones oceanográficas imperantes en el sitio de trabajo. Las características y requerimientos mínimos con los que debe contar la embarcación se indican en *la Tabla 1*.

| Características | Mínimo |
|--------------------------|-----------|
| Eslora Total | 40 m |
| Manga | 8 m |
| Calado | 3 m |
| Maquinas principales (2) | 1200 CP |
| Impulsor de proa (1) | 250 CP |
| Velocidad de operación | 2,5 Nudos |

Tabla 1 Características y requerimientos mínimos de la embarcación.

Además de cumplir con las características mínimas indicadas, la embarcación debe contar con todos los sistemas de seguridad y comunicación propios de esta, en condiciones óptimas de operación, cumpliendo con la legislación mexicana y debe estar certificada por alguna casa clasificadora afiliada a la **IACS (International Association of Classification Societies, (Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación).**

La embarcación utilizada en los trabajos debe contar con un sistema de comunicación permanente (teléfonos y correos electrónicos), para intercambiar información con las oficinas de PEP en tierra. La información que se genere debe estar disponible en todo momento para el representante de PEP a bordo.

El contratista debe poner a disposición de PEP, la embarcación y equipos considerados para la ejecución de los levantamientos antes de iniciar sus correspondientes actividades. La inspección lista de verificación (Check list) debe incluir tanto a equipo como a la propia embarcación antes de iniciar sus correspondientes actividades, y corroborar que cumplen con lo indicado en esta norma de referencia.

(Ver figura 1) muestra el arreglo típico que debe tener el barco para la realización de estos estudios.

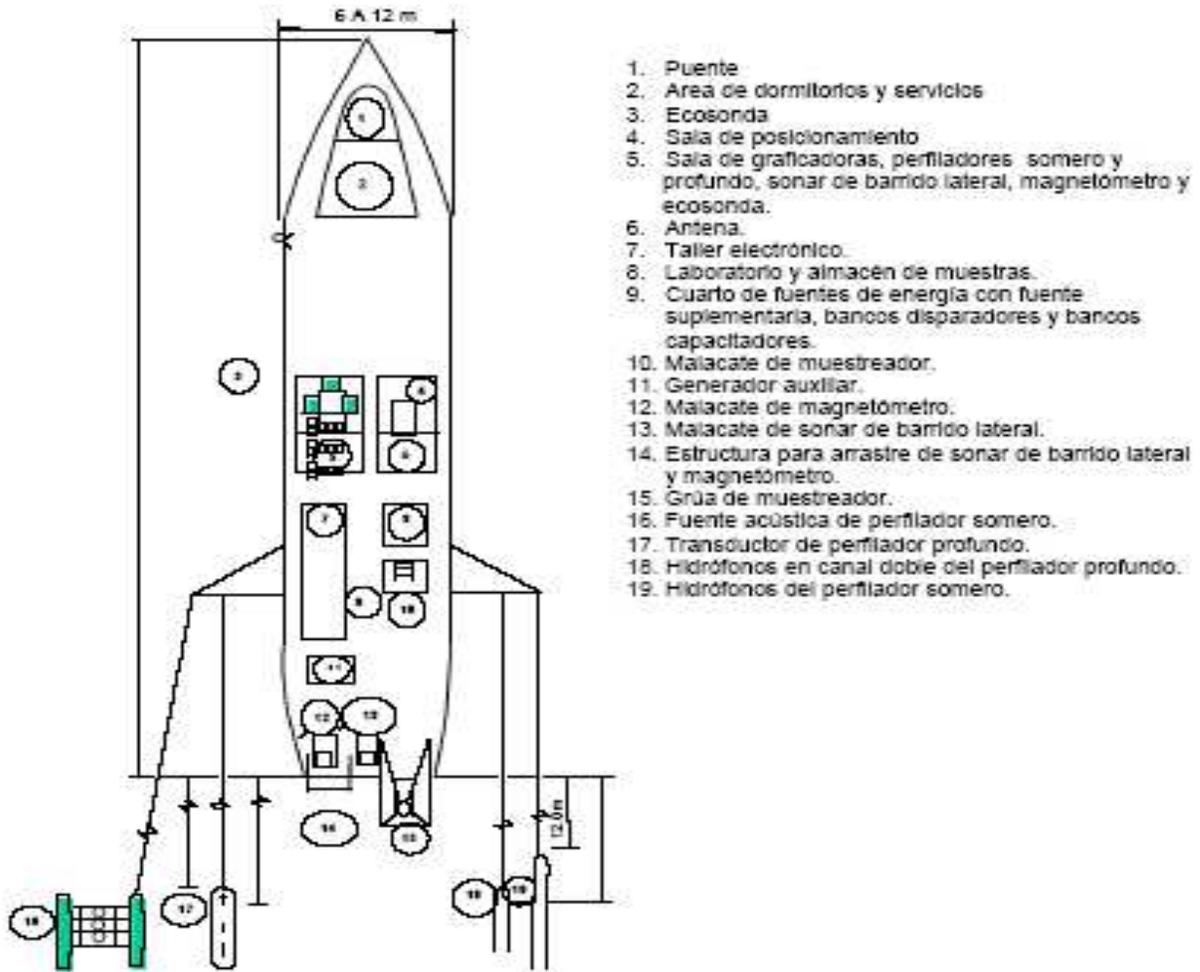


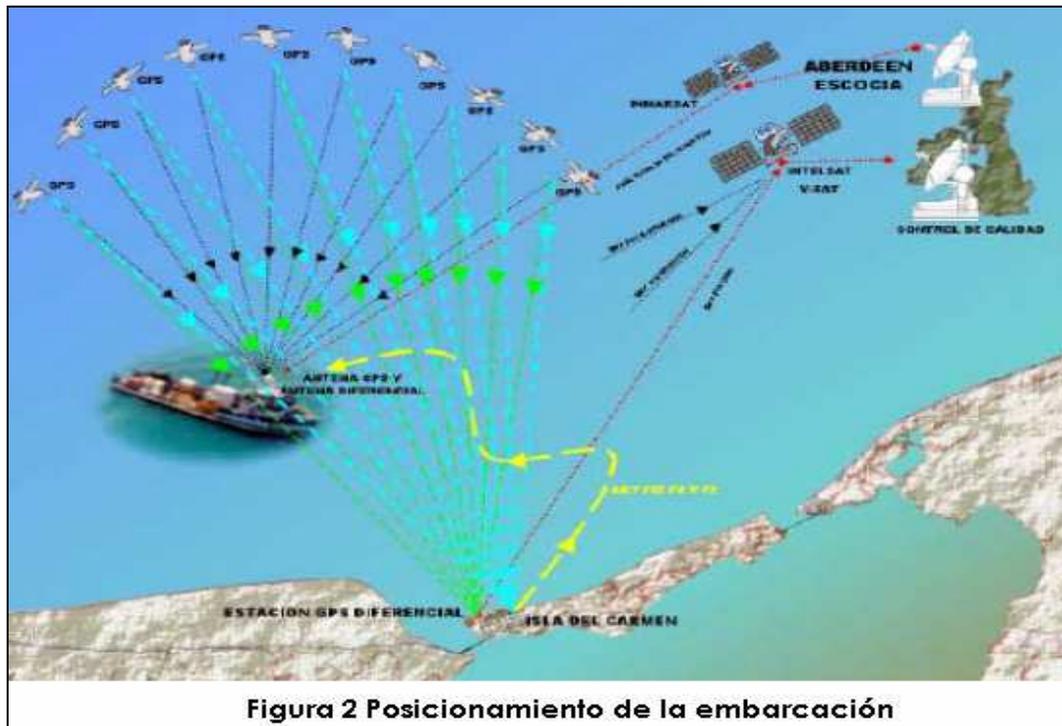
Figura 1 Arreglo típico del barco para estudios geofísicos

En caso de que la embarcación no sea de bandera mexicana, el contratista debe tramitar los permisos respectivos ante las autoridades correspondientes.

Equipo de Posicionamiento

Se debe utilizar el Sistema de Posicionamiento Global Diferencial (DGPS) de largo alcance (± 700 km) y precisión mínima de ± 2 m, con monitoreo interrumpido las 24 h para uso en mar o tierra. El sistema debe contar con una estación de referencia local para la transmisión de las correcciones diferenciales. El sistema satelital debe utilizar la Banda-L (L-Band) (Ver figura 2) y debe contar como mínimo con el siguiente equipo:

- a) Posicionador
- b) Demodulador
- c) Antena de recepción de correcciones diferenciales
- d) Receptor GPS con un mínimo de 8 canales
- e) Controlador de antena
- f) Antena GPS
- g) Computadoras
- h) Programa de cómputo requerido
- i) Girocompás de alta precisión
- j) Impresora.



Equipo para estudios geofísicos

Los estudios geofísicos para líneas submarinas se deben llevar a cabo con los siguientes equipos:

a) Ecosonda: El sonido se transmite y recibe con un transductor emisor-receptor que consta además de un dispositivo que mide los intervalos de tiempo que tarda en viajar la onda y de un mecanismo de grabación.

La señal se radia hacia abajo a través del transductor, simultáneamente el mecanismo medidor de tiempo comienza a funcionar y se detiene en el instante en que la señal reflejada del piso oceánico es recibida en el mismo transductor determinándose, la altura o tirante por la ecuación simple $h = 1/2 V_s t$, donde la h es la profundidad V_s la velocidad del sonido en el agua y t el tiempo de viaje.

La velocidad del sonido en el agua es algo muy importante y debe ser conocida para poder calcular la profundidad real del tirante de agua. Esta velocidad depende de la temperatura, salinidad y presión. La velocidad del sonido en el agua varía en un rango que va de los 1,400 a los 1,570 m/seg y su valor específico depende de la región donde se haga la medición. (Ver figura 3)

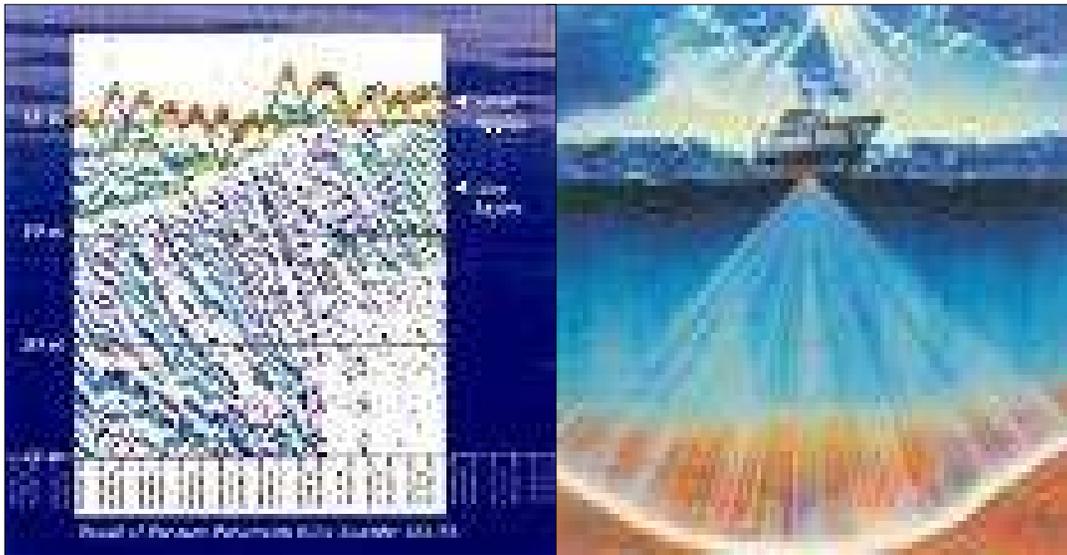


Figura 3 Registro característico de la ecosonda

El movimiento del barco y la topografía del fondo influyen en la exactitud de la medición del tirante de agua, ya que pequeñas señales de sonido conducen a ecos no sólo del piso oceánico directamente bajo el barco, si no también de otros puntos del fondo.

Debe incluir compensador de movimientos y corrección en tiempo real de datos y con capacidad de discriminar ruido y señales débiles, para operación en los tirantes de agua requeridos. Dicho equipo debe cumplir con las especificaciones indicadas en la *Tabla 2*.

b) Sonar de barrido lateral. Consiste de un transductor emisor-receptor, llamado pescado, que contiene dos arreglos de transmisores y un registrador gráfico a bordo. El pescado se ata en la parte trasera del barco y se sumerge a una profundidad somera. Los transductores del pescado emiten señales con una frecuencia de 105 KHz hacia cada lado del pescado. Los rayos son tan amplios en el plano vertical que puedan alcanzar un rango de detección de 500m a cada lado del pescado. Cada pulso dura a 0.1mseg y su tasa de repetición depende del tamaño de la escala usada. (Ver figura 4)



Figura 4 Sonar Barrido Lateral

Una vez que la señal reflejada es procesada por el transductor, se grafica sobre el papel de una manera continua, dando como resultado un mapa bidimensional de la fisiografía del piso oceánico.

En la *Tabla 2* se indican las especificaciones mínimas del equipo.

c) Perfilador electromecánico o somero. El perfilador somero debe penetrar una profundidad de 40 m (131,2 pies) o hasta donde el perfilador somero lo permita según la estratigrafía del suelo. En la *Tabla 2* se indican las especificaciones mínimas del equipo.

d) **Velocímetro de sonido en el agua.**

e) **Sistema de monitoreo integral de los aparatos a bordo**, para evitar interferencias de señales de cada equipo y a su vez permita el control continuo del proceso durante los levantamientos.

f) **Equipo de adquisición digital** para levantamientos geofísicos de alta resolución.

g) **Corrientímetro**, con sensores de temperatura (-5° a +45° C) y resolución de 0,05 m/s, para medir velocidades de corriente de 0,02 a 3 m/s (aplica sólo para plataformas).

| Sistema Emisor | Frecuencia de Emisión | Resolución Máxima Operacional | Objetivos |
|-------------------------------------|-----------------------|--|---|
| Ecosonda | 210 kHz | 2 – 1 cm | Medir tirante de agua y trazar mapas batimétricos. |
| Sonar de Barrido Lateral | 105 kHz | 1 – 2 m | Vista en planta del fondo marino, para localizar estructuras, tuberías, desechos, para determinar la topografía del fondo, los afloramientos y depresiones. |
| Perfilador electromecánico o somero | 0,3 – 5,0 kHz | Variable; generalmente 1 m, pero depende de su aplicación. | Medir tirante de agua, detectar acumulaciones y emanaciones de gas, proporciona perfil del suelo |
| Perfilador profundo | 0,04 – 0,15 kHz | > 9 m | Proporciona perfil del suelo hasta una penetración de 2 segundos. |

Tabla 2 Equipo de exploración geofísica

Para el Equipo para estudios geotécnicos

Para la realización de los estudios geotécnicos se debe contar como mínimo con el equipo relacionado a continuación:

a) **Equipo muestreador por gravedad.** Tubo muestreador por gravedad, equipado con un tubo de acero de 6 m de longitud, con un revestimiento de plástico transparente de 67 mm (2 5/8 pulg.) de diámetro interno y un retenedor de muestras. El contratista debe determinar si el equipo muestreador debe o no llevar pistón dependiendo del tirante de agua y del tipo de suelo, garantizando la obtención de la muestra a la profundidad requerida.

b) **Equipo de cono para efectuar pruebas in-situ** con dispositivos para medir resistencia de punta, de fricción y presión de poro. Este equipo debe cumplir con las especificaciones indicadas en la Tabla 3 y la norma ASTM D 3441 o equivalente.

c) Equipo de veleta remota para efectuar pruebas in-situ y medir resistencia al corte en suelos cohesivos normalmente consolidados. Este equipo debe cumplir con las especificaciones indicadas en la norma ASTM D 2573 o equivalente.

Laboratorio de campo, acondicionado con lo siguiente:

- a) Cuarto con sistema de control de humedad y temperatura para conservación de las muestras.
- b) Veleta miniatura.
- c) Torcómetro.
- d) Horno
- e) Balanza de precisión
- f) Extractor hidráulico de muestras
- g) Equipo de empaque de muestras que garantice su integridad física y mecánica.

| Equipo de cono de 60 grados | Especificaciones requeridas |
|---|---|
| Barra (Stroke) | 1.5 a 3.0 m |
| Empuje (Thrust) | 1-4 t para corredores 10-12 t para plataformas |
| Velocidad de penetración | 2 cm. /s +/- 1% |
| Capacidad de operación (tirante de agua) | 200 m |

Calibración y prueba de equipo

La calibración del ecosonda se debe efectuar al inicio del trabajo y después de cada suspensión del mismo, incluyendo en la calibración la intensidad y continuidad de grabación de la gráfica.

La calibración del sonar de barrido lateral, del perfilador somero y del perfilador profundo (en su caso), se debe basar principalmente en las mediciones del ecosonda, comparando las lecturas de las mediciones del tirante de agua. En el sonar de barrido lateral, además de la calibración mencionada, se debe calibrar la intensidad de grabación de la gráfica y la profundidad de arrastre del sonar, la cual depende del rango o escala de exploración.

Se deben entregar a PEP los certificados vigentes de calibración del equipo y maquinaria que requiera de calibración y que deban ser utilizados en los estudios.

Los documentos de calibración deben ser emitidos por el fabricante del equipo, el distribuidor autorizado o por una entidad nacional acreditada por la "ema" o internacional reconocida por ésta.

Desarrollo de Trabajo de un Estudio geofísico

Los trabajos en campo deben cumplir con todos los requisitos señalados en la presente norma y se deben efectuar conforme al procedimiento de estudios geofísicos propuesto por el contratista y aceptado por PEP.

Para los corredores, el ancho de la franja a explorar es de 400 m (0,25 millas). El levantamiento se debe llevar a cabo a lo largo de la línea que une los puntos marcados como origen y destino. Para la ejecución del trabajo, se debe trazar una retícula indicando los recorridos de la embarcación (*ver figura 5*), la cual debe consistir en tres líneas equidistantes a cada 200 m (0,124 millas) a lo largo de la trayectoria del corredor, coincidiendo la línea central con los puntos de origen y destino, y en sentido perpendicular líneas equidistantes a cada 500 m (0,31 millas). Para la obtención de datos, a lo largo de las líneas de la retícula se deben marcar puntos de tiro a cada 12,5 m (41 pies). No se permiten desviaciones mayores de 15 m (49,2 pies), a menos que haya interferencias con estructuras existentes, en cuyo caso se debe repetir el tramo que haya quedado fuera de la trayectoria.

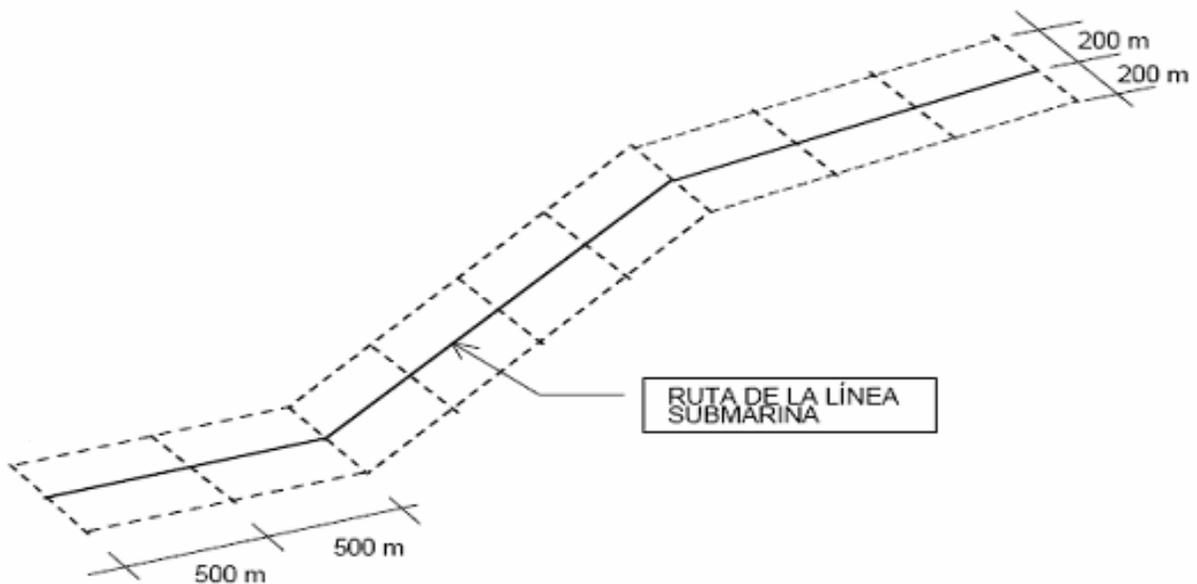


Figura 5 Retícula de recorridos de la embarcación para estudios geofísicos

Para los Estudios geotécnicos se necesita lo siguiente**Muestreo**

Se debe efectuar un muestreo a cada 2 000 m (1,24 millas) sobre la trayectoria del corredor, considerando además el muestreo al inicio y al final del corredor. Cuando éste sea menor a los 2 000 m (1,24 millas), se deben elegir 3 puntos para muestreo sobre dicha ruta: Al inicio, al centro y al final del corredor.

En el caso de que los estudios geofísicos muestren irregularidades, la distancia entre los muestreos debe revisarse en conjunto con el representante de PEP a bordo, y en su caso modificarse. El muestreo se debe ejecutar conforme al procedimiento propuesto por el contratista y avalado por PEP.

El método de muestreo empleado debe ser por medio del muestreador de gravedad indicado en el numeral 8.1.3.3, estas muestras se deben tomar hasta una profundidad de 3 m (10 pies) en suelos granulares y de 4 m (13 pies) en suelos cohesivos. En el caso de que el espesor del estrato recuperado de arena suelta o arcilla no consolidada sea menor a lo indicado, o a criterio del representante de PEP a bordo no sea posible obtener dicha muestra, se debe aceptar una cantidad menor a lo especificado. Antes de tomar esta decisión se deben haber efectuado un mínimo de tres intentos.

Los datos del muestreo, deben incorporarse a un registro del muestreo, indicando: profundidad de muestreo, localización de coordenadas, masa y densidad media del muestreador; altura de caída libre, tirante de agua y diámetro exterior e interior del muestreador. Dicho registro se debe anexar al informe preliminar.

Durante el desarrollo de los trabajos geofísicos y geotécnicos, las condiciones oceanográficas máximas a las que pueden llevarse a cabo dichos trabajos, deben establecerse entre el representante de PEP a bordo y el contratista y dependen básicamente de las características de la embarcación.

Manejo de muestras

Las muestras deben ser extraídas, empacadas, etiquetadas, almacenadas y transportadas de acuerdo a la norma ASTM D 4220 o equivalente, cuidando que las condiciones ambientales no las alteren durante su almacenamiento y traslado.

Las muestras deben almacenarse en tierra en un cuarto húmedo, durante el tiempo que dure el contrato con el fin de tenerlas disponibles para cualquier aclaración.

Pruebas

Pruebas de laboratorio a bordo

A bordo de la embarcación se deben realizar las pruebas de laboratorio a bordo indicadas en la Tabla 4, las cuales deben cumplir con las especificaciones indicadas en dicha tabla. Las pruebas deben realizarse inmediatamente después de que el muestreador ha sido recuperado.

Las pruebas en cada muestra obtenida se deben realizar a las siguientes profundidades: 0,3 m (1 pie), 1,2 m (4 pies), 2,4 m (8 pies) y 3,9 m (12.8 pies) de profundidad para el caso de suelos cohesivos y a las mismas profundidades a excepción de la última la cual debe ser a 3,0 m (10 pies) para el caso de suelos granulares.

| Tipo de prueba | Estándar |
|---|--|
| Para el caso de estudios para corre dores y para plataformas | |
| Pruebas Índice y Clasificación | |
| Descripción y clasificación del suelo | SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), ASTM D 2487 o equivalente |
| Limites líquido y plástico | ASTM D 4318 o equivalente |
| Porcentaje que pasa por la malla # 200 por lavado | ASTM D 1140 o equivalente |
| Peso unitario húmedo y seco | BS 1377 o equivalente |
| Contenido de Carbonatos | ASTM D 4373 o equivalente |
| Contenido de humedad | ASTM D 2216 o equivalente |
| Resistencia al corte en arcillas | |
| Torcometro | BS 1377 o equivalente |
| Veleta Miniatura | ASTM D 4648 o equivalente |
| Para el caso de estudio geotécnico para plataformas | |
| Triaxial no consolidada no drenada | ASTM D 2850 o equivalente |

Tabla 4 Pruebas de laboratorio a bordo

Se deben analizar los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas a bordo en conjunto con personal de PEP, con el propósito de confirmar o modificar el programa de toma de muestras.

Los resultados de las pruebas descritas anteriormente, se deben incluir en un registro de campo, indicando además: profundidad de muestreo, localización con coordenadas, masa y densidad media del muestreador, altura de caída libre, tirante de agua y diámetro exterior e interior del muestreador; dicho registro se anexa al informe técnico de campo.

Pruebas en el sitio

Para realizar este tipo de pruebas se pueden utilizar los siguientes sistemas:

a) Sistemas de fondo. Para esta técnica se debe bajar y apoyar directamente en el lecho marino un marco de acero con el equipo integrado (veleta o cono), procediéndose directamente a realizar las mediciones en forma directa a las profundidades indicadas en el presente inciso.

b) Sistemas de pozo. Para esta técnica la contratista debe realizar la perforación guía con una embarcación geotécnica y a través de esta se procede a realizar las mediciones a las profundidades indicadas en el presente inciso.

En todos los corredores se deben realizar pruebas de veleta para medir la resistencia al corte en suelos cohesivos superficiales. Esta prueba se debe realizar hasta una profundidad de 4,00 m (13 pies) y de acuerdo al siguiente espaciamiento equidistante: corredores menores a 1 000 m (0,621 millas) , 3 pruebas: al inicio, al centro y al final del corredor; en corredores de más de 1 000 m (0,621 millas), se debe efectuar una prueba por cada segmento de 1 000 m (0,621 millas), o fracción, haciendo coincidir los puntos para las mediciones de veleta con los sitios de muestreo por gravedad que correspondan, adicionalmente se deben realizar las mediciones en los extremos del corredor. Los ensayos de veleta se deben efectuar en las siguientes profundidades bajo el lecho marino, 0,60 m (2 pies), 1,20 m (4 pies), 2,40 m (8 pies) y 4,00 m (13 pies), para el caso de suelos cohesivos y las mismas profundidades a excepción de la última la cual debe ser a 3,00 m (10 pies) para el caso de suelos granulares.

En las áreas de los corredores constituidas por suelos granulares superficiales se debe aplicar el cono de 1 t, siguiendo el mismo criterio de la prueba de veleta, donde aplique.

Se deben realizar las pruebas en el sitio cumpliendo con lo siguiente:

a) Arcillas. La determinación de las características del esfuerzo cortante de los suelos cohesivos se determina con la veleta remota de acuerdo a lo indicado en ASTM D 2573 o equivalente o con el empleo del cono penetrómetro de acuerdo a lo indicado en ASTM D 3441 o equivalente.

b) Arenas. El espesor de los estratos superiores, densidad de las arenas y ángulo de fricción interna de los suelos granulares se deben obtener utilizando el cono penetrómetro de acuerdo a lo indicado en ASTM D 3441 o equivalente.

Los resultados de las pruebas descritas anteriormente, se deben incluir en un registro de campo, indicando además: profundidad de prueba, localización con coordenadas y tirante de agua; dicho registro se anexa al informe técnico de campo.

Selección de la ruta definitiva

Con base en la información obtenida de los estudios geofísicos se debe confirmar que la ruta preliminar es la adecuada.

La evaluación final debe integrar los resultados tanto de los estudios geofísicos como de los geotécnicos.

También se deben evaluar las limitaciones en la información que se proporciona, y emitir comentarios relevantes al diseño e instalación de la línea, incluyendo posibles sugerencias para estudios complementarios y alternativas de ruta. La información de los datos obtenidos se debe presentar en forma comprensible y representativa.

Elaboración de Informe técnico

El contratista debe entregar los informes técnicos de campo, preliminares y finales, de los levantamientos geofísicos y geotécnicos.

Informe técnico de campo - El contratista debe entregar al representante de PEP a bordo un informe técnico de campo, conteniendo:

- a) Descripción de actividades.
- b) Localización definitiva del sondeo en coordenadas UTM y geográficas.
- c) Copia de los registros de las pruebas en sitio y en laboratorio a bordo.
- d) Perfil estratigráfico.

Informe técnico preliminar - El contratista debe entregar un informe preliminar, dicho informe debe incluir la información indicada en el Anexo B de esta norma de referencia, así como el resumen de las operaciones en campo y el plano de peligros potenciales.

Informe técnico final - El informe técnico final constituye el resultado de los estudios geofísicos y geotécnicos.

En éste se deben describir los muestreos, las pruebas en sitio, las pruebas de laboratorio a bordo y la interpretación de registros. La elaboración del informe debe seguir el siguiente esquema:

1) Introducción. Se debe hacer una descripción de los antecedentes, objetivos y alcances del estudio.

2) Metodología y equipo. Se deben describir los métodos y equipos utilizados en las diferentes fases de los estudios.

3) Interpretación de resultados. Se deben describir los resultados del análisis de todas las muestras y registros obtenidos en campo y laboratorio. El contratista debe definir los parámetros del suelo recomendados para el diseño de líneas submarinas.

4) Planos. La elaboración de los planos o mapas, se basa en la interpretación de los registros levantados en campo y son complemento del informe final. El dibujo de los planos y la edición de los datos correspondientes, se debe realizar mediante computadora y se deben indicar las coordenadas UTM y geográficas de posicionamiento, la ubicación de cada punto de tiro y del muestreo. Los planos a proporcionar son los siguientes:

a) Batimétrico. El plano batimétrico debe contener las curvas batimétricas con equidistancias no mayores a 1 m (3,28 pies), referidas al nivel del mar. En zonas con pendientes menores de 1%, la equidistancia de las curvas debe ser de 0,5 m (1,64 pies). Se debe entregar un plano a color mostrando la variación de pendientes.

b) Mapeo del fondo marino. Este plano debe entregarse a colores y debe basarse en el plano batimétrico, identificándose las anomalías superficiales del lecho marino ya sean artificiales o geológicas.

c) Isopacas. Este plano debe mostrar la distribución y espesores de los sedimentos no consolidados.

La determinación de espesores debe estar en función de la variación de la densidad del terreno y, se deben indicar los que presenten una reflexión clara, hasta una profundidad de 40 m.

- d) **Peligros potenciales.** En este plano se deben indicar las posibles zonas que puedan presentar problemas para el tendido de ductos. Estos peligros pueden ser: sedimentos saturados con gas, fallas geológicas, sedimentos inestables y topografía difícil.
- e) **Perfiles interpretativos.** Para estos planos se debe elaborar, cuando menos, un perfil estratigráfico localizado sobre el eje principal de la línea.

En caso de existir fallas geológicas importantes, se deben trazar perfiles estratigráficos en las intersecciones. Los planos indicados en los incisos anteriores se deben dibujar a una escala 1:5 000 y los perfiles interpretativos, con escala horizontal 1:5 000 y vertical 1:500.

5) Información. Se debe anexar la relación de información requerida en el **Anexo B de esta especificación.**

6) Conclusiones y recomendaciones. Se deben establecer las conclusiones de los estudios y las recomendaciones de los aspectos más importantes.

Adicionalmente se debe incluir en el apartado correspondiente de este informe, todos y cada uno de los requerimientos, documentación e información solicitados en la presente norma de referencia, las gráficas de las pruebas de laboratorio y los registros originales del equipo electrónico y de muestreo. El informe final debe incluir las limitaciones en la precisión de la información, así como proporcionar comentarios relevantes al tendido de la línea, incluyendo sugerencias para posible estudios complementarios.

Documentación y registros entregables

El contratista debe entregar al área solicitante de PEP como mínimo tres copias en el idioma español y una en el idioma inglés, así como el archivo electrónico (CAD y ambiente Windows), utilizando unidades SI como primario e inglés como secundario de lo siguiente:

- a) Propuesta técnica (presentar al inicio de los trabajos)
- b) Certificados de calibración de equipos (presentar al inicio de los trabajos)
- c) Procedimientos utilizados en el muestreo
- d) Registros del muestreo
- e) Informe técnico de campo
- f) Informe técnico preliminar
- g) Informe técnico definitivo

ESTUDIOS GEOFÍSICOS PARA PLATAFORMAS

Como objetivo de los levantamientos geofísicos para plataformas es obtener la descripción del fondo marino y del subsuelo correspondiente para definir la ubicación exacta en donde se deban instalar las estructuras marinas.

Se deben identificar anomalías tales como: Fallas Geológicas, Cambios litológicos, Formaciones Coralíferas, Cuerpos Geológicos Subsuperficiales, brotes o Manifestaciones superficiales de gas, Erosiones, Socavaciones, Deslizamientos Internos, etc. Asimismo, hasta donde sea posible se deben medir sus dimensiones e identificar sus características físicas. Los levantamientos geofísicos deben complementarse y verificarse con la información obtenida del sitio particular.

Embarcación

Para realizar la exploración se utiliza una embarcación ya sea construida especialmente para ello o adaptadas para este tipo de trabajo que debe hacerse en base al equipo empleado, debiendo estar definida cada área de trabajo y que pueden variar de acuerdo a la magnitud del barco. (Ver figura 1)



Figura 1 Embarcación Geofísica

La embarcación para realizar los estudios geofísicos de la zona de ubicación de la plataforma, debe cumplir con las características y requerimientos mínimos que se indican en la *Tabla 1*

| Características | Mínimo |
|--------------------------|-----------|
| Eslora Total | 40 m |
| Manga | 8 m |
| Calado | 3 m |
| Maquinas principales (2) | 1200 CP |
| Impulsor de proa (1) | 250 CP |
| Velocidad de operación | 2,5 Nudos |

Tabla 1 Características y requerimientos mínimos de la embarcación.

Equipo de posicionamiento

El equipo de posicionamiento a utilizar en la realización de los estudios geofísicos de plataformas debe cumplir con lo siguiente.

Se debe utilizar con el Sistema de Posicionamiento Global Diferencial (DGPS) de largo alcance (± 700 km) y precisión mínima de ± 2 m, con monitoreo interrumpido las 24 h para uso en mar o tierra. El sistema debe contar con una estación de referencia local para la transmisión de las correcciones diferenciales.) El sistema satelital debe utilizar la Banda-L (L-Band) y debe contar como mínimo con el siguiente equipo:

- a) Posicionador
- b) Demodulador
- c) Antena de recepción de correcciones diferenciales
- d) Receptor GPS con un mínimo de 8 canales
- e) Controlador de antena
- f) Antena GPS
- g) Computadoras
- h) Programa de cómputo requerido
- i) Girocompás de alta precisión
- j) Impresora.

Equipo para estudios geofísicos

Los equipos utilizados en los estudios geofísicos para plataformas deben cumplir con lo que se muestra a continuación.

- a) **Ecosonda.** Debe incluir compensador de movimientos y corrección en tiempo real de datos y con capacidad de discriminar ruido y señales débiles, para operación en los tirantes de agua requeridos. Dicho equipo debe cumplir con las especificaciones indicadas en la *Tabla 2*.
- b) **Sonar de barrido lateral.** En la *Tabla 2* se indican las especificaciones mínimas del equipo.
- c) **Perfilador electromecánico o somero.** El perfilador somero debe penetrar una profundidad de 40 m (131,2 pies) o hasta donde el perfilador somero lo permita según la estratigrafía del suelo. En la *Tabla 2* se indican las especificaciones mínimas del equipo.
- d) **Velocímetro de sonido en el agua.**
- e) **Sistema de monitoreo integral** de los aparatos a bordo, para evitar interferencias de señales de cada equipo y a su vez permita el control continuo del proceso durante los levantamientos.
- f) **Equipo de adquisición** digital para levantamientos geofísicos de alta resolución.
- g) **Corrientímetro**, con sensores de temperatura (-5° a +45° C) y resolución de 0,05 m/s, para medir velocidades de corriente de 0,02 a 3 m/s (aplica sólo para plataformas).

| Sistema Emisor | Frecuencia de Emisión | Resolución Máxima Operacional | Objetivos |
|-------------------------------------|-----------------------|--|---|
| Ecosonda | 210 kHz | 2 – 1 cm | Medir tirante de agua y trazar mapas batimétricos. |
| Sonar de Barrido Lateral | 105 kHz | 1 – 2 m | Vista en planta del fondo marino, para localizar estructuras, tuberías, desechos, para determinar la topografía del fondo, los afloramientos y depresiones. |
| Perfilador electromecánico o somero | 0,3 – 5,0 kHz | Variable; generalmente 1 m, pero depende de su aplicación. | Medir tirante de agua, detectar acumulaciones y emanaciones de gas, proporciona perfil del suelo |
| Perfilador profundo | 0,04 – 0,15 kHz | > 9 m | Proporciona perfil del suelo hasta una penetración de 2 segundos. |

Tabla 2 Equipo de exploración geofísica

Así como también el Perfilador Profundo.

h) Perfilador profundo. Este sistema debe tener una longitud de registro mínimo de 2 segundos y tener un intervalo de muestreo de 0,5 milisegundos. La fuente sísmica de este equipo debe ser una pistola de aire o arreglo de pistolas de aire con un volumen mínimo de 1311 cm³ (80 pulg³). Además debe utilizarse un arreglo de receptores (**hidrófonos**) con mínimo de 24 canales con espaciamiento de los grupos de receptores 12,5 m (41 pies) y un intervalo de disparo de la(s) pistola(s) de aire de 12,5 m (41 pies). (Ver Figura 2)

El procesamiento e interpretación de estos registros se debe hacer hasta una profundidad de 600 m (1 969 pies) a partir del lecho marino. Los datos de este sistema, deben ser procesados por migración y apilación para ser interpretados en una estación de trabajo. Los datos de este sistema se deben entregar a PEP en formato Seg-Y.

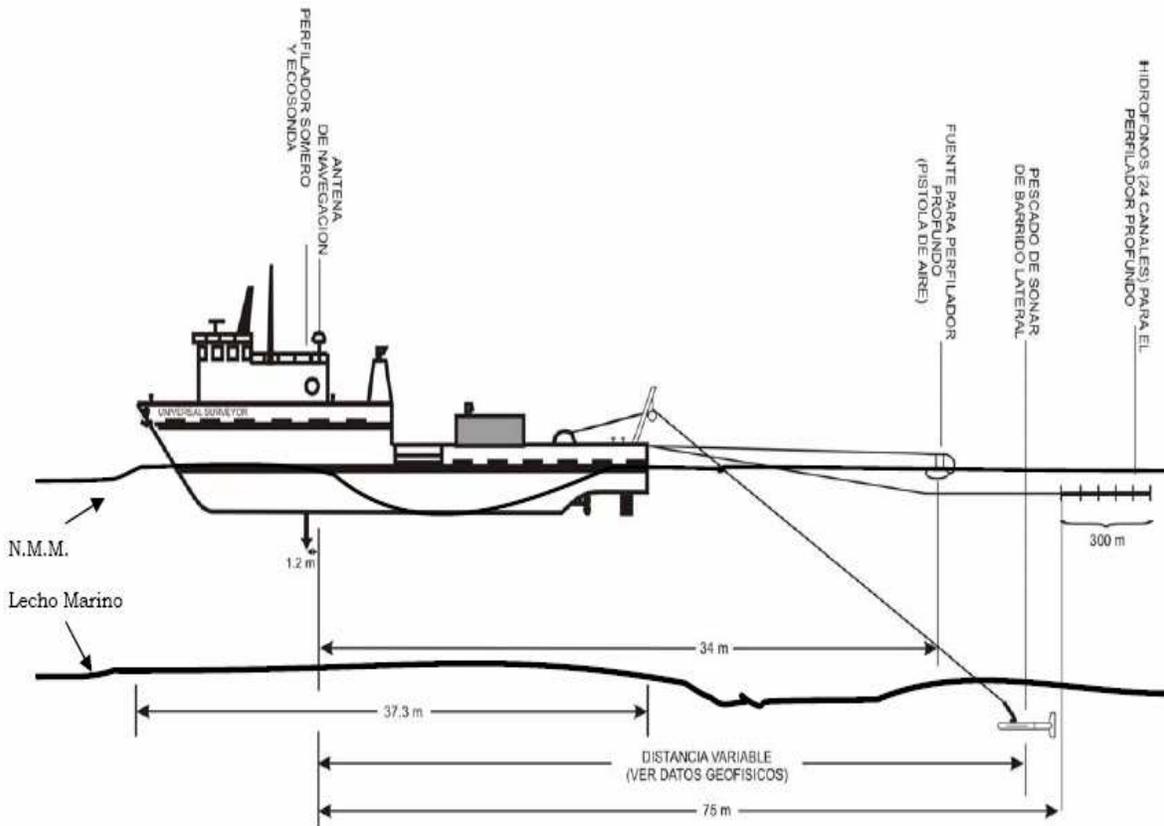


Figura 2 Posición de algunos Equipos

Equipo para muestreo

Para la realización del muestreo de los estudios geofísicos, se debe contar como mínimo con el equipo siguiente.

- a) **Equipo muestreador por gravedad.** Tubo muestreador por gravedad, equipado con un tubo de acero de 6 m de longitud, con un revestimiento de plástico transparente de 67 mm (2 5/8 pulg.) de diámetro interno y un retenedor de muestras.

El contratista debe determinar si el equipo muestreador debe o no llevar pistón dependiendo del tirante de agua y del tipo de suelo, garantizando la obtención de la muestra a la profundidad requerida.

- b) **Equipo de cono para efectuar pruebas in-situ** con dispositivos para medir resistencia de punta, de fricción y presión de poro. Este equipo debe cumplir con las especificaciones indicadas en la *Tabla 3* y la norma ASTM D 3441 o equivalente.

- c) **Equipo de veleta remota para efectuar pruebas in-situ** y medir resistencia al corte en suelos cohesivos normalmente consolidados. Este equipo debe cumplir con las especificaciones indicadas en la norma ASTM D 2573 o equivalente.

Laboratorio de campo, acondicionado con lo siguiente:

- a) Cuarto con sistema de control de humedad y temperatura para conservación de las muestras.
- b) Veleta miniatura.
- c) Torcómetro.
- d) Horno
- e) Balanza de precisión
- f) Extractor hidráulico de muestras
- g) Equipo de empaque de muestras que garantice su integridad física y mecánica

| Equipo de cono de 60 grados | Especificaciones requeridas |
|---|---|
| Barra (Stroke) | 1.5 a 3.0 m |
| Empuje (Thrust) | 1-4 t para corredores 10-12 t para plataformas |
| Velocidad de penetración | 2 cm. /s +/- 1% |
| Capacidad de operación (tirante de agua) | 200 m |

Calibración y prueba de equipo

La calibración y prueba del equipo utilizado en los estudios geofísicos de las plataformas debe cumplir con lo indicado.

La calibración del ecosonda se debe efectuar al inicio del trabajo y después de cada suspensión del mismo, incluyendo en la calibración la intensidad y continuidad de grabación de la gráfica.

La calibración del sonar de barrido lateral, del perfilador somero y del perfilador profundo (en su caso), se debe basar principalmente en las mediciones del ecosonda, comparando las lecturas de las mediciones del tirante de agua. En el sonar de barrido lateral, además de la calibración mencionada, se debe calibrar la intensidad de grabación de la gráfica y la profundidad de arrastre del sonar, la cual depende del rango o escala de exploración.

Se deben entregar a PEP los certificados vigentes de calibración del equipo y maquinaria que requiera de calibración y que deban ser utilizados en los estudios. Los documentos de calibración deben ser emitidos por el fabricante del equipo, el distribuidor autorizado o por una entidad nacional acreditada por la "ema" o internacional reconocida por ésta.

Desarrollo del trabajo

Los trabajos en campo se deben efectuar conforme al procedimiento de estudios geofísicos propuesto por el contratista y aceptado por PEP.

El desarrollo de los estudios geofísicos se debe llevar a cabo en una superficie cuadrada de 2 100 m (1,3 millas) por lado (Ver figura 3), ubicando el punto propuesto para la localización de la estructura en el centro de dicha área. Se debe trazar una retícula para los recorridos de la embarcación, la cual debe consistir de líneas paralelas equidistantes a cada 150 m (0,093 millas) (15 en total), y líneas equidistantes perpendiculares a las anteriores a cada 525 m (0,326 millas) (5 líneas), la orientación de la retícula debe ser definida por PEP antes de iniciar los trabajos. En caso de desarrollar los trabajos para más de una localización de plataforma y que las superficies a estudiar se traslapen, los levantamientos se deben realizar en una superficie total, cuya área debe determinarse conjuntamente con el representante de PEP.

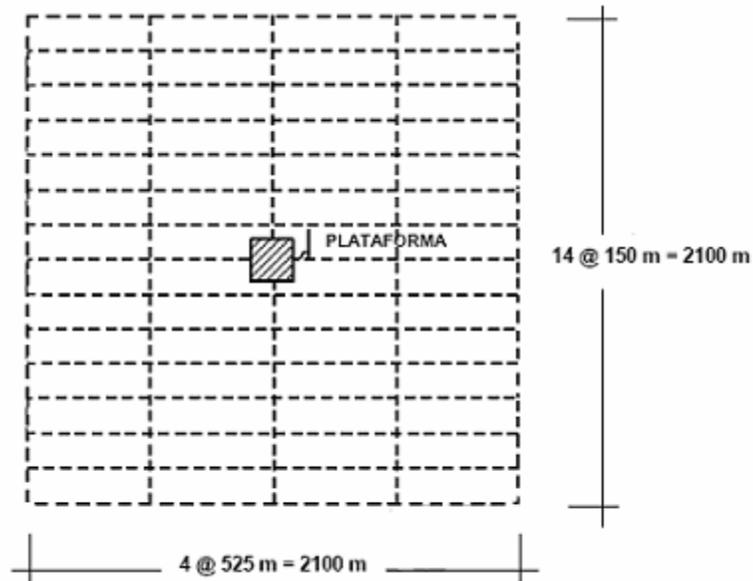


Figura 3 Reticula de recorridos de la embarcación para estudios geofísicos

Para la obtención de datos a lo largo de las líneas de la retícula, se deben marcar puntos de tiro a cada 12,5 m (41 pies). No se permiten desviaciones mayores de 15 m (49.2 pies), a menos que haya interferencias con estructuras existentes, en cuyo caso se debe repetir el tramo que haya quedado fuera de la trayectoria.

Durante el desarrollo de los trabajos geofísicos, las condiciones oceanográficas máximas a las que pueden llevarse a cabo dichos trabajos, deben establecerse entre el representante de PEP a bordo y el contratista y dependen básicamente de las características de la embarcación.

Muestreo:

El método de muestreo empleado debe ser por medio del muestreador de gravedad y se debe recuperar una muestra en el sitio definido para la estructura y cuatro más en los vértices de la superficie seleccionada, uno en cada vértice, previa la autorización del representante de PEP a bordo. La profundidad de muestreo debe ser de 4 m (13 pies) para arcillas y de 3 m (10 pies) para suelos granulares.

Los datos del muestreo, deben incorporarse a un registro del muestreo, indicando: profundidad de muestreo, localización de coordenadas, masa y densidad media del muestreador; altura de caída libre, tirante de agua

Y diámetro exterior e interior del muestreador. Dicho registro se debe anexar al informe preliminar.

Manejo de muestras

El manejo de muestras debe realizarse cumpliendo con lo indicado.

Las muestras deben ser extraídas, empacadas, etiquetadas, almacenadas y transportadas de acuerdo a la norma ASTM D 4220 o equivalente, cuidando que las condiciones ambientales no las alteren durante su almacenamiento y traslado.

Las muestras deben almacenarse en tierra en un cuarto húmedo, durante el tiempo que dure el contrato con el fin de tenerlas disponibles para cualquier aclaración.

Pruebas de laboratorio a bordo

Se deben realizar las pruebas de laboratorio a bordo indicadas en la *Tabla 4*, las cuales deben cumplir con las especificaciones indicadas en dicha tabla. Las pruebas deben realizarse cumpliendo con lo indicado.

A bordo de la embarcación se deben realizar las pruebas de laboratorio a bordo indicadas en la *Tabla 4*, las cuales deben cumplir con las especificaciones indicadas en dicha tabla. Las pruebas deben realizarse inmediatamente después de que el muestreador ha sido recuperado.

Las pruebas en cada muestra obtenida se deben realizar a las siguientes profundidades: 0,3 m (1 pie), 1,2 m (4 pies), 2,4 m (8 pies) y 3,9 m (12.8 pies) de profundidad para el caso de suelos cohesivos y a las mismas profundidades a excepción de la última la cual debe ser a 3,0 m (10 pies) para el caso de suelos granulares.

| Tipo de prueba | Estándar |
|---|--|
| Para el caso de estudios para corre dores y para plataformas | |
| Pruebas Índice y Clasificación | |
| Descripción y clasificación del suelo | SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), ASTM D 2487 o equivalente |
| Limites líquido y plástico | ASTM D 4318 o equivalente |
| Porcentaje que pasa por la malla # 200 por lavado | ASTM D 1140 o equivalente |
| Peso unitario húmedo y seco | BS 1377 o equivalente |
| Contenido de Carbonatos | ASTM D 4373 o equivalente |
| Contenido de humedad | ASTM D 2216 o equivalente |
| Resistencia al corte en arcillas | |
| Torcometro | BS 1377 o equivalente |
| Veleta Miniatura | ASTM D 4648 o equivalente |
| Para el caso de estudio geotécnico para plataformas | |
| Triaxial no consolidada no drenada | ASTM D 2850 o equivalente |

Tabla 4 Pruebas de Laboratorio

Se deben analizar los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas a bordo en conjunto con personal de PEP, con el propósito de confirmar o modificar el programa de toma de muestras.

Los resultados de las pruebas descritas anteriormente, se deben incluir en un registro de campo, indicando además: profundidad de muestreo, localización con coordenadas, masa y densidad media del muestreador, altura de caída libre, tirante de agua y diámetro exterior e interior del muestreador; dicho registro se anexa al informe técnico de campo.

Elaboración de Informe Técnico

El contratista debe entregar los informes técnicos de campo, preliminares y finales, de los levantamientos geofísicos, cumpliendo con lo indicado con lo siguiente:

a) Elaboración de Informe técnico

El contratista debe entregar los informes técnicos de campo, preliminares y finales, de los levantamientos geofísicos y geotécnicos.

b) Elaboración de Informe técnico final

El informe técnico final constituye el resultado de los estudios geofísicos y geotécnicos. En éste se deben describir los muestreos, las pruebas en sitio, las pruebas de laboratorio a bordo y la interpretación de registros. La elaboración del informe debe seguir el siguiente esquema:

- 1) Introducción.** Se debe hacer una descripción de los antecedentes, objetivos y alcances del estudio.
- 2) Metodología y equipo.** Se deben describir los métodos y equipos utilizados en las diferentes fases de los estudios.
- 3) Interpretación de resultados.** Se deben describir los resultados del análisis de todas las muestras y registros obtenidos en campo y laboratorio. El contratista debe definir los parámetros del suelo recomendados para el diseño de líneas submarinas.
- 4) Planos.** La elaboración de los planos o mapas, se basa en la interpretación de los registros levantados en campo y son complemento del informe final. El dibujo de los planos y la edición de los datos correspondientes, se debe realizar mediante computadora y se deben indicar las coordenadas UTM y geográficas de posicionamiento, la ubicación de cada punto de tiro y del muestreo. Los planos a proporcionar son los siguientes:
 - a) Batimétrico.** El plano batimétrico debe contener las curvas batimétricas con equidistancias no mayores a 1 m (3,28 pies), referidas al nivel del mar. En zonas con pendientes menores de 1%, la equidistancia de las curvas debe ser de 0,5 m (1,64 pies). Se debe entregar un plano a color mostrando la variación de pendientes.
 - b) Mapeo del fondo marino.** Este plano debe entregarse a colores y debe basarse en el plano batimétrico, identificándose las anomalías superficiales del lecho marino ya sean artificiales o geológicas.
 - c) Isopacas.** Este plano debe mostrar la distribución y espesores de los sedimentos no consolidados. La determinación de espesores debe estar en función de la variación de la densidad del terreno

Y, se deben indicar los que presenten una reflexión clara, hasta una profundidad de 40 m.

- d) **Peligros potenciales.** En este plano se deben indicar las posibles zonas que puedan presentar problemas para el tendido de ductos. Estos peligros pueden ser: sedimentos saturados con gas, fallas geológicas, sedimentos inestables y topografía difícil.
- e) **Perfiles interpretativos.** Para estos planos se debe elaborar, cuando menos, un perfil estratigráfico localizado sobre el eje principal de la línea. En caso de existir fallas geológicas importantes, se deben trazar perfiles estratigráficos en las intersecciones.

Los planos indicados en los incisos anteriores se deben dibujar a una escala 1:5 000 y los perfiles interpretativos, con escala horizontal 1:5 000 y vertical 1:500.

- 5) **Información.** Se debe anexar la relación de información requerida en el Anexo B de esta especificación.
- 6) **Conclusiones y recomendaciones.** Se deben establecer las conclusiones de los estudios y las recomendaciones de los aspectos más importantes.

Adicionalmente se debe incluir en el apartado correspondiente de este informe, todos y cada uno de los requerimientos, documentación e información solicitados en la presente norma de referencia, las gráficas de las pruebas de laboratorio y los registros originales del equipo electrónico y de muestreo.

El informe final debe incluir las limitaciones en la precisión de la información, así como proporcionar comentarios relevantes al tendido de la línea, incluyendo sugerencias para posible estudios complementarios.

- f) **Plano Estructural somero.** Este plano debe presentar el horizonte reflector más significativo de las tendencias estructurales de la zona y debe ser elaborado mediante los datos del perfilador somero.

- g) **Peligros potenciales.** En este plano se indican las posibles zonas que puedan presentar problemas para la construcción e instalación de las estructuras y para la perforación. Estos peligros pueden ser: sedimentos saturados con gas, fallas geológicas, sedimentos inestables y topografía difícil.

h) Perfiles interpretativos. Para estos planos se recomienda que cuando menos se elaboren dos perfiles estratigráficos, localizados sobre los dos ejes principales de la retícula; pero si se localizan fallas geológicas importantes, se deban trazar perfiles estratigráficos que las intercepten. Para todos los planos mencionados anteriormente, se recomienda dibujarlos a una escala 1:2 500 y los perfiles interpretativos, con escala horizontal 1:2 500 y la vertical 1:2 000.

Se deben incluir los muestreos, las pruebas en sitio, las pruebas de laboratorio a bordo y la interpretación de registros.

El informe final debe incluir las limitaciones en la precisión de la información que se maneje, así como proporcionar comentarios relevantes para el diseño de la cimentación de la estructura, incluyendo sugerencias para posibles estudios complementarios.

Documentación y registros entregables

El contratista debe entregar al área solicitante de PEP como mínimo tres copias en el idioma español y una en el idioma inglés, así como el archivo electrónico (CAD y ambiente Windows), utilizando unidades SI como primario e inglés como secundario de lo siguiente:

- a) Propuesta técnica (presentar al inicio de los trabajos)
- b) Certificados de calibración de equipos (presentar al inicio de los trabajos)
- c) Procedimientos utilizados en el muestreo
- d) Registros del muestreo
- e) Informe técnico de campo
- f) Informe técnico preliminar
- g) Informe técnico definitivo

ANEXO B INFORMACIÓN PARA ESTUDIOS GEOFÍSICOS

Lista de datos para estudios geofísicos para diseño e instalación de tuberías submarinas y plataformas.

B.1 Datos generales

- a) Nombre de la compañía y embarcación utilizada en el estudio
- b) Nombre del sitio estudiado de acuerdo con PEP.
- c) Localización en coordenadas UTM y geográficas, de los puntos vértice que limitan el área estudiada.
- d) Tirante de agua en cada vértice.
- e) Área total estudiada.
- f) Fecha de realización del estudio.
- g) Objetivo del estudio.

B.2 Datos de exploración

- a) Tiempo utilizado en el desarrollo del estudio.
- b) Separación entre líneas en cada dirección.
- c) Longitud total recorrida en el estudio.
- d) Características del equipo de posicionamiento utilizado.
- e) Características de todo el equipo utilizado en la exploración.

B.3 Datos de anomalías y peligros potenciales

Resumen de las principales anomalías geológicas y peligros potenciales localizados en el área del estudio.

B.4 Descripción de sedimentos no consolidados

- a) Espesor estimado y descripción litológica de los estratos identificados.
- b) Datos de muestreo, anotando:
 - i. Método de muestreo de sedimentos superficiales.
 - ii. Equipo de muestreo utilizado.
 - iii. Número de muestreos realizados.
 - iv. Localización en coordenadas UTM y geográficas de cada muestra obtenida.
- c) Descripción y Clasificación del suelo de acuerdo al SUCS.

d) Propiedades índice:

- i. Límite líquido.
- ii. Límite plástico.
- iii. Contenido de humedad.
- iv. Peso unitario húmedo y seco.
- v. Contenido de carbonatos.
- vi. Porcentaje que pasa por la malla # 200 por lavado.
- vii. Densidad del suelo.

e) Resistencia al corte en arcillas, por los siguientes métodos:

- i. Torcómetro.
- ii. Veleta miniatura.
- iii. Veleta remota y/o cono

INFORMACIÓN GEOTÉCNICA

El objetivo de los levantamientos geotécnicos es obtener, a partir de pruebas de laboratorio y en sitio, las características físicas y mecánicas del subsuelo necesarias para el diseño de cimentaciones profundas a base de pilotes de acero de punta abierta, trabajando por fricción y punta, para el diseño de placas de apoyo temporal en el lecho marino, así como, para la evaluación de la respuesta de la estructura y cimentación ante las diversas cargas estáticas y dinámicas a las que deba estar sujeta durante su vida útil.

El levantamiento se debe efectuar aplicando técnicas y equipo especial, tanto en el muestreo como en las pruebas de laboratorio, manteniendo la integridad del suelo durante su recuperación, envío y manejo en laboratorio.

Se debe garantizar un buen manejo y selección de muestras de suelo, equipo de laboratorio adecuado, aplicación de procedimientos de pruebas establecidos en normas internacionales y la correcta interpretación de resultados. El personal de ingeniería debe contar con la experiencia y capacidad suficiente para definir, a partir de las pruebas in-situ y laboratorio, los parámetros geotécnicos para el diseño de las cimentaciones y estructuras.

Información Geotécnica antes de los 90's.

Estos estudios son los que se llevan a cabo a través de la estratigrafía del horizonte de suelo en donde se va a llevar a cabo la instalación de la estructura marina, con el propósito de conocer las condiciones de suelo superficial que predominan con el objeto tanto de diseñar los pilotes de cimentación como evitar cualquier problema en la perforación de pozos, a través de identificar rasgos geológicos significativos que pueden representar riesgos o impactos en la localización definida. (*Ver figura 1*).

La función de estos estudios es proporcionar los parámetros de resistencia y deformabilidad que los suelos presentan cuando se sujetan a cargas permanentes o transitorias.

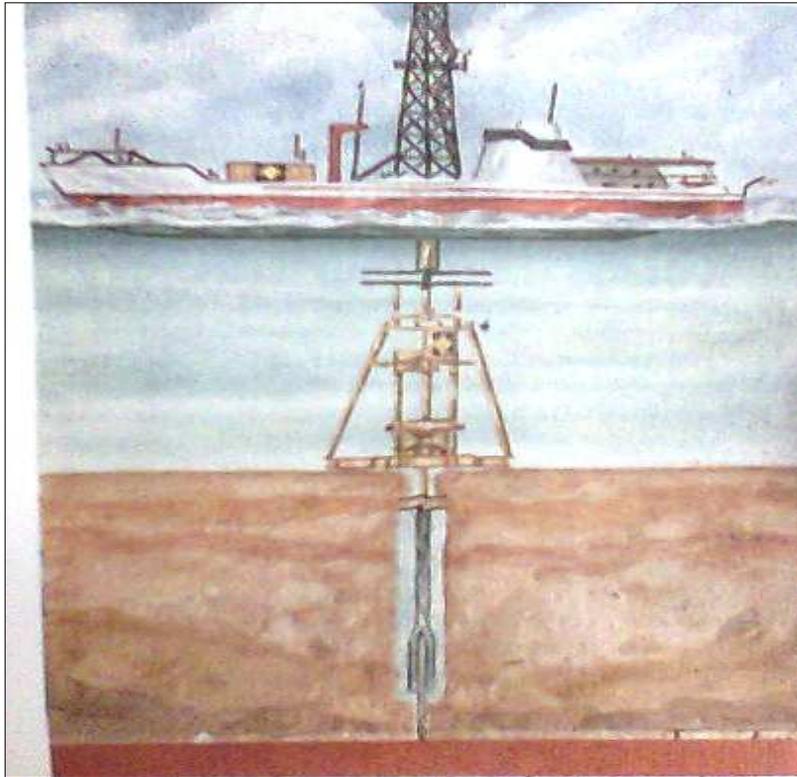


Figura 1 Barco Geotécnico

Estos son una elección consecuencia de los estudios geofísicos, ya que generalmente son costosos, difíciles y tardados, aunque en algunos casos son complementarios de los indirectos para su calibración y confiabilidad en su interpretación.

Los métodos de estudio geotécnicos del subsuelo son:

La exploración con recuperación con medición de resistencia al corte por medio de veletas y penetrómetros, y sondas para la medición de la deformabilidad, las pruebas de carga directas al elemento de cimentación de las cuales se deducen los parámetros de resistencia del subsuelo y la observación mediante instrumentación, del comportamiento de las estructuras en operación.

El desarrollo de este procedimiento para el estudio del subsuelo marino en condiciones de tirante, oleaje y distancias fuera de costa actuales, es mediante grandes barcos acondicionados para las operaciones de perforación y muestreo y el acomodo del personal a bordo para el trabajo continuo cuando las condiciones meteorológicas y oceanográficas lo permiten.

En la Sonda de Campeche se realizan exploraciones directas, y en algunos casos, pruebas de resistencia en sitio, pruebas de laboratorio en barco, así como observación del comportamiento del hincado de pilotes de cimentación, en los que la gran limitante para el ejercicio de la ingeniería nacional han sido los barcos.

Planeación

Para la planeación de un estudio geotécnico debe revisarse la información existente del sitio de proyecto, considerando como aspectos básicos de decisión de programas, lo siguientes:

Características de la estructura y cimentación, tomando en cuenta los factores y alternativas de diseño.

Como parte de esta información se considera, también, la localización y orientación de la estructura o instalación proyectada.

Meteorología y oceanografía del sitio, es decir, la información relativa a vientos, oleaje, corrientes, mareas y sismos del sitio de proyecto.

Esta información no sólo sirve de base para la planeación del estudio geotécnico, sino que forma parte del mismo.

En la Sonda de Campeche se han cumplido en términos generales con las normas del API en los programas de exploración. En cada proyecto de plataforma el sitio definitivo ha sido elegido en atención al estudio geofísico, para evitar los riesgos, que puedan presentar las estructuras geológicas. Se han realizado de uno a dos sondeos por estructura y la profundidad de los mismos ha variado de 80 a 120m.

Los sondeos normalmente se han desarrollado por el sistema de cable-guía (wire-line) con el propósito de muestreo y ejecución de pruebas de penetración. En algunos casos, se han aprovechado estos sistemas para insertar veletas a diferentes profundidades de avance para medir la resistencia en el sitio de suelos cohesivos.

Las normas del API, recomiendan que el muestreo sea con recuperación continua hasta una profundidad de 12m bajo el piso marina, después a cada 3m hasta 61m y a intervalos de 8 m a profundidades mayores.

Las pruebas en el sitio las cuales se especifican son las de penetración estándar, en cada estrato importante de suelos granulares y cuando menos una prueba de veleta miniatura y una de compresión simple en cada muestra de suelo cohesivo recuperada.

Las pruebas directas de resistencia en sitio, son las rutinarias de penetración mediante el sistema cable-guía, ejecutadas simultáneamente con el muestreo y en algunos casos las de veleta en suelos cohesivos. En laboratorio del barco se ejecutan ensayos de resistencia al corte, empleando la veleta miniatura, el torcómetro y el penetrómetro de bolsillo y pruebas de compresión simple en muestras de suelos cohesivos.

El API establece pruebas de compresión no confinada en estratos arcillosos donde se requiera para complementar las pruebas realizadas a bordo, límites de consistencia en la muestras cohesivas, peso volumétrico no todas las muestras, pruebas triaxiales rápidas y consolidadas no drenadas.

Para determinar las relaciones esfuerzo-deformación y pruebas granulométricas, que incluyan la fracción que pasa la malla 200, en cada muestra de arena o limo, para la Sonda de Campeche los programas se desarrollaron con apego a las recomendaciones del API.

Exploración y Muestreo

Los métodos de exploración y muestreo fuera de costa incluyen algunas técnicas convencionales de campo, ajustadas a las condiciones del trabajo mar adentro como son: oleaje, vientos, corrientes, tirantes de agua que obligan el uso de equipos de perforación más potentes, mayores costos de operación y trabajo continuo.

El método exploración marina usual es el de adoptado de los estudios geotécnicos de campo denominados sondeos mixtos, que combinan el uso de la penetración estándar con la recuperación de muestras alteradas en suelos granulares y el muestreo de suelos arcillosos por medio de tubos especiales de pared delgada.

La penetración estándar consiste en hincar, en el fondo de una perforación, tubo partido longitudinalmente, con una zapata de acero endurecido y un cabezal que lo une al extremo inferior de una columna de barras de perforación que le transmiten la energía de hincado desde la parte superior.

La energía de hincado consiste en el golpe de un martillo de 64 Kg en caída libre guiada de 75 cm. que impacta a una pieza de acero integrada a la parte superior de la columna de barras de perforación. El número de golpes requerido para hincar este penetrómetro 30 cm. es la medida indirecta de la resistencia al corte del suelo.

En la Sonda de Campeche el método de exploración y muestreo utilizado incluye también una medida de la resistencia a la penetración que no es la estándar, sino que es un procedimiento el tubo muestreador para suelos granulares tiene las mismas dimensiones que el penetrómetro estándar y es hincado por medio del golpe de un martillo de 79.4Kg en caída libre guiada de 1.52m, tomando como medida de la resistencia a la penetración el numero de golpes requeridos para hincar el tubo muestreador 61 cm. dentro del suelo.

Para el muestreo de los suelos cohesivos se han empleado dos tipos de tubo de acero con paredes delgadas de diferente espesor: uno con diámetro exterior de 6.35 cm. y diámetro interior de 5.71 cm. que se utiliza en los primeros metros para muestrear los suelos mas blandos, al cual se le insertan cuatro tubos de fibra de vidrio de 12.7 cm. de longitud y 5.4 cm. de diámetro interior y el otro que se emplea en los estratos profundos mas resistentes que tienen 5.71 cm. de diámetro exterior y 5.4 cm. de diámetro interior. (Ver Figura 2)

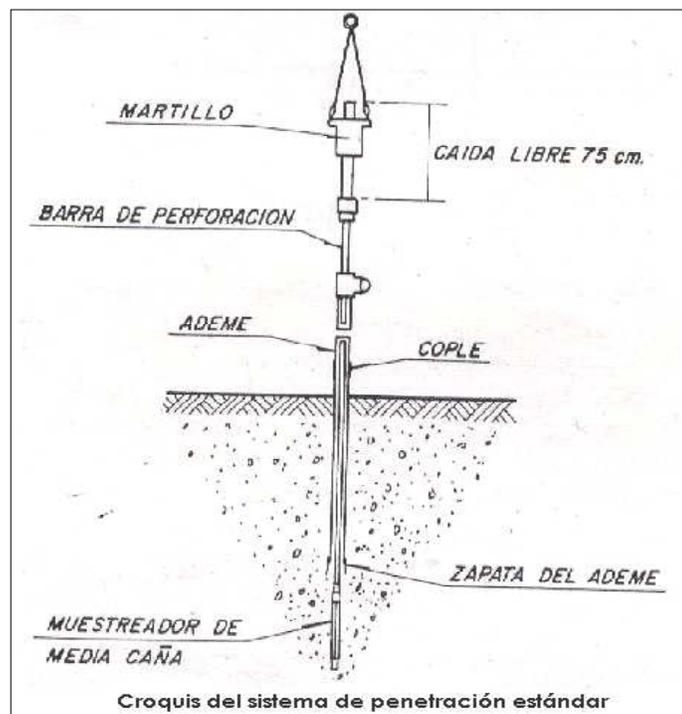


Figura 2

El sistema de perforación, utilizado en la exploración, se menciona, es el denominado cable-guía, este equipo emplea barras y brocas huecas que permiten el paso de barril muestreador, de las veletas o cualquier aparato de medición, en su interior sin mover el resto del equipo.

Cuando este equipo se opera en el mar, el lodo de perforación no se recircula y se pierde en el momento que sale por la boca del pozo en el piso marino, por esto es necesario reabastecerlo continuamente. El lodo empleado debe tener las características del peso y la consistencia adecuadas para estabilizar las paredes de la perforación, sobretodo en suelos granulares, por lo que estas características deben ser controladas en el sitio con viscosímetros del tipo de cono Marsh. Los lodos o lechadas típicas para este propósito se preparan con barita y atapulgita.

En la exploración fuera de costa en la Sonda de Campeche se han utilizado barcos, por la cual el sistema cable-guía cuenta con un indicador de peso y con topes y amortiguadores para compensar el levantamiento del barco.

El muestreador mediante el sistema cable-guía desde la cubierta del barco, se lleva a cabo cuando se alcanza la profundidad para muestrear, se detiene la circulación del fluido de perforación y se remueve el vástago de conexión de las barras y la tubería de perforación se soporta mediante elevadores con la broca suspendida a una cierta distancia del fondo del pozo, se introduce el muestreador hasta el fondo de la perforación, se hinca a la profundidad señalada y finalmente se extrae la muestra a través de las barras, tirando de un cable flexible que se desplaza en su interior.

El muestreador en el sistema cable-guía consta de una sección tubular en su parte superior integrada a un martillo cilíndrico sólido. El tramo de tubo que sirve de guía al martillo durante su caída tiene una longitud de 3.05m, de los cuales solo se emplean 1.52m para producir la penetración del muestreador mediante los golpes al martillo que es accionado desde la cubierta del barco por medio del cable-guía.

Los 1.52m restantes de la sección tubular constituyen una tolerancia al movimiento vertical del barco durante el muestreo.

La tubería de perforación comúnmente usada, tiene un diámetro, exterior de 8.89cm y un interior de 7.62 cm en tramos de 6.10m. El diámetro final del pozo es de 17.8 cm y sus paredes se estabilizan como ya se mencionó, por medio de lodo que circula por el espacio anular que existe entre la tubería y las paredes del pozo, arrastrando los cortes hechos por la broca.

(Ver Figura 3).

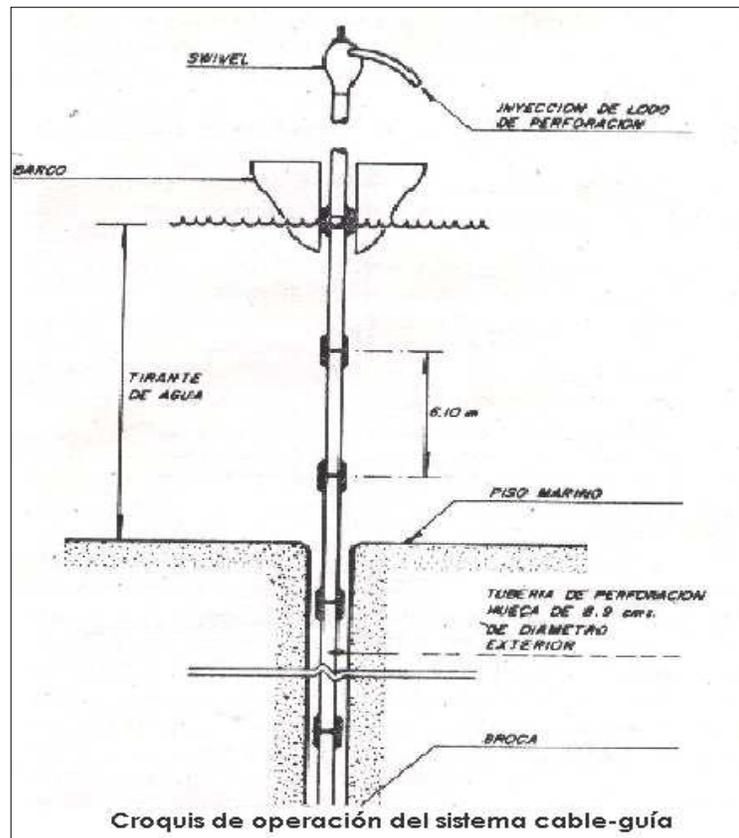


Figura 3

Una vez ejecutadas las pruebas de veleta, torcómetro y penetrómetro de bolsillo se extraen las muestras del tubo muestreador mediante un pistón accionado hidráulicamente, siguiendo la dirección en la que la muestra penetra el tubo hincado, se identifica visual y manualmente se separan los diferentes tipos de suelos que la muestra pueda contener se anotan las características físicas relevantes de cada parte, se protegen contra la pérdida de agua en bolsas o recipientes herméticos y se envían a los laboratorios más completos de tierra.

El registro de campo de exploración contiene los datos de localización, fecha, operador, supervisor y los del sondeo mismo, que son: la clasificación preliminar, el número de golpes de penetración, número de muestra, porcentajes de recuperación y hora e incidentes de exploración.

En la Sonda de Campeche se han utilizado dos barcos la primera es de **plataforma autoelevable (Jack up)**, para tirantes de agua, menores de 50m y el segundo que es **el normal**, adaptada a los propósitos de exploración, con un agujero en la cubierta y en el casco, 50m de eslora, 12m de manga, 5m de calado y es de cubierta libre para acomodar las barras, torre y máquina de perforación, tolva para mezcla de lodos y el equipo humano requerido.

(Personal geotécnico (esta constituido por dos brigadas de perforación, dos laboratoristas, un ingeniero geotécnico, un mecánico y un topógrafo marino por día de 24 hrs.) y tripulación).

Pruebas en Barco

Las pruebas efectuadas en el barco son las pruebas en sitio propiamente dichas y realizadas en el pequeño laboratorio a bordo. Estas comprenden la penetración que se lleva a cabo simultáneamente con el muestreo, como ya sea descrito, y la de veleta y otras sondas que serán presentadas a continuación.

La veleta de torsión: Operada a control remoto, consta de una barra de acero que lleva insertadas cuatro láminas delgadas de acero en posición longitudinal que va conectada a una serie de barras huecas hasta alcanzar la profundidad de ensaye. En el interior de las barras van alojados los cables del sistema electrónico de medición. Una vez hincada de veleta en el fondo de la perforación se aplica en el exterior, en la parte superior de las barras, un par de torsión que se incrementa progresivamente hasta que el suelo falla. La magnitud de la torsión aplicada al suelo se lee un puente de Wheatstone operado en la cubierta del barco. (Ver Figura 4)

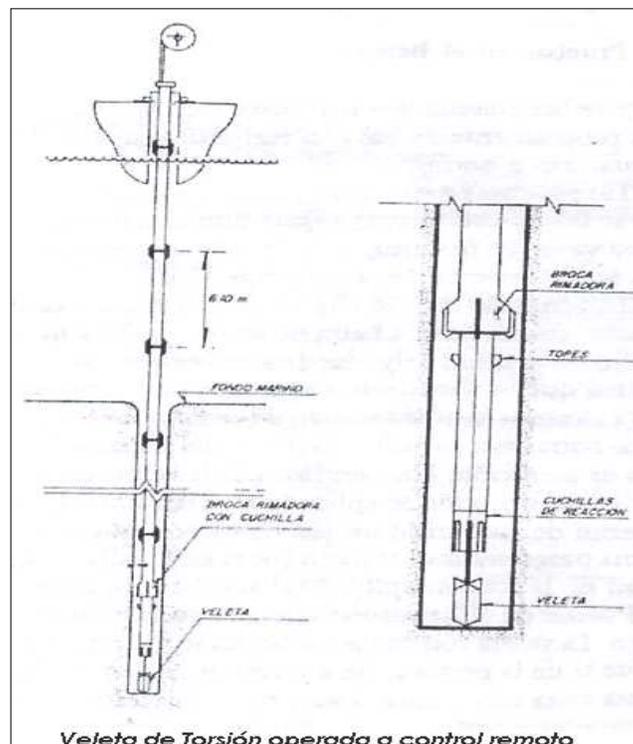


FIGURA 4

La veleta con todas sus barras se introduce hasta el fondo de la perforación a través de las barras huecas del sistema cable-guía. Esta prueba fue efectuada en algunos estudios de la Sonda de Campeche.

El cono penetrómetro estático: Cuya primera versión se denomina cono holandés, ha sido empleado durante muchos años para medir la resistencia a la penetración de los suelos que se correlacionan en forma directa con la resistencia al corte.

Una de las versiones resientes del cono penetrómetro estático cuenta con una superficie cilíndrica de fricción inmediatamente arriba de la punta, por medio de este instrumento se mide en forma separada y continua la resistencia de punta y fricción lateral obteniéndose un información adecuada para el diseño de cimentaciones piloteadas. El cono penetrómetro ha sido utilizado en forma limitada en la Sonda de Campeche.

Las pruebas ejecutadas en el laboratorio a bordo son las que se realizan empleando la veleta miniatura, el torcómetro, el penetrómetro de bolsillo y la de compresión simple. Las tres primeras se efectúan cuando la muestra aun esta en el interior del tubo muestreador.

La veleta miniatura es un instrumento pequeño análogo en forma y operación a la veleta convencional accionada a control remoto. (Ver Figura 5)

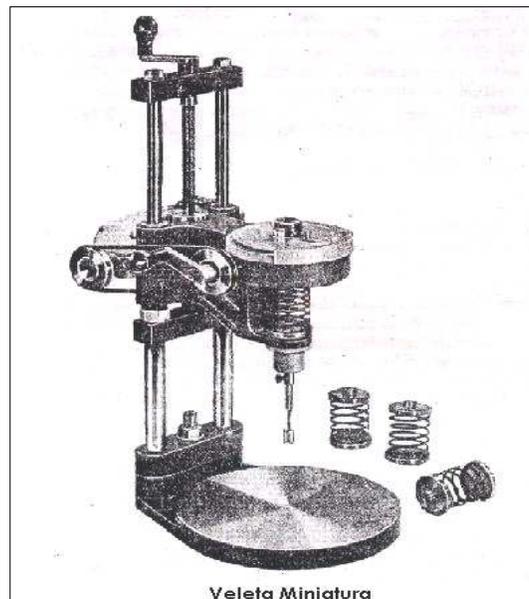


FIGURA 5

El torcómetro: Es una veleta muy pequeña portátil que está provista con seis u ocho láminas de acero que se hincan en la muestra del suelo. La torsión se aplica manualmente y su valor se lee en un círculo graduado que tiene en la cara superior. (Ver Figura 6)

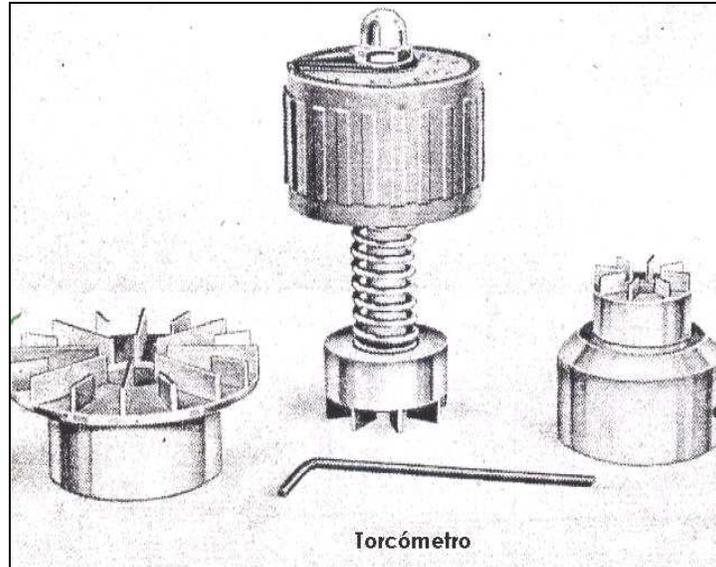


Figura 6

El penetrómetro de bolsillo: Es un instrumento manual que consta de una pieza tubular que aloja en su interior una barra móvil a manera de pintón que, mediante la presión ejercida manualmente y registrada en un manómetro, se inserta en la muestra una longitud constante. El instrumento está calibrado para proporcionar en forma directa el valor de la resistencia al corte en suelos cohesivos. (Ver Figura 7)

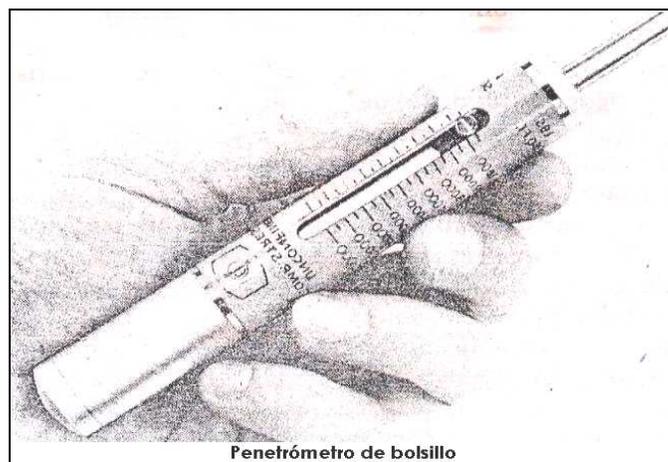


Figura 7

La **prueba de compresión simple** o de compresión no confinada se efectúa con una maquina o marco de carga, mediante el cual puede someterse a compresión axialmente una probeta cilíndrica. Las maquina de compresión pueden ser de tipo prensa hidráulica o de tornillo. (Ver Figura 8)

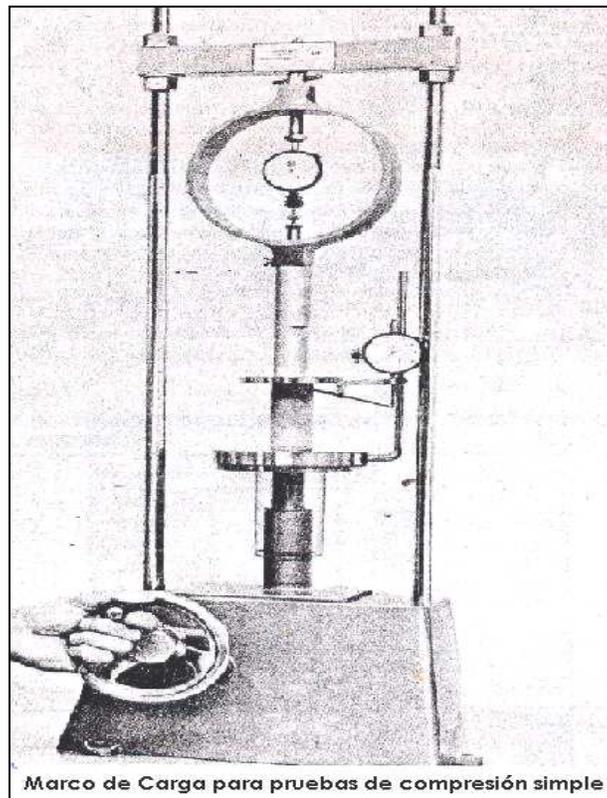


Figura 8

Pruebas complementarias de Laboratorio

Estas pruebas tienen una finalidad de complementar la información recabada en los ensayos en sitio y en laboratorio del barco y obtener los datos para la determinación de la capacidad de carga lateral de los pilotes.

A partir de estas pruebas complementarias se evalúan, las principales propiedades índice de los suelos como son: **el contenido de agua, los límites de consistencia, la densidad de sólidos, el peso volumétrico, la granulometría y las propiedades mecánicas como la resistencia y deformabilidad de los suelos a partir de las pruebas triaxiales rápidas y las consolidadas-no drenadas.**

En las pruebas de compresión triaxial se aplica al espécimen una carga lateral por medio de un líquido a presión, además de la carga aplicada en el sentido longitudinal. Mediante las pruebas triaxiales se trata de simular, con el confinamiento lateral, el estado de esfuerzos inicial al que esta sometido el suelo a diferentes profundidades.

La prueba triaxial rápida representa la condición de una falla súbita, producida por gas de impacto o transitorias, en la que el suelo es un depósito reciente, no consolidado.

La triaxial consolidada-no drenada representa la misma condición de falla repentina, pero en capas de suelo que ya se han consolidado bajo el peso de los depósitos suprayacentes.

Las arenas de partículas calcáreas y carbonatadas en el suelo marino de la Sonda de Campeche, son susceptibles a la trituración y rotura de sus ligaduras y en consecuencia, a la disminución de su resistencia y de su capacidad de carga.

Esto propicio que se incluyera dentro de las pruebas de laboratorio la denominada ***solubilidad en ácido clorhídrico***.

Esta prueba consiste en formar una suspensión con cierta cantidad del suelo y agua con ácido clorhídrico y después de un tiempo determinado vaciar el agua, secar y pesar la muestra esta operación se repite varias veces observando en cada paso la pérdida de peso de la muestra. La prueba se termina cuando la pérdida en peso es nula o insignificante, se considera que a mayor contenido de carbonatos, mayor será la solubilidad en el ácido clorhídrico.

Información Geotécnica después de los 90's. (FUGRO)**Embarcación**

La embarcación utilizada para realizar los estudios geotécnicos para instalación de plataformas debe cumplir con lo indicado en la tabla 5. Adicionalmente la embarcación debe tener un espacio libre en cubierta para maniobras, ascenso y descenso de personal por medio de canastilla de abordaje. (Ver Figura 1)

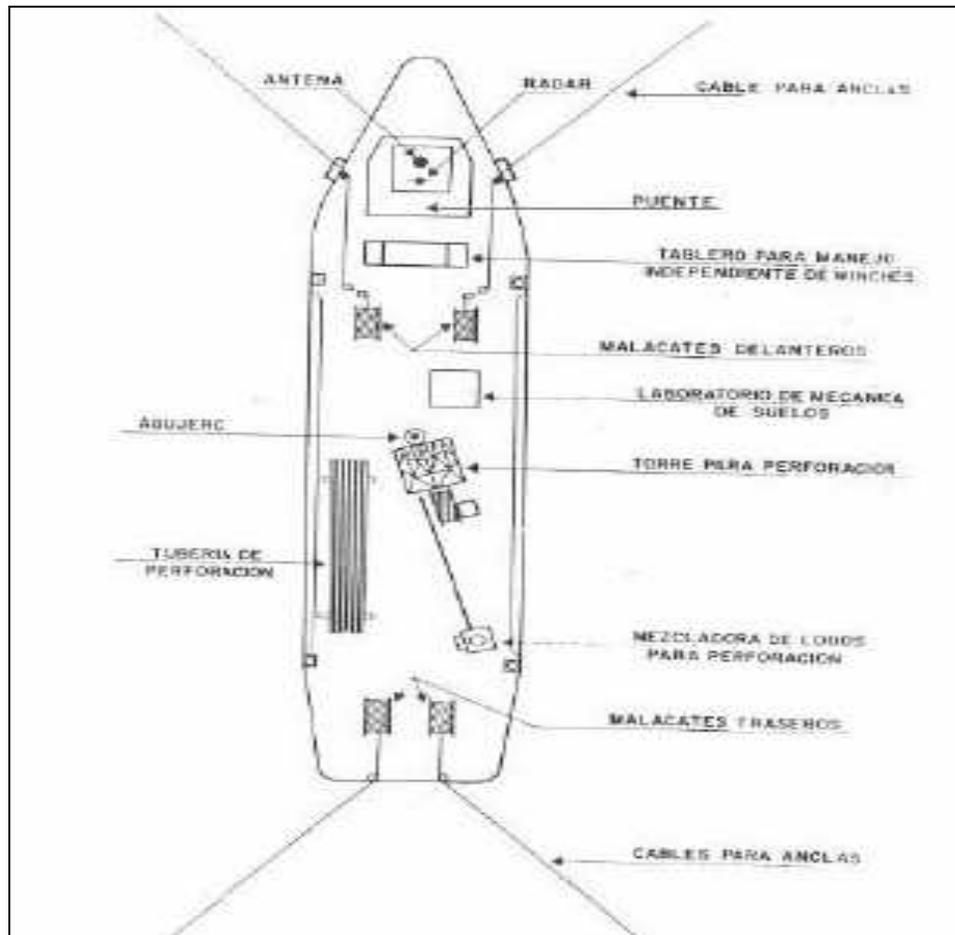


Figura 1. Arreglo típico del barco para estudios geotécnicos de plataformas

| Características | Mínimo |
|--------------------------|------------------------------------|
| Eslora total 40 m | 40 m |
| Manga 12 m | 12 m |
| Calado 4 m | 4 m |
| Maquinas Principales (2) | 1 200 CP |
| Impulsor de proa (1) | 250 CP |
| Sistema de anclaje (*) | 4anclas o Posicionamiento Dinámico |
| Velocidad | 12 nudos |

(*) Posicionamiento Dinámico para tirantes mayores de 20 m.

Tabla 1 Características de la embarcación geotécnica

Equipo:

Equipo de Posicionamiento

Se debe utilizar el Sistema de Posicionamiento Global Diferencial (DGPS) de largo alcance (± 700 km) y precisión mínima de ± 2 m, con monitoreo interrumpido las 24 h para uso en mar o tierra. El sistema debe contar con una estación de referencia local para la transmisión de las correcciones diferenciales. El sistema satelital debe utilizar la Banda-L (L-Band) y debe contar como mínimo con el siguiente equipo:

- a) Posicionador
- b) Demodulador
- c) Antena de recepción de correcciones diferenciales
- d) Receptor GPS con un mínimo de 8 canales
- e) Controlador de antena
- f) Antena GPS
- g) Computadoras
- h) Programa de cómputo requerido
- i) Girocompás de alta precisión
- j) Impresora.

El equipo de posicionamientos es obtenida con ayuda de los estudios Geofísicos ya que fue mencionada en el capítulo anterior. (Ver Figura 2)

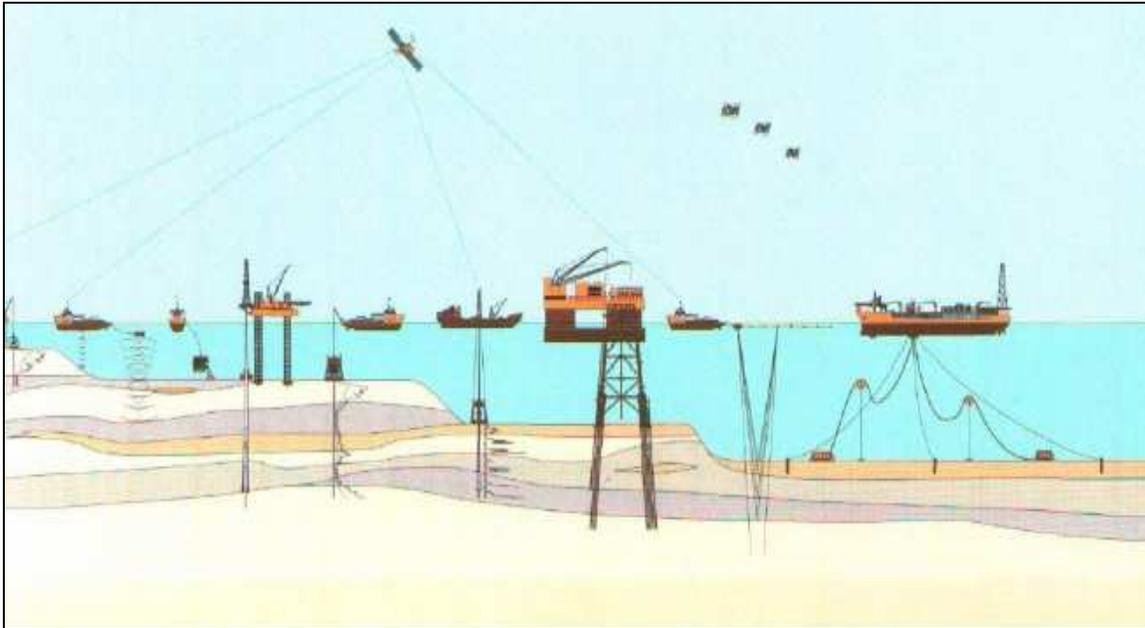


Figura 2 Equipo de Posicionamiento

Equipo y Procedimiento de Perforación y de Muestreo

La perforación se realiza usando procedimientos de perforación rotatorio con un a barrena de arrastre tipo Dolphin montada en una tubería de perforación. Adicionalmente se utiliza gel para agua salada y materiales pesados para suspender y levantar los residuos de la perforación y para proveer apoyo lateral a la pared del sondeo.

Las muestras se obtienen a través de la tubería de perforación en intervalos especificado en el texto principal del reporte. Se usa un muestreador de doble tubo de 63.5 mm de diámetro externo y 54.0 mm de diámetro interno para obtener muestras cohesivas muy blandas a blandas del lecho marino.

Las muestras cohesivas restantes se obtienen, por lo general, utilizando un muestreador Shelby de pared delgada de 76.2 mm de diámetro externo y 71.9 mm de diámetro interno, presionado con el peso de la tubería dentro del suelo.

En los suelos cohesivos duros a muy duros, las muestras a presión se obtienen utilizando un muestreador Shelby de pared gruesa afilada de 76.2 mm de diámetro externo y 63.2 mm de diámetro interno. En suelos granulares, se obtienen muestras por percusión (martillo) usando tubos muestreadotes de acero de pared delgada de 57.2 mm de diámetro externo y 54.0 mm de diámetro interno.

En suelos granulares muy compactos o suelos cementados, las muestras por percusión se obtienen con tubos muestreadores de pared gruesa afilada con dimensiones de 63.5 mm de diámetro externo y 54.0 mm de diámetro interno, o con muestreadores partidos de 76.2 mm de diámetro externo y 63.5 mm de diámetro interno o de 50.8 mm de diámetro externo y 38.1 mm de diámetro interno.

El muestreador de doble tubo es introducido hasta 0.6 m dentro de la formación del suelo con el peso de un martillo de 79 kg y se anota como "PESO" en el registro de sondeo.

Las muestras por presión indicadas como **PRES** en el registro, se toman empujando el muestreador en la formación usando el peso de la tubería.

El muestreador **DOLPHIN**, en esta técnica de presión, la barrena se levanta del fondo del sondeo una vez que alcanza la profundidad de muestreo deseada. El muestreador es bajado a través de la tubería hasta que reasienta en el anillo de aterrizaje en el montaje de fondo, con los trinquetes mecánicos, tubo de muestreo, y adaptador del tubo localizados en la parte externa de la barrena como se indica. La tubería se baja para conectarla con los trinquetes mecánicos, y el peso de la tubería se usa para empujar el tubo de muestro 0.6 m dentro del suelo.

Se procede entonces a levantar la tubería de perforación para recuperar el tubo de muestreo. El muestreador se recupera y se levanta hasta la cubierta usando un cable-guía. Una vez recuperado el muestreador, se continúa el sondeo utilizando el mismo procedimiento.

Las muestras conservadas indicadas "**SALV**" en el registro del sondeo, son obtenidas con tubo niquelado tipo Shelby de pared delgada con un diámetro exterior de 76.2 mm y un diámetro interior de 71.9 mm usando la técnica de presión.

El muestreo por percusión con cable guía consiste en bajar un montaje de martillo deslizante a través de la tubería de perforación a la profundidad de muestreo deseada. El martillo es un peso deslizante de 79 kg, el cual se eleva y se deja caer aproximadamente 1.5 m para lograr una penetración máxima de 0.6 m o un máximo de 30 golpes.

En los suelos granulares muy compactos y materiales cementados, a veces se requieren más de 30 golpes para hincar el muestreador en la formación con el fin de obtener una cantidad de muestra adecuada para las pruebas de suelos en el laboratorio. El número de golpes junto con la penetración del muestreador correspondiente se anota en el registro de sondeo.

Equipo y procedimientos de Medición del Tirante de Agua

El tirante de agua en la localización del sondeo se estima usando tres métodos:

- 1. La ecosonda de la embarcación**
- 2. Un sensor electrónico de fondo**
- 3. Muestra recuperada durante la operación de muestreo**

Un tirante de agua inicial se estima con el ecosonda de la embarcación. Una vez que se estima tirante de agua, se utiliza un sensor de fondo para medir el tirante de agua con mayor de precisión, el sensor de fondo marino es un aparato electrónico que se opera con un cable eléctrico y que en caja en la barrena. En este método, la tubería de perforación se baja al fondo marino hasta que la barrena esta aproximadamente 1.5 m sobre el fondo marino basado en la lectura de el tirante de agua inicial.

El sensor de fondo se baja a través de la tubería hasta que descansa en el anillo de aterrizaje de la barrenan, luego se baja la tubería lentamente hasta hacer contacto con el fondo marino.

Cuando el sensor de fondo toca el fondo marino, una señal eléctrica se recibe en cubierta y el tirante de agua se registra como la longitud de la tubería debajo del nivel de agua.

Los tirantes de agua obtenidos de estos dos métodos luego se confirman con la recuperación de la primera muestra de suelo donde el contador Cavins de cable-guía se utiliza en conjunto con el equipo muestreador para obtener la primera muestra en el fondo marino. Previo al comienzo de la segunda etapa del sondeo, usualmente se toma una medición confirmatoria del tirante de agua. Se reposiciona la nave y se mide el tirante de agua usando el sensor de fondo. (Ver Figura 2)

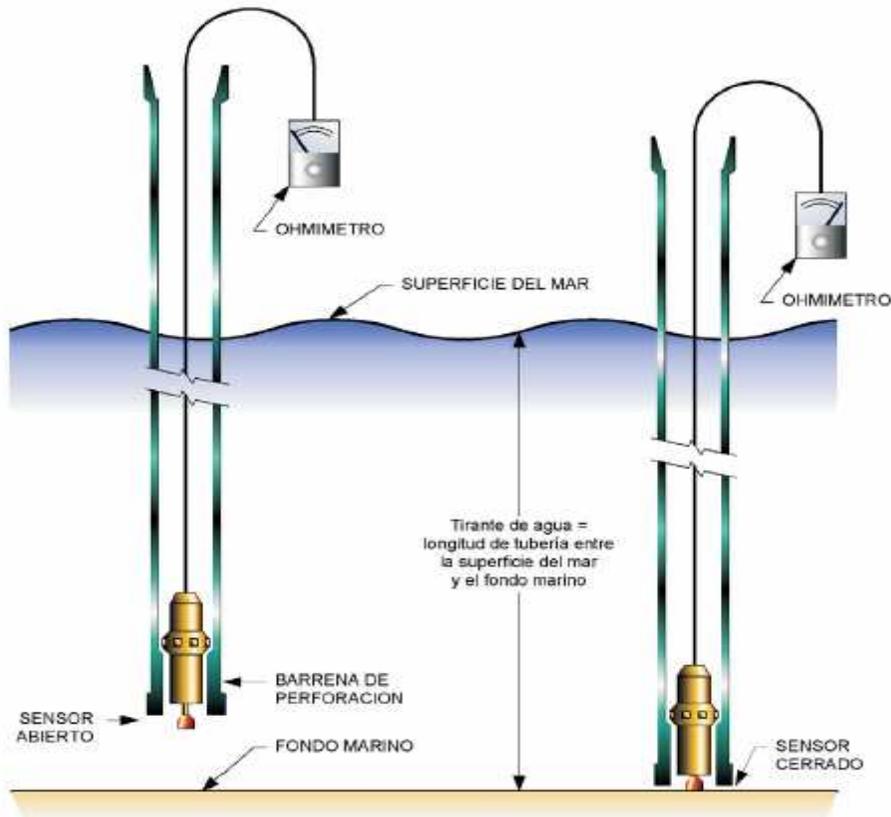


Figura 2 Medición del Tirante de Agua con el Sensor del Fondo

Pruebas de Penetración de Piezocono

Equipo y Procedimiento:

Las pruebas de penetración del piezocono (PCPT) se realizan usando nuestro piezocono penetrómetro tipo Dolphin. Estas pruebas se realizan para:

1. Medir la resistencia al esfuerzo cortante in situ de los estudios cohesivos.
2. Estimar la densidad relativa y las características de fricción de los suelos granulares.

Las pruebas del PCPT fueron realizadas típicamente de manera continua hasta 24.7m de penetración y a intervalos aproximados de 3.7 m hasta la profundidad final de la investigación. La longitud de empuje del piezocono en cada prueba, indicada en el registro de sondeo, depende de la resistencia del suelo.

El primer paso para poner en funcionamiento el piezocono penetrómetro tipo Dolphin, es bajar una masa de reacción con un sistema de abrazadera con un peso total de 9,100 Kg. al fondo marino antes de iniciar las pruebas del PCPT. Posteriormente, se permite la caída libre del piezocono tipo Dolphin a través de la tubería hasta el montaje de fondo tipo Dolphin de la barrena impulsador-arrastre, donde se asienta y se asegura dentro del impulsador bajo su propio peso. Se baja entonces la barrena al fondo del sondeo y la unidad de agarre (sistema de abrazaderas), localizada en la masa de reacción, es activada hidráulicamente desde cubierta para agarrar la tubería de perforación, es compensado para el movimiento vertical. El empuje para el piezocono es proporcionado por la presión del lodo desarrollada en la tubería usando una bomba auxiliar de alta presión. El piezocono es empujado en la formación de suelo a una velocidad controlada de penetración de aproximadamente 2 cm. por segundo, con la reacción siendo proporcionada por el peso de la tubería y la masa de reacción.

Deformímetros calibrados miden electrónicamente la resistencia de punta, la fricción de manga (resistencia de fuste) y la presión de poros cuando el cono penetra dentro de la formación. Estas mediciones, además de los datos de velocidad de penetración y presión de lodos, se registran a una velocidad de cinco muestras por segundo y se almacenan temporalmente en la unidad de memoria remota (UMR) de la herramienta Dolphin.

La prueba finaliza al lograr una penetración de 3.0 m, o cuando se encuentra rechazo.

Una vez que se completa la prueba, la tubería de perforación es liberada de las abrazaderas en la masa de reacción y la herramienta de PCPT se extrae de la formación de suelo al levantar la tubería de perforación. Entonces, la herramienta de PCPT es recuperada con un cable-guía de alta velocidad. Cuando la herramienta se encuentra nuevamente en la cubierta, los datos se transfieren de la UMR a la computadora. La computadora genera un "trazo rápido" de los datos, lo cual proporciona información generalizada sobre la resistencia de punta, fricción de manga (resistencia de fuste), presión de poros, velocidad de penetración, presión de lodos y la penetración total de la herramienta. Los datos del PCPT son procesados y los resultados de estas pruebas son presentados gráficamente se extrae de la formación de suelo al levantar la tubería de perforación. (Ver Figura 3)

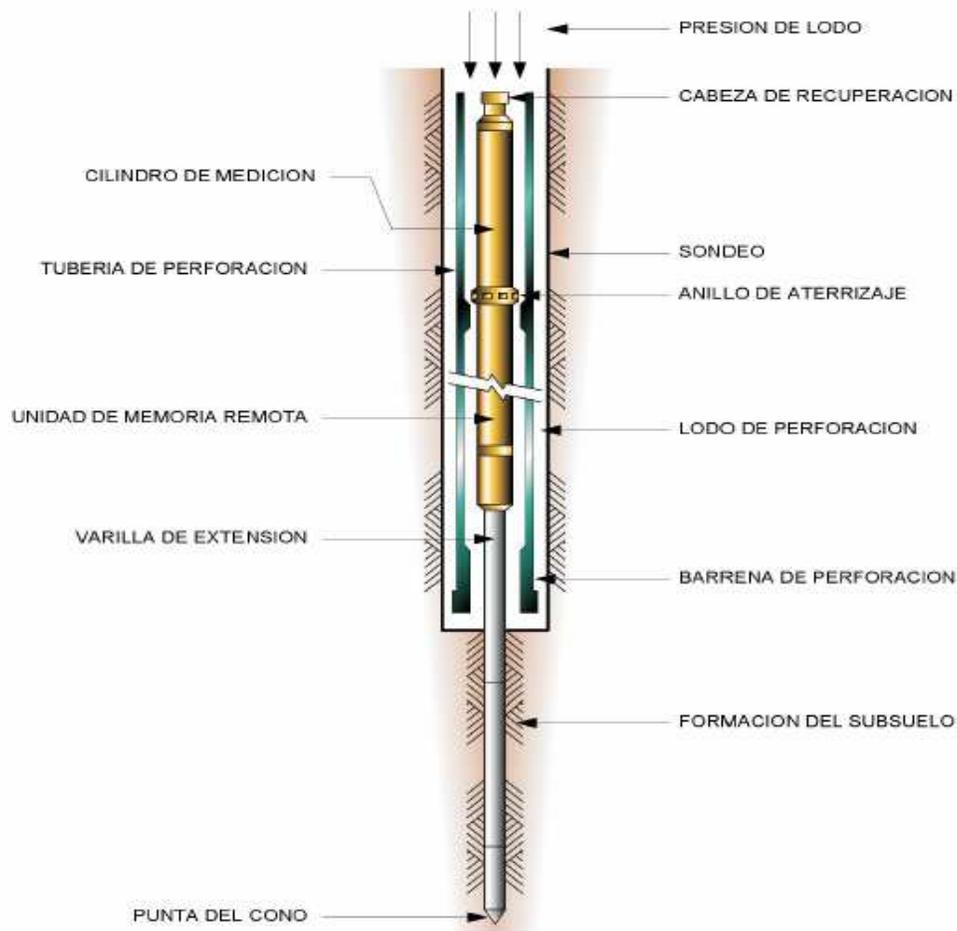


Figura 3 Piezocono Penetrómetro Tipo Dolphin

Pruebas de Veleta Remota In Situ

Las pruebas de veleta remota son realizadas utilizando el sistema de veleta remota tipo Halibut. Estas se realizan para medir la resistencia al esfuerzo cortante in situ de las arcillas normalmente consolidadas a ligeramente sobreconsolidadas en la proximidad inmediata de la localización del sondeo. Estas pruebas no se realizan en:

- a) Capas de Suelo estratigráfico (arcilla y arena /limo intercaladas)**
- b) Arcillas moderadamente a altamente sobreconsolidadas**
- c) Materiales predominantes arenosos a arenosos**

Las pruebas de veleta tampoco se realizan en arcilla dura donde la resistencia al esfuerzo cortante in situ de los suelos excede la capacidad de medir de la veleta. La resistencia al esfuerzo cortante máxima que puede medirse con el instrumento de veleta remota es aproximadamente 300kPa.

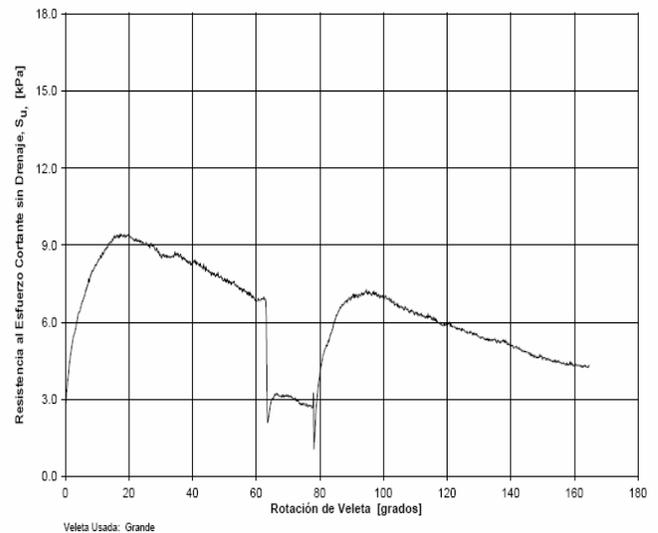
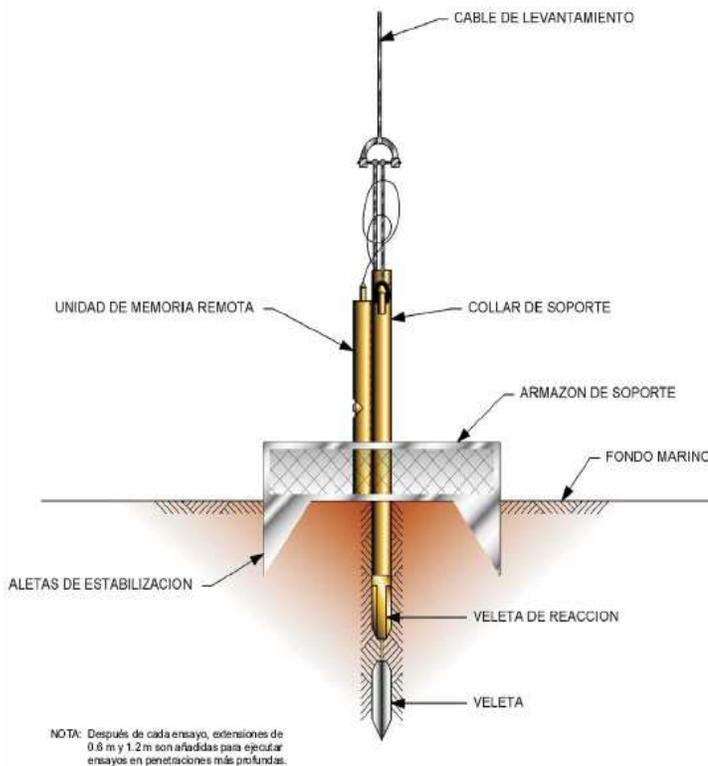
El sistema Halibut se conecta al sistema de veleta remota tipo Dolphin, que es una estructura de armazón y collar de soporte de lastre estabilizante que descansa en el fondo marino.

La veleta esta programada para lograr una penetración fija de bajo de la base cuadrada de 1.5 m por lado de la placa de Halibut, El Halibut, conectado a un cable-guía, es bajado al fondo marino por la popa de la nave, Al ser bajado el Halibut al fondo marino, la veleta penetra a una profundidad predeterminada ocho a diez pesas de plomo de 45 kg cada una se alegran al montaje del Halibut de 455kg para asegurar la penetración total de la veleta.

El registro de datos comienza una vez que la torsión en el aspa de la veleta, accionada por un motor eléctrico, excede el umbral de torsión preprogramado. Los datos son leídos dos veces cada segundo y almacenados temporalmente en la unidad de memoria remota (UMR), de la herramienta Dolphin. La recolección de datos termina automáticamente si la torsión excede 33.9 N-m. El aspa de la veleta gira a una velocidad de aproximadamente 18 grados por minuto. La prueba tiene una duración aproximada de 3 minutos, después de lo cual el Halibut es levantado aproximadamente 9.0 m sobre el fondo marino y reposicionado para realizar una segunda prueba a la misma penetración. Al finalizar la segunda prueba, Halibut es levantado nuevamente a la cubierta de la nave y se conecta la UMR a una computadora para empezar la recolección de datos.

La computadora genera un trazo rápido de las torsiones desarrolladas, la resistencia al esfuerzo cortante sin drenaje son calculadas de las torsiones máximas de las aspas de la veleta y los factores de calibración del transductor. Una vez finalizada la recolección de datos, la UMR se reinicializa y se prepara para recolectar datos para la próxima penetración de prueba. Al mismo tiempo, se le añade una extensión de 0.6 ó 1.2m a la herramienta para bajar a la profundidad de la próxima prueba.

(Ver Figura 4)



RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE VELETA REMOTA TIPO HALIBUT

Profundidad: 0.61 m
 Sonda: AKAL-MA
 Bahía de Campeche, México

Figura 4 Veleta Remota Tipo Halibut

PRUEBAS DE LABORATORIO

Desarrollo de Programa de Pruebas:

El objetivo de estas pruebas es evaluar las propiedades físicas y de resistencia pertinentes de los suelos encontrados en el sondeo.

- ✓ Pruebas de clasificación visual, medición de densidad total, medición del contenido de humedad y pruebas de resistencia incluyendo pruebas de torcómetro, de penetrómetro de bolsillo, de veleta miniatura (VM) y pruebas triaxiales sin consolidación ni drenaje (UU), son realizadas simultáneamente con las operaciones de perforación muestreo y pruebas in situ durante los trabajos de campo y

- ✓ Pruebas estáticas convencionales de laboratorio, incluyendo pruebas de límite de Atterberg, de contenido de carbonatos, análisis granulométricos, gravedad específica, pruebas de consolidación y pruebas adicionales triaxiales UU se realizan en nuestro laboratorio de Houston para complementar los datos de campo.

Pruebas de Clasificación

Los límites plástico y líquido, conjuntamente denominados límites de Atterberg, son medidos para muestras cohesivas seleccionadas con el fin de proporcionar información para su clasificación. Se realizan mediciones del contenido de humedad en todas las muestras incluyendo todas las muestras obtenidas para pruebas triaxiales sin consolidación ni drenaje.

Las densidades totales de las muestras, donde fuera posible, se midieron en el campo pesando muestras de volúmenes conocidos inmediatamente después de su extrusión.

En el campo, todas las muestras son probadas con una solución de ácido clorhídrico diluido (10%) de concentración para obtener una evaluación cualitativa del contenido de carbonatos en las muestras.

En los laboratorios, se escogen muestras para medir solubilidad en ácido clorhídrico usando el peso en las muestras ensayadas. En el método gasométrico, una muestra de 1 a 5 gramos de suelo seco se trata con ácido clorhídrico diluido dentro de un recipiente reactor.

Durante la reacción entre el ácido y la fracción carbonatada de la muestra se produce el gas dióxido de carbono. Para proveer una medida directa del contenido de carbonatos, se utiliza un medidor de presión precalibrado con calcio de carbonatado de calidad reactiva que está conectado al reactor. Las medidas del contenido de carbonatos obtenidas con el método de **gasometrito** han sido tabuladas y también se presentan gráficamente en el registro de sondeo.

Los valores del porcentaje que pasa el tamiz No. 200 se tabulan en el resumen de los resultados de las pruebas y también se presentan gráficamente en el registro de sondeo.

Pruebas Estándares de Resistencia

En las pruebas de laboratorio se usan cuatro procedimientos para medir la resistencia al esfuerzo cortante sin drenaje de suelos cohesivos bajo varias condiciones. Resistencias al esfuerzo cortante de muestras cohesivas inalteradas y residuales se miden en el campo con una veleta miniatura (VM) motorizada mientras las muestras se encuentran todavía en el tubo de muestreo.

Prueba de veleta miniaturas remoldeadas y pruebas triaxiales sin consolidación ni drenaje UU inalteradas y remoldeadas también son realizadas en el campo en muestras escogidas después de su extrusión. Estimaciones de resistencia al esfuerzo cortante también se hacen en el campo usando un aparato Torcómetro y un Penetrómetro de bolsillo. Pruebas adicionales triaxiales sin consolidación ni drenaje y de veleta miniatura (remoldeadas e inalteradas) son realizadas en muestras escogidas en nuestro laboratorio en Houston.

Pruebas de Torcómetro: En la prueba de Torcómetro, un aparato se opera manualmente, y se compone de un disco metálico y veletas radiales delgadas que se proyectan desde la superficie, se presiona contra una superficie plana del suelo hasta que las veletas penetran completamente. El aparato es rotado por medio de un resorte de torsión hasta que el suelo falla en corte. El aparato está calibrado para medir la resistencia al esfuerzo cortante sin drenaje directamente de la rotación del resorte. (Ver *Figura 5*).



Figura 5 Torcómetro

Pruebas de Penetrómetro de Bolsillo: Esta prueba se realiza presionando lentamente una pequeña varilla metálica cilíndrica de punta plana (6.3 mm en diámetro) en la superficie plana de la muestra de suelo a través de un resorte hasta que penetra a una distancia predeterminada. La resistencia a la penetración es registrada por el resorte que ha sido calibrado para proporcionar la resistencia al esfuerzo cortante sin drenaje del suelo basada en la compresión del resorte. (Ver Figura 6)



Figura 6. Penetrómetro de Bolsillo

Pruebas de Veleta Miniatura: Para realizar la prueba de veleta miniatura, una veleta pequeña de cuatro aspas es introducida en una muestra de suelo cohesivo inalterado o remoldeado. Una fuerza de torsión es aplicada a la veleta a través de un resorte calibrado activado por un sistema motorizado de polea y banda, causando la rotación lenta de la veleta hasta que ocurre la falla por corte. La resistencia al esfuerzo cortante del suelo inalterado o remoldeado es calculada de la fuerza de torsión transmitida por el resorte calibrado multiplicando la rotación neta, en grados, por el factor de calibración del resorte. (Ver Figura 7)



Figura 7 Veleta Miniatura

Para ciertas pruebas inalteradas de veleta miniatura, la resistencia al esfuerzo cortante residual de los suelos de arcilla muy blanda a medida permitiendo a la veleta continuar rotando después de ocurrirse la falla por corte inicial. Las pruebas se terminaban cuando la fuerza de torsión aplicada a la veleta a través del resorte calibrado alcanzaba un valor constante. La resistencia al esfuerzo cortante residual, que presenta la resistencia al esfuerzo cortante del suelo a gran deformación, fue calculada multiplicando la rotación neta, en grados, por el factor de calibración del resorte.

Pruebas triaxiales sin Consolidación ni Drenaje: Para este tipo de prueba de resistencia, una muestra inalterada o remoldeada es introducida en una membrana fina de hule y sometida a una presión de confinamiento por lo menos igual a la presión efectiva de sobrecarga calculada. Se utiliza una presión de confinamiento de hasta 830kPa (la presión máxima de la cámara triaxial en el laboratorio) para realizar las pruebas triaxiales UU en muestras de suelos cohesivos. No se permite la consolidación de la muestra bajo la influencia de esta presión antes de la prueba. La muestra es luego sometida a una carga axial hasta el punto de falla a una velocidad de deformación constante sin permitir ningún drenaje. La resistencia al esfuerzo cortante sin drenaje del suelo cohesivo se calcula como la mitad del esfuerzo máximo desviador.

La resistencia al esfuerzo cortante inalteradas y remoldeadas determinadas por este tipo de prueba han sido tabuladas en el Resumen de los Resultados de las Pruebas junto con las presiones de confinamiento, porcentaje de deformación de las pruebas triaxiales sin consolidación ni drenaje (UU) inalterados.

Pruebas de Consolidación

Las pruebas de consolidación por deformación constante (CRS) son realizadas en muestras cohesivas seleccionadas de alta calidad obtenidas de las muestras especialmente conservadas "SALV" (ocasionalmente en muestras extraídas del tubo muestreador) para investigar la historia de esfuerzos de los suelos en la localización del sondeo.

Pruebas de Consolidación por Deformación Constante: Las pruebas de consolidación CRS se realizan de acuerdo con las normas ASTM D4186-89. El espécimen para las pruebas de consolidación es espécimen colocado en el anillo es ubicado en una cámara de presión especialmente fabricada donde la base del espécimen está aislada del fluido de confinamiento (agua) y la superficie del espécimen está en contacto con la piedra porosa.

El montaje del espécimen en la cámara es realizado con la cámara sumergida en agua para evitar que aire quede atrapado en el sistema y que la respuesta de presión de poros se vea afectada durante la carga.

Una vez que la cámara está completamente ensamblada, esta se coloca en un marco de carga donde el espécimen es saturado por contrapresión. Se aplica un esfuerzo de asentamiento de aproximadamente 5kPa para inicializar el indicador de deformación. Posteriormente, el espécimen es deformado hasta alcanzar una deformación axial de 0.2 % y saturado por contrapresión sin permitir que se expanda. La contrapresión aplicada es típicamente alrededor de 480kPa. Después que el espécimen es saturado, se le aplica una carga a una velocidad de deformación constante mientras se registran los datos de presión de poros, deformación axial y fuerza axial. A medida que el espécimen es comprimido durante la aplicación de carga, el fluido de poros sale del espécimen a través de la piedra porosa.

Un transductor de presión es conectado al fondo del espécimen, a través de la cámara, para medir el exceso de presión de poros durante la aplicación de carga. Un programa de computadora registra los datos ya justa la velocidad de carga para mantener una relación de presión de poros entre el 3 y 10%.

Se selecciono un límite de 10% (en lugar del 30% especificado en el ASTM D4186-89) para obtener índices de compresibilidad y coeficientes de velocidad de consolidación mas confiables. El espécimen es cargado hasta el esfuerzo vertical efectivo aplicado es mayor que la carga máxima anterior o carga preconsolidada (σ'_{vm}) del espécimen y ha sido bien definida la porción virgen de la curva de compresión. En ese punto, el espécimen se descarga gradualmente para producir una curva de descarga.

Los resultados de las pruebas de Consolidación se presentan gráficamente el coeficiente de consolidación calculado por cada esfuerzo vertical efectivo promedio entre incrementos. El esfuerzo vertical efectivo máximo anterior o carga de preconsolidación (σ'_{vm}) aplicados al espécimen, son interpretados de la curva de consolidación utilizando el método de Casagrande y el método de Trabajo por Unidad de Volumen.

Calibración y prueba de Equipo:

Se deben entregar a PEP los certificados vigentes de calibración del equipo y maquinaria que requiera de calibración y que se utilicen en los estudios. Los documentos de calibración deben ser emitidos por el fabricante del equipo, el distribuido autorizado o por una casa certificadora acreditada por la "ema" o internacional reconocida por esta.

Desarrollo del trabajo

La profundidad de los sondeos de muestreo debe ser de 120 m (394 pies). Si a esta profundidad no se ha obtenido una capacidad de carga axial en compresión de 4 500 t métricas, tomando como base un pilote de acero de punta abierta de DN 1200 (NPS 48) de diámetro y cumpliendo con lo indicado en el API RP 2A o equivalente, el sondeo debe de continuar hasta los 130 m (427 pies), de profundidad o bien que el contratista proponga una alternativa de cimentación que garantice una capacidad de compresión axial de 4 500 t métricas.

Se deben efectuar pruebas in situ con cono penetrómetro o veleta de campo de acuerdo al tipo de suelo encontrado, en toda la longitud del sondeo, las cuales permitan definir con mayor precisión la estratigrafía del suelo. Adicionalmente, se deben efectuar pruebas de cono sísmico o sonda suspendida con la finalidad de obtener el perfil de velocidad de propagación de las ondas de corte a lo largo de todo el sondeo. Esta información se debe utilizar, en conjunto con las pruebas de laboratorio dinámicas, para definir las propiedades dinámicas del suelo.

Esta prueba de campo se debe efectuar solo en los sondeos indicados por PEP.

Métodos de perforación y muestreo

Para el caso de suelos cohesivos se deben obtener muestras mediante el hincado a presión del tubo shelby utilizando la tubería de perforación como guía para introducir el muestreador. Para los suelos friccionantes, las muestras deben obtenerse por medio del tubo partido u otro técnicamente justificado, el cual debe ser hincado por percusión con un martinete de 79,45 kg (175 lb) de peso y caída de 1,5 m (5 pies) de altura hasta lograr una penetración de 0,60 m (2 pies), o un máximo de 30 golpes.

La utilización de otros procedimientos debe justificarse técnicamente y deben ser aprobados por el representante de PEP.

La obtención de las muestras debe realizarse de la siguiente manera: de 0 a 12 m (0 a 40 pies) de profundidad, a cada 1 m (3 pies); de 12 a 24 m (40 a 80 pies) de profundidad a cada 1,50 m (5 pies); para profundidades mayores a 24 m (80 pies) a cada 3 m (10 pies).

Para la estabilización de la perforación, se debe utilizar fluido de perforación cuyas características físicas y químicas no alteren el estado físico y mecánico del suelo. El contratista debe presentar sus procedimientos para elaboración y control del lodo durante todo el proceso de perforación. Para evitar alterar el estado natural de los suelos blandos, se debe mantener un estricto control sobre los esfuerzos inducidos al suelo bajo la barrena de perforación.

Manejo de muestras: Las muestras deben ser extraídas, empaquetadas, almacenadas y transportadas de acuerdo a la norma ASTM D 4220 o equivalente, cuidando que las condiciones ambientales no las alteren durante su almacenamiento y traslado.

Pruebas de laboratorio a bordo: Se deben realizar las pruebas de laboratorio a bordo indicadas en la (Ver Tabla 2), las cuales deben cumplir con las especificaciones indicadas en dicha tabla.

| Tipo de prueba | Estándar |
|---|--|
| Para el caso de estudios para corre dores y para plataformas | |
| Pruebas Índice y Clasificación | |
| Descripción y clasificación del suelo | SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), ASTM D 2487 o equivalente |
| Limites líquido y plástico | ASTM D 4318 o equivalente |
| Porcentaje que pasa por la malla # 200 por lavado | ASTM D 1140 o equivalente |
| Peso unitario húmedo y seco | BS 1377 o equivalente |
| Contenido de Carbonatos | ASTM D 4373 o equivalente |
| Contenido de humedad | ASTM D 2216 o equivalente |
| Resistencia al corte en arcillas | |
| Torcómetro | BS 1377 o equivalente |
| Veleta Miniatura | ASTM D 4648 o equivalente |
| Para el caso de estudio geotécnico para plataformas | |
| Triaxial no consolidada no drenada | ASTM D 2850 o equivalente |

Tabla 2 Pruebas de Laboratorio

Pruebas en el sitio

Se deben realizar las siguientes pruebas en el sitio:

- a) **Veleta remota.** Esta prueba se debe realizar para la determinación del esfuerzo cortante en suelos cohesivos normalmente consolidados, dicha prueba se debe realizar a partir del lecho marino y hasta donde se alcance una resistencia al corte no drenada de 100 kPa (2 088 lb/pie²) de acuerdo a lo indicado en ASTM D 2573 o equivalente.
- b) **Cono penetrómetro.** Esta prueba se realiza para obtener la resistencia del suelo por fricción, por punta y la presión de poro de suelos friccionantes, dichos resultados se obtienen utilizando el cono penetrómetro de acuerdo a lo indicado en ASTM D 3441 o equivalente. Estas pruebas deben realizarse en forma continua, desde el inicio del sondeo hasta alcanzar los 24 m (80 pies) de profundidad. A partir de los 24 m (80 pies), estas pruebas se deben realizar alternadas con los intervalos de muestreo, indicados en los Métodos de Perforación y muestreo, en forma continua hasta obtener la profundidad final del sondeo.
- c) **Cono Sísmico.** Se deben efectuar pruebas de cono sísmico o sonda suspendida con la finalidad de obtener el perfil de velocidad de propagación de las ondas de corte a lo largo de todo el sondeo. Esta prueba de campo se debe efectuar solo en los sondeos indicados por PEP.
- d) **Temperatura del agua y velocidades de corriente.** Adicionalmente se debe medir la temperatura del agua a lo largo de todo el tirante y las velocidades de corriente (magnitud y dirección) próximas al lecho marino. Las mediciones se deben realizar de forma continua durante todo el tiempo que duren los levantamientos geotécnicos.

Los resultados de las pruebas descritas anteriormente, se deben incluir en un registro de campo, indicando además: profundidad de prueba, localización con coordenadas y tirante de agua; dicho registro se anexa al informe técnico de campo.

Pruebas de laboratorio en tierra

Se deben realizar en tierra, las pruebas de laboratorio indicadas en la Tabla 3, las cuales deben cumplir con las especificaciones indicadas en dicha tabla.

Las muestras obtenidas deben almacenarse en un cuarto húmedo en el laboratorio en tierra, debiéndose proceder a la ejecución de las pruebas a más tardar 5 días después de terminados los trabajos de campo para cada sitio.

Durante la realización de las pruebas de corte simple directo y compresión triaxial rápida, se deben registrar la curva esfuerzo-deformación y la trayectoria de los esfuerzos hasta después de la falla.

Para las localizaciones en las cuales se haya determinado el perfil de velocidades de propagación de las ondas de corte in situ, se deben determinar las propiedades dinámicas en al menos dos muestras de suelo representativas de la estratigrafía del sitio. Para las localizaciones donde no se haya determinado el perfil de velocidades de propagación de la onda de corte in situ, se deben escoger al menos seis muestras para determinar las propiedades dinámicas del suelo.

En todos los casos deben determinarse las propiedades dinámicas en toda la profundidad explorada. A las muestras seleccionadas, previamente radiografiadas con rayos x, se les deben realizar las pruebas dinámicas, cubriendo un rango de deformaciones de 0,0001 a 1 % mínimo en cada muestra, entendiéndose este rango de deformación como una sola prueba dinámica, independiente del número de equipos o pruebas que deban realizarse para satisfacer este requisito. Se deben realizar las pruebas dinámicas indicadas en la Tabla 3.

Si durante el desarrollo de las pruebas se requiere de pruebas adicionales, éstas deben ser aprobadas por el representante de PEP y se deben indicar en el informe técnico, así como sus objetivos y los resultados obtenidos. En el informe debe indicarse el criterio seguido para la definición de los parámetros requeridos.

Elaboración de informe técnico

El contratista debe entregar los informes técnicos de campo, preliminares y finales, de los levantamientos geotécnicos.

Informe técnico de campo

El contratista debe entregar al representante de PEP a bordo un informe técnico de campo, conteniendo:

- a) Descripción de actividades.
- b) Localización definitiva del sondeo en coordenadas UTM y geográficas.
- c) Copia de los registros de las pruebas en sitio y en laboratorio a bordo.
- d) Perfil estratigráfico.

Informe técnico preliminar

El contratista debe entregar un informe preliminar de los trabajos de campo. Dicho informe debe incluir:

- a) Registro de las pruebas de campo
- b) Curvas de capacidad de carga a tensión y compresión obtenidas a través de las pruebas de campo para los diámetros de pilote indicados en el Anexo C de esta norma de referencia.
- c) Datos de diseño preliminar
- d) Estratigrafía
- e) Resultados de las pruebas realizadas a bordo
- f) Resultados de las pruebas de campo
- g) Curvas de capacidad de carga en pilotes para sismo y tormenta
- h) Curvas de resistencia del suelo-deformación lateral del pilote (P-Y) por oleaje y tormenta
- i) Capacidad de carga del lecho marino
- j) Programa de pruebas de laboratorio en tierra aprobado por el representante de PEP a bordo. (*Ver Tabla 3*)

| Tipo de prueba | Estándar |
|---|--|
| Pruebas Índice y de Clasificación | |
| Descripción y clasificación del suelo | SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), ASM D2487 o equivalente |
| Límites líquido y plástico | ASTM D 4318 o equivalente |
| Porcentaje que pasa por la malla # 200 por lavado | ASTM D 1140 o equivalente |
| Hidrómetro | ASTM D 422 o equivalente |
| Peso unitario húmedo y seco | BS 1377 o equivalente |
| Contenido de carbonatos | ASTM D 4373 o equivalente |
| Contenido de humedad | ASTM D 2216 o equivalente |
| Densidad relativa de los sólidos | ASTM D 854 o equivalente |
| Distribución granulométrica para suelos gruesos | ASTM D 422 o equivalente |
| Fotografías con rayos x únicamente a tubos shelby, conteniendo las muestras para las pruebas. | |
| Pruebas Mecánicas | |
| Corte Simple directo | ASTM D 3080 o equivalente |
| Compresión Triaxial Rápida | ASTM D 2850 o equivalente |
| Prueba de Consolidación | ASTM D 2435 o equivalente |
| Pruebas Dinámicas | |
| Columna resonante | ASTM D 4015 o equivalente |
| Corte Simple cíclico (con deformación controlada) | ASTM D 6528 o equivalente |
| Corte Simple cíclico (con esfuerzo controlado) | ASTM D 6528 o equivalente |

Tabla 3 Pruebas de Laboratorio en tierra

Informe técnico final

Se deben entregar 4 originales, 3 en español y 1 en inglés. El informe final contendrá un panorama general del levantamiento realizado, explicando la metodología de la recuperación de las muestras y ejecución de pruebas de campo y laboratorio; así como recomendaciones para el diseño final, incluyendo la estratigrafía y pruebas de campo. El informe además debe incluir la siguiente información:

1) Introducción. Se debe hacer una descripción de los antecedentes, objetivos y alcances del estudio.

2) Metodología y equipo. Se deben describir los métodos y equipos utilizados en las diferentes fases de los estudios.

3) Interpretación de resultados. Se debe mencionar y describir los resultados del análisis de todas las muestras y registros obtenidos en campo y laboratorio.

4) Planos. Plano original del área mostrando la localización definitiva de los sondeos efectuados en coordenadas UTM y geográficas.

5) Información. Se debe incluir la información indicada en el Anexo C de esta norma de referencia.

6) Conclusiones y recomendaciones. Se deben establecer las conclusiones de los estudios y las recomendaciones de los aspectos más importantes. Se deben incluir recomendaciones concretas acerca de los siguientes aspectos:

- a) Longitud de penetración que deben alcanzar los pilotes para las cargas, sismo y tormenta indicados en la presente norma de referencia.
- b) Medidas preventivas para el diseño de los pilotes en caso de encontrarse suelos susceptibles a licuefacción.
- c) Recomendaciones para el cálculo de las curvas de resistencia del suelo al hincado (SRD) y para consideraciones del congelamiento del suelo durante interrupciones del hincado de los pilotes, tomando en cuenta la sensibilidad del suelo.
- d) Se deben emitir recomendaciones para el hincado de los pilotes, indicando tipo y peso del martinete, nivel de rechazo y sistemas de ayuda para hacer penetrar el pilote a la profundidad requerida.
- e) Recomendaciones pertinentes para proteger la estructura con respecto al potencial de socavación evaluado.
- f) Recomendaciones para el diseño de placas base, considerando placas, triangulares y rectangulares.
- g) Recomendaciones finales, proporcionando tipos de cimentación con sus ventajas y desventajas.

Adicionalmente se deben incluir todos y cada uno de los requerimientos, documentación e información solicitados en la presente norma de referencia, las gráficas de las pruebas de laboratorio y los registros originales del equipo electrónico y de muestreo.

Anexo C Información para estudios geotécnicos**I. Datos generales**

- a) Nombres de la compañía responsable y embarcación utilizada.
- b) Nombre del estudio de acuerdo a PEMEX.
- c) Localización del sitio en coordenadas UTM y geográficas.
- d) Fecha y hora en que se realice el estudio.
- e) Tirante de agua corregido por marea en la hora y sitio indicado.
- f) Objetivo del estudio.

II. Datos de muestreo

- a) Tiempos utilizados durante todo el desarrollo del estudio.
- b) Profundidad del sondeo a partir del fondo marino.
- c) Frecuencia de muestreo y el intervalo de profundidades para frecuencia de muestreo.
- d) Métodos de muestreo utilizado.
- e) Diámetros de muestreador utilizados.

III. Parámetros de diseño

Se deben proporcionar gráficas de capacidad de carga última y de diseño a tensión y compresión para los siguientes diámetros de pilotes, así como las resistencias unitarias:

- D1 = 914 mm (36 pulg.)
- D2 = 1067 mm (42 pulg.)
- D3 = 1219 mm (48 pulg.)
- D4 = 1372 mm (54 pulg.)
- D5 = 1524 mm (60 pulg.)
- D6 = 1676 mm (66 pulg.)
- D7 = 1829 mm (72 pulg.)

Adicionalmente se debe proporcionar la siguiente información:

- a) Tirante de agua describiendo los métodos utilizados y corregido por variación de mareas.
- b) Capacidad de carga para el diseño de las placas de apoyo temporal de la subestructura para 0,3 m (1 pie), 0,6 m (2 pies), 0,9 m (3 pies) y 1,2 m (4 pies) de penetración en el lecho marino.

- c) Gráficas de estratigrafía mostrando los parámetros obtenidos en las pruebas de campo y laboratorio de cada una de las muestras recuperadas.
- d) Gráficas de variación de resistencia al corte contra la profundidad determinada de las diferentes pruebas.
- e) Gráficas del perfil de velocidades de onda de cortante obtenidas en laboratorio e in situ (cuando se realice sonda suspendida o cono sísmico).
- f) Gráficas de sensibilidad de los suelos con respecto a la profundidad del sondeo y su variación con respecto al tiempo.
- g) Gráficas de variación con respecto al módulo de rigidez al corte (G) contra la deformación angular unitaria, en cada una de las profundidades ensayadas.
- h) Gráficas de variación del módulo de rigidez al corte (G) y el amortiguamiento con el número de ciclos.
- i) Gráficas esfuerzo-deformación y trayectoria de esfuerzos en ensayos dinámicos.
- j) Gráficas de variación de la relación de esfuerzo cíclico y esfuerzo vertical efectivo con el número de ciclos.
- k) Gráficas del período natural de vibración y porcentaje de amortiguamiento para cada estrato.
- l) Gráficas del número de esfuerzos desviadores cíclicos (DC) que provocan la falla del espécimen de suelo contra la deformación angular.
- m) Potencial de licuefacción de los estratos granulares.
- n) Curvas resistencia-deformación lateral del pilote (curvas P-Y) para oleaje de operación y tormenta, hasta una profundidad que permita simular la interacción lateral suelo-estructura.
- o) Curvas resistencia-deformación lateral del pilote (curvas P-Y) para sismo, hasta una profundidad que permita simular la interacción lateral suelo-estructura.

- p) Curvas resistencia-desplazamiento axial del pilote (curvas T-Z) para oleaje y sismo.
- q) Valores de los parámetros del suelo que intervienen en el cálculo de las curvas P-Y, módulo de deformación inicial de las arenas y deformación del 50% de las arcillas con la carga máxima.
- r) Magnitud y dirección de las velocidades de corrientes en el lecho marino.
- s) Temperaturas y cambio de temperatura medidas en el agua al nivel del lecho marino.
- t) Para los suelos calcáreos, se debe describir el criterio utilizado para la determinación de los parámetros de diseño. Dicho criterio debe estar avalado por pruebas de campo y laboratorio.
- u) Las pruebas dinámicas deben de cubrir el rango de deformación producida por una tormenta con período de ola de 16 segundos, indicando el valor de la deformación utilizada y el incremento de resistencia al corte.
- v) Espectros de respuesta sísmica de sitio y espectros de diseño sísmico. Para todas las gráficas de resultados de parámetros obtenidos de campo y laboratorio, se debe dibujar el perfil mejor estimado, con la finalidad de uniformizar resultados.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN GEOTÉCNICA

Para el análisis necesitamos la ubicación del Área de Estudio donde se esta trabajando. (Ver figura 1 y 2)



Fig.1 Area de Estudio en la Sonda de Campeche

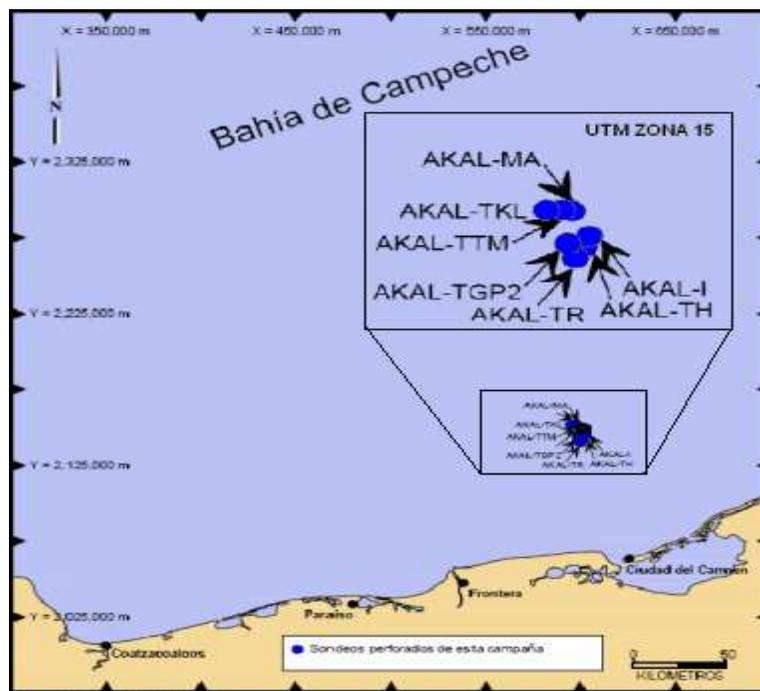


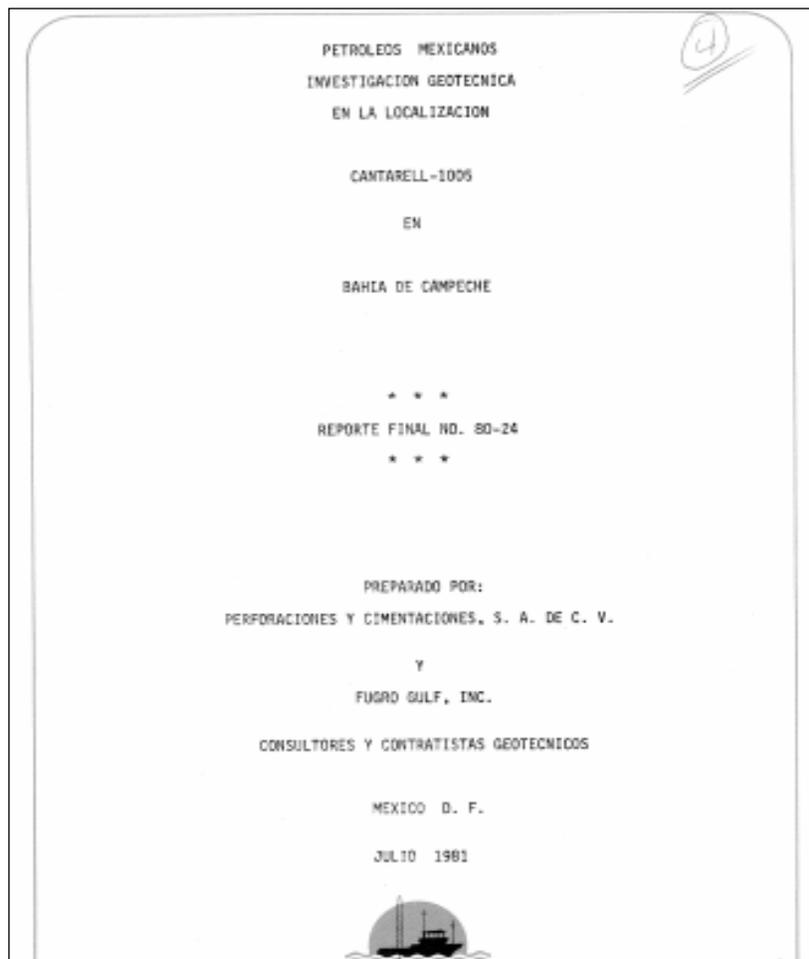
Fig.2 Ubicación exacta de los estudios analizados

Para el fin de este análisis se necesita un programa donde su objetivo es representar el comportamiento conjunto suelo-estructura en sus efectos predominantes, es alimentado por un conjunto de sollicitaciones externas, obteniéndose una respuesta de salida formada por los esfuerzos y deformaciones en cada miembro de la estructura y de los pilotes.

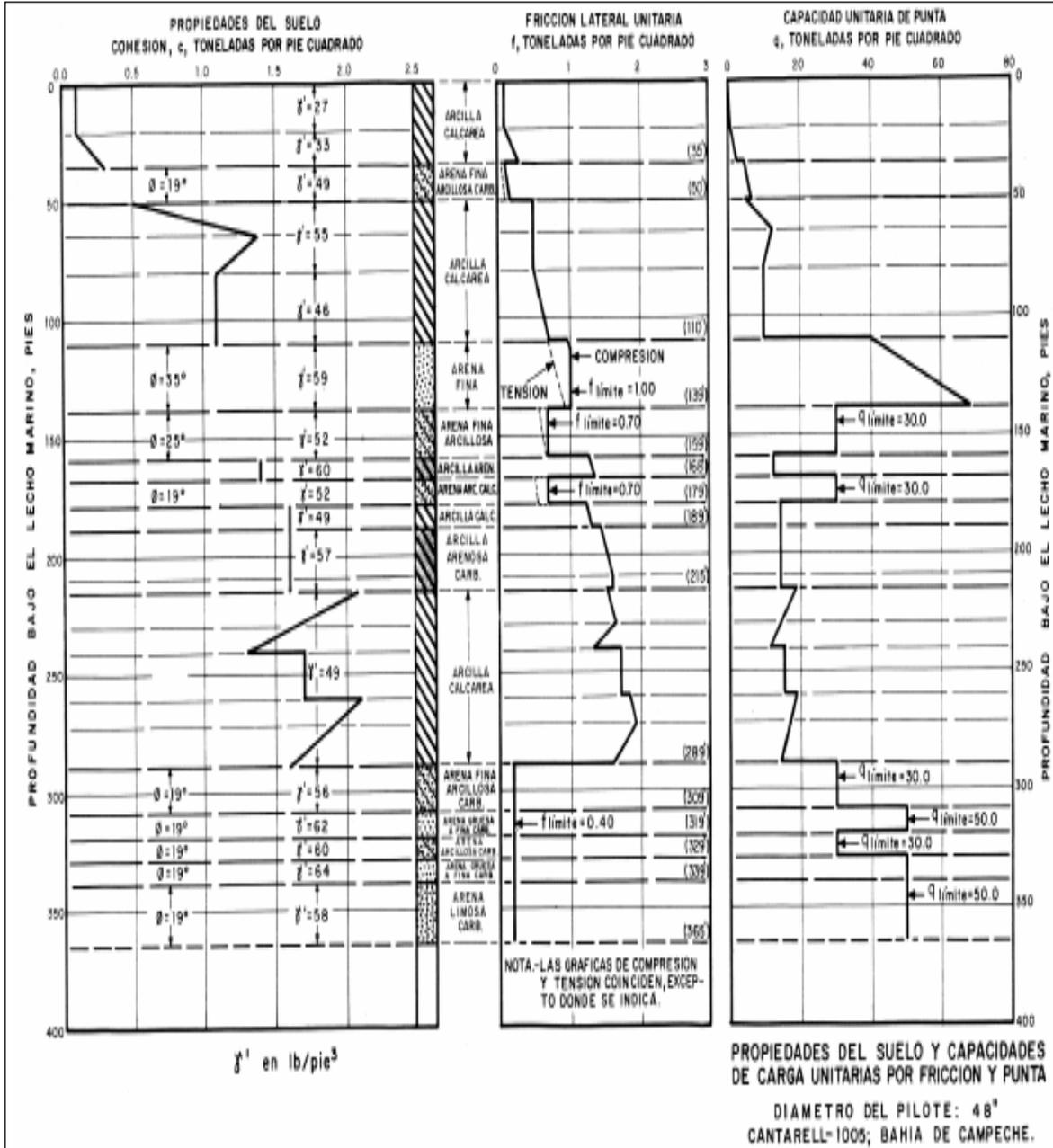
Para este análisis se necesita obtener los parámetros de los estudios, se tuvo que sacar la siguiente información de los estudios 80's y 90's.

PARA ESTUDIOS ANTES DE LOS 90's:

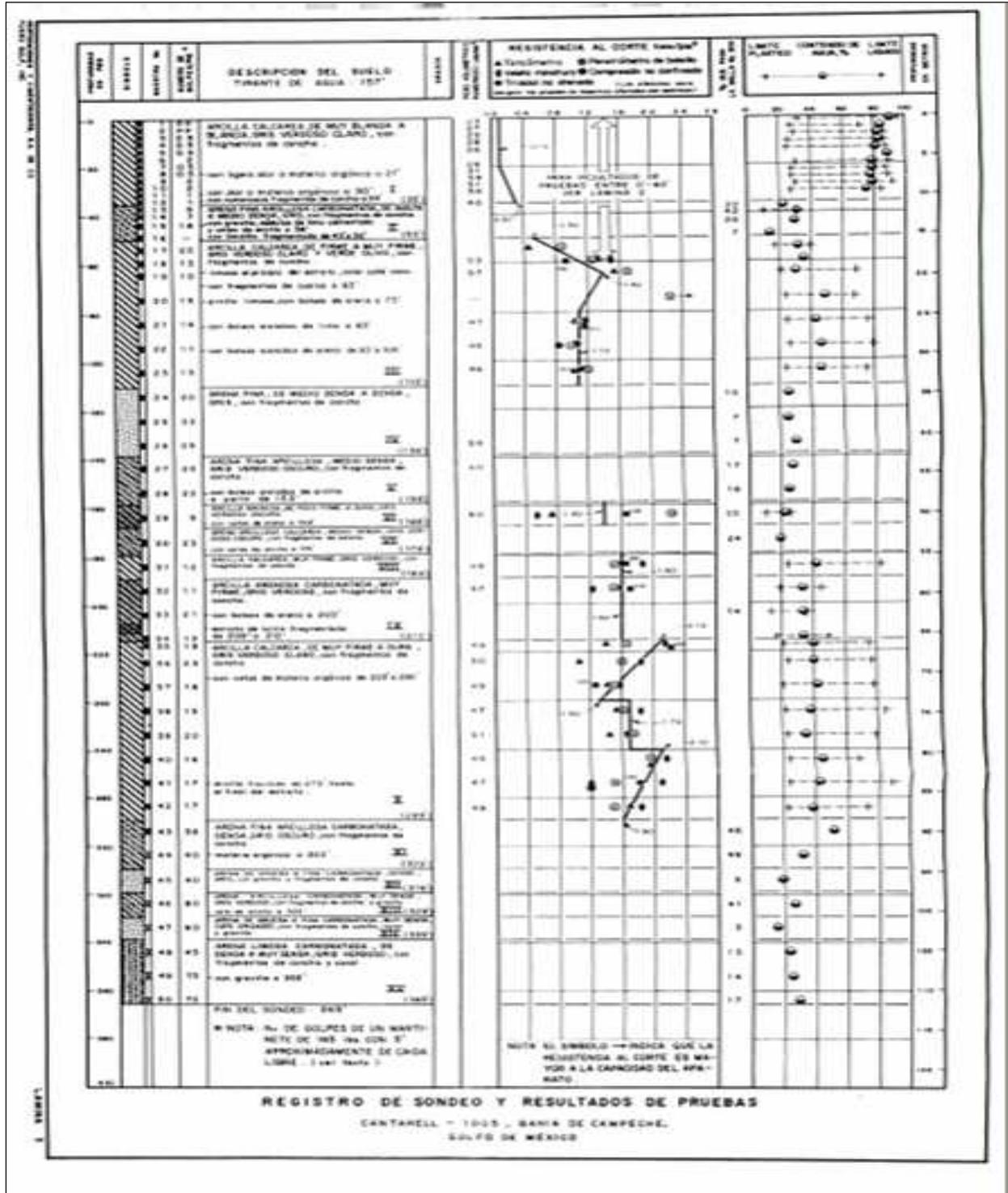
1. ESTUDIO GEOTECNICO



2. PESO VOLUMETRICO (LB/PIE 3) Y PERFIL DE RESISTENCIA AL CORTE (TON POR PIE CUADRADO).



3. REGISTRO DE SONDEO Y RESULTADOS DE PRUEBAS (PERFIL ESTRATIGRAFICO).



4. PORCENTAJE DE CARBONATOS EN CADA ESTRATO DE SUELO.

| NUMERO DE MUESTRA. | PROFUNDIDAD EN PIES. | PORCENTAJE DE CARBONATO. |
|--------------------|----------------------|--------------------------|
| 3B | 8.0 | 32 |
| 5B | 14.0 | 30 |
| 8B | 23.0 | 29 |
| 11B | 32.0 | 29 |
| 13A | 37.0 | 83 |
| 14A | 40.5 | 84 |
| 15A | 43.5 | 83 |
| 16A | 48.0 | 90 |
| 17A | 53.0 | 68 |
| 18B | 58.5 | 34 |
| 20A | 73.0 | 16 |
| 21B | 84.5 | 37 |
| 23B | 104.5 | 27 |
| 24A | 113.5 | 12 |
| 25A | 123.5 | 2 |
| 26A | 133.5 | 17 |
| 27A | 143.5 | 13 |
| 28A | 153.5 | 13 |

| NUMERO DE MUESTRA. | PROFUNDIDAD EN PIES. | PORCENTAJE DE CARBONATO. |
|--------------------|----------------------|--------------------------|
| 29B | 164.0 | 14 |
| 29C | 165.0 | 16 |
| 30A | 173.5 | 30 |
| 31B | 184.0 | 30 |
| 32B | 195.0 | 52 |
| 33A | 203.5 | 47 |
| 34A | 214.0 | 54 |
| 35B | 217.0 | 34 |
| 37B | 234.0 | 35 |
| 39B | 254.0 | 42 |
| 41B | 274.0 | 25 |
| 43A | 293.5 | 35 |
| 44A | 303.5 | 85 |
| 45A | 313.5 | 88 |
| 46A | 323.5 | 59 |
| 47A | 333.5 | 84 |
| 48A | 343.5 | 55 |
| 49A | 353.5 | 74 |
| 50A | 363.5 | 58 |

RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE CONTENIDO DE CARBONATO
CANTARELL - 1005 - BAHIA DE CAMPECHE,
GOLFO DE MEXICO

RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE CONTENIDO DE CARBONATO
CANTARELL - 1005 - BAHIA DE CAMPECHE,
GOLFO DE MEXICO

5. NORMATIVIDAD PARA ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

- ✓ Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms Working Stress Design. **API RECOMMENDED PRACTICE 2A-WSD (RP 2A-WSD) TWENTIETH EDITION, JULY 1, 1993.** (Ver Tabla 1)

Tabla 1. Diseño de Parámetros de Suelos Cohesivos Silíceos.

| Densidad | Descripción del Suelo | Angulo de Fricción Suelo-Pilote δ (grados) | Valores Limitantes de Fricción Unitaria kips/ft ² (kPa) | N' _q | Valores Limitantes de Resistencia Unitaria de Punta kips/ft ² (MPa) |
|--|-------------------------------|---|--|-----------------|--|
| Muy Suelta Suelta Media | Arena Arena-Limo** Limo | 15 | 1.0 (47.8) | 8 | 40 (1.9) |
| Suelta Media Compacta | Arena Arena-Limo** Limo | 20 | 1.4 (67.0) | 12 | 60 (2.9) |
| Media Compacta | Arena Arena-Limo** | 25 | 1.7 (81.3) | 20 | 100 (4.8) |
| Compacta Muy Compacta | Arena Arena-Limo** | 30 | 2.0 (95.7) | 40 | 200 (9.6) |
| Compacta Muy Compacta | Grava Arena | 35 | 2.4 (114.8) | 50 | 250 (12.0) |

*Los parámetros enumerados en esta tabla están concebidos como directrices solamente. , donde la información detallada, como en la prueba de cono in situ, pruebas de resistencia en las muestras de alta calidad, testa modelo, capacidad de conducción o la pila está disponible, otros valores pueden estar justificados.

**Arena, limo incluye los suelos con fracciones importantes de los dos sedimentos de arena valores de resistencia que generalmente aumentan con fracciones de arena en aumento y disminución de las fracciones limo en aumento.

- ✓ **PCPT-BASED METHOD FOR SELECTING UPGRADED PILE FOUNDATION DESIGN PARAMETERS IN CARBONATE SOILS.** By Shawn Johnson, Jean M. E. Audibert and Robert F. Stevens.

Cuando un suelo se determina que es la naturaleza de carbonatos, el enfoque difiere notablemente, basado en el procedimiento estándares de carbonato de parámetros de suelo de valores de fricción en el estrato que es de 0.17 ksf a 0.35 ksf. Determina el valor de fricción del suelo, el parámetro asignado a un determinado suelo.

La siguiente tabla resume el f_{\max} . Estándar valores asignados a los suelos silíceos y carbonato de análisis para Ingenieros.

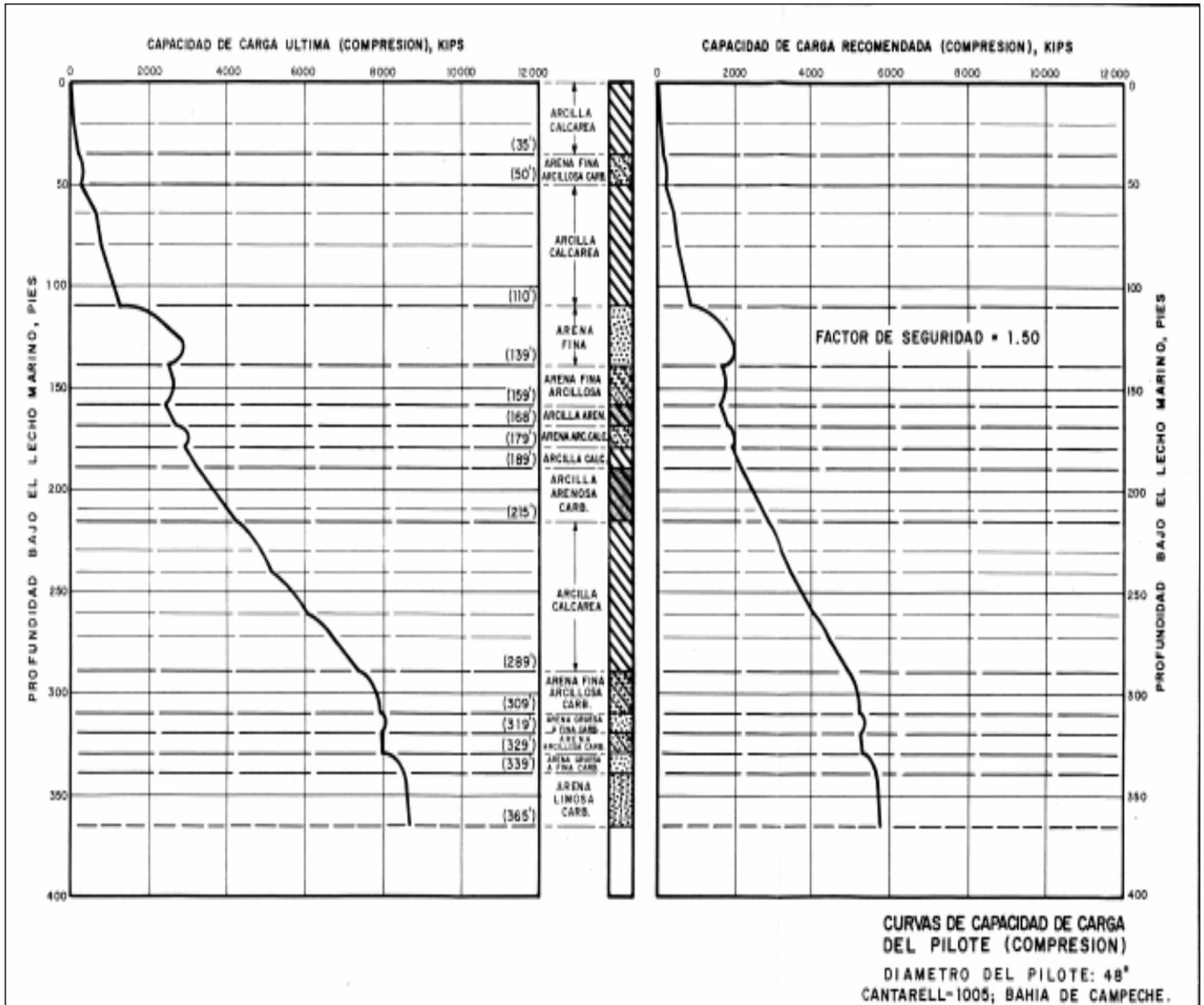
| Carbonate Content, [%] | Limit Unit Skin Friction, f_{\max} , [ksf] |
|------------------------------|--|
| Siliceous, < 50 | 1.0 – 2.4 |
| Siliceous Carbonate, 50 – 90 | 0.35 |
| Carbonate, 90 – 100 | 0.17 |

Los valores correspondientes para limitar teniendo la unidad final en las arenas de carbonato generalmente oscilan entre 40ksf y 100ksf.

Mientras que el valor límite inferior es el mismo que su valor silíceo correspondiente, el valor límite superior representa una reducción del 60% en la limitación de rodamiento en la unidad final. La Q_{\max} . Son valores estándares utilizados actualmente para suelos granulares silíceas y carbonatadas se muestran en la siguiente tabla:

| Carbonate Content, [%] | Limit Unit End Bearing, q_{\max} , [ksf] |
|------------------------------|--|
| Siliceous, < 50 | 40 – 250 |
| Siliceous Carbonate, 50 – 90 | 40 – 100 |
| Carbonate, 90 – 100 | 40 |

6. CURVA DE CAPACIDAD DE CARGA AXIAL ULTIMA (KIPS).



PARA ESTUDIOS DE LOS 90°s:

1. ESTUDIO GEOTÉCNICO



2. TABLA DE PARAMETROS DE RESISTENCIA DEL SUELO Y VALORES DEL PESO VOLUMETRICO SUMERGIDO.



Tabla de Parámetros de Resistencia del Suelo y
Valores del Peso Volumétrico Sumergido

Sondeo: AKAL-MA
Bahía de Campeche, México

| Estrato | Capa | Descripción | Profundidad | γ' | S_u | Phi | Delta | Nq | fmax | Qmax | Kc | Kt |
|---------|------|-------------|-------------|----------------------|--------|-----|------------|------|-------|-------|-----|-----|
| | | | [m] | [kN/m ³] | [kPa] | | | | | | | |
| I | 1 | Arcilla | 0.00 | 4.40 | 5.30 | | | | | | | |
| | | | 8.84 | 5.66 | 13.40 | | | | | | | |
| II | 2 | Arena Carb. | 8.84 | 7.85 | | 25 | Ver Nota 1 | 8 | 16.8 | 1915 | 0.5 | 0.5 |
| | | | 10.67 | 9.43 | | 25 | Ver Nota 1 | 8 | 16.8 | 1915 | 0.5 | 0.5 |
| | 3 | Arena Carb. | 10.67 | 9.43 | | 35 | Ver Nota 1 | 12 | 16.8 | 2873 | 0.5 | 0.5 |
| | | | 14.94 | 9.43 | | 35 | Ver Nota 1 | 12 | 16.8 | 2873 | 0.5 | 0.5 |
| III | 4 | Arcilla | 14.94 | 9.43 | 129.30 | | | | | | | |
| | | | 22.66 | 7.54 | 143.60 | | | | | | | |
| | 5 | Arcilla | 22.66 | 7.54 | 81.40 | | | | | | | |
| IV | 6 | Arena | 30.48 | 9.43 | | 40 | 35 | 50 | 114.9 | 11970 | 0.8 | 0.8 |
| | | | 47.55 | 9.43 | | 40 | 35 | 50 | 114.9 | 11970 | 0.8 | 0.8 |
| V | 7 | Arcilla | 47.55 | 8.91 | 134.10 | | | | | | | |
| | | | 59.44 | 8.01 | 134.10 | | | | | | | |
| VI | 8 | Arena Carb. | 59.44 | 9.43 | | 35 | Ver Nota 1 | 20 | 16.8 | 4788 | 0.5 | 0.5 |
| | | | 64.01 | 9.43 | | 35 | Ver Nota 1 | 20 | 16.8 | 4788 | 0.5 | 0.5 |
| VII | 9 | Arcilla | 64.01 | 8.01 | 148.40 | | | | | | | |
| | | | 86.67 | 8.91 | 191.50 | | | | | | | |
| VIII | 10 | Arena Carb. | 86.67 | 9.43 | | 30 | Ver Nota 1 | 12 | 16.8 | 4788 | 0.5 | 0.5 |
| | | | 92.35 | 9.43 | | 30 | Ver Nota 1 | 12 | 16.8 | 4788 | 0.5 | 0.5 |
| | 11 | Arena Carb. | 92.35 | 10.21 | | 40 | Ver Nota 1 | 40 | 81.4 | 7182 | 0.5 | 0.5 |
| | | | 106.38 | 10.21 | | 40 | Ver Nota 1 | 40 | 81.4 | 7182 | 0.5 | 0.5 |
| | 12 | Arena | 106.38 | 9.43 | | 30 | 25 | 20 | 81.4 | 4788 | 0.8 | 0.8 |
| 111.86 | | | 9.43 | | 30 | 25 | 20 | 81.4 | 4788 | 0.8 | 0.8 | |
| IX | 13 | Arcilla | 111.86 | 7.85 | 258.60 | | | | | | | |
| | | | 122.83 | 7.85 | 268.10 | | | | | | | |

Nota 1: Para suelos granulares carbonatados, $k_{tan5} = 0.14$.

Figura 1

3. PORCENTAJE DE CARBONATOS

| Contenido de Carbonatos | | |
|-------------------------|-----------------|---------------------|
| Número de Muestra | Profundidad [m] | Porcentaje por Peso |
| 6 | 1.52 | 23 |
| 9 | 3.35 | 21 |
| 17 | 6.10 | 21 |
| 24 | 7.92 | 24 |
| 30 | 9.45 | 67 |
| 31 | 10.21 | 61 |
| 35 | 10.82 | 78 |
| 36 | 11.03 | 88 |
| 41 | 12.25 | 92 |
| 44 | 13.72 | 95 |
| 49 | 16.15 | 23 |
| 54 | 18.59 | 20 |
| 62 | 21.64 | 21 |
| 72 | 24.69 | 22 |
| 82 | 32.10 | 22 |
| 86 | 32.86 | 9 |
| 87 | 36.12 | 6 |
| 88 | 39.78 | 7 |
| 91 | 43.59 | 6 |
| 95 | 47.55 | 15 |

RESUMEN DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CONTENIDO DE CARBONATOS (Método Gasométrico, ASTM D-4373)
Sondeo: AKAL-MA
Bahía de Campeche, México

| Contenido de Carbonatos | | |
|-------------------------|-----------------|---------------------|
| Número de Muestra | Profundidad [m] | Porcentaje por Peso |
| 97 | 51.21 | 24 |
| 104 | 55.78 | 26 |
| 105 | 59.44 | 18 |
| 109 | 60.05 | 73 |
| 111 | 63.28 | 74 |
| 116 | 67.97 | 19 |
| 122 | 75.29 | 18 |
| 130 | 83.21 | 19 |
| 135 | 90.13 | 91 |
| 136 | 90.68 | 85 |
| 138 | 91.04 | 90 |
| 140 | 94.70 | 61 |
| 141 | 98.27 | 60 |
| 142 | 98.88 | 78 |
| 144 | 102.29 | 72 |
| 145 | 105.89 | 80 |
| 148 | 109.89 | 26 |
| 150 | 115.21 | 23 |
| 155 | 119.48 | 17 |
| 157 | 122.83 | 13 |

RESUMEN DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CONTENIDO DE CARBONATOS (Método Gasométrico, ASTM D-4373)
Sondeo: AKAL-MA
Bahía de Campeche, México

Tabla de Contenido de Carbonatos

4. NORMATIVIDAD PARA ESTOS ESTUDIOS

- ✓ Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms Working Stress Design. **API RECOMMENDED PRACTICE 2A-WSD (RP 2A-WSD) 2007** (Ver Tabla 1).

| Relative Density ² | Soil Description | Shaft Friction Factor ³ (-) | Limiting Shaft Friction Values kips/ft ² (kPa) | End Bearing Factor N_q (-) | Limiting Unit End Bearing Values kips/ft ² (MPa) |
|-------------------------------|------------------------|---|--|---------------------------------|---|
| Very Loose | Sand | Not Applicable ⁵ | Not Applicable ⁵ | Not Applicable ⁵ | Not Applicable ⁵ |
| Loose | Sand | | | | |
| Loose | Sand-Silt ⁴ | | | | |
| Medium Dense | Silt | | | | |
| Dense | Silt | | | | |
| Medium Dense | Sand-Silt ⁴ | 0.29 | 1.4 (67) | 12 | 60 (3) |
| Medium Dense | Sand | 0.37 | 1.7 (81) | 20 | 100 (5) |
| Dense | Sand-Silt ⁴ | | | | |
| Dense | Sand | 0.46 | 2.0 (96) | 40 | 200 (10) |
| Very Dense | Sand-Silt ⁴ | | | | |
| Very Dense | Sand | 0.56 | 2.4 (115) | 50 | 250 (12) |

¹ The parameters listed in this table are intended as guidelines only. Where detailed information such as CPT records, strength tests on high quality samples, model tests, or pile driving performance is available, other values may be justified.

² The following definitions for relative density description are applicable:

| Description | Relative Density [%] |
|--------------|----------------------|
| Very Loose | 0 – 15 |
| Loose | 15 – 35 |
| Medium Dense | 35 – 65 |
| Dense | 65 – 85 |
| Very Dense | 85 – 100 |

³ The shaft friction factor β (equivalent to the “K tan δ ” term used in previous editions of API RP 2A-WSD) is introduced in this edition to avoid confusion with the δ parameter used in the Commentary.

⁴ Sand-Silt includes those soils with significant fractions of both sand and silt. Strength values generally increase with increasing sand fractions and decrease with increasing silt fractions.

⁵ Design parameters given in previous editions of API RP 2A-WSD for these soil/relative density combinations may be unconservative. Hence it is recommended to use CPT-based methods from the Commentary for these soils.

Tabla 1. Diseño de Parámetros de Suelos Cohesivos Silíceos

- ✓ **PCPT-BASED METHOD FOR SELECTING UPGRADED PILE FOUNDATION DESIGN PARAMETERS IN CARBONATE SOILS.** By Shawn Johnson, Jean M. E. Audibert and Robert F. Stevens.

Cuando un suelo se determina que es la naturaleza de carbonatos, el enfoque difiere notablemente, basado en el procedimiento estándares de carbonato de parámetros de suelo de valores de fricción en el estrato que es de 0.17 ksf a 0.35 ksf. Determina el valor de fricción del suelo, el parámetro asignado a un determinado suelo.

La siguiente tabla resume el $f_{m\acute{a}x}$. estándar valores asignados a los suelos silíceos y carbonato de análisis para Ingenieros.

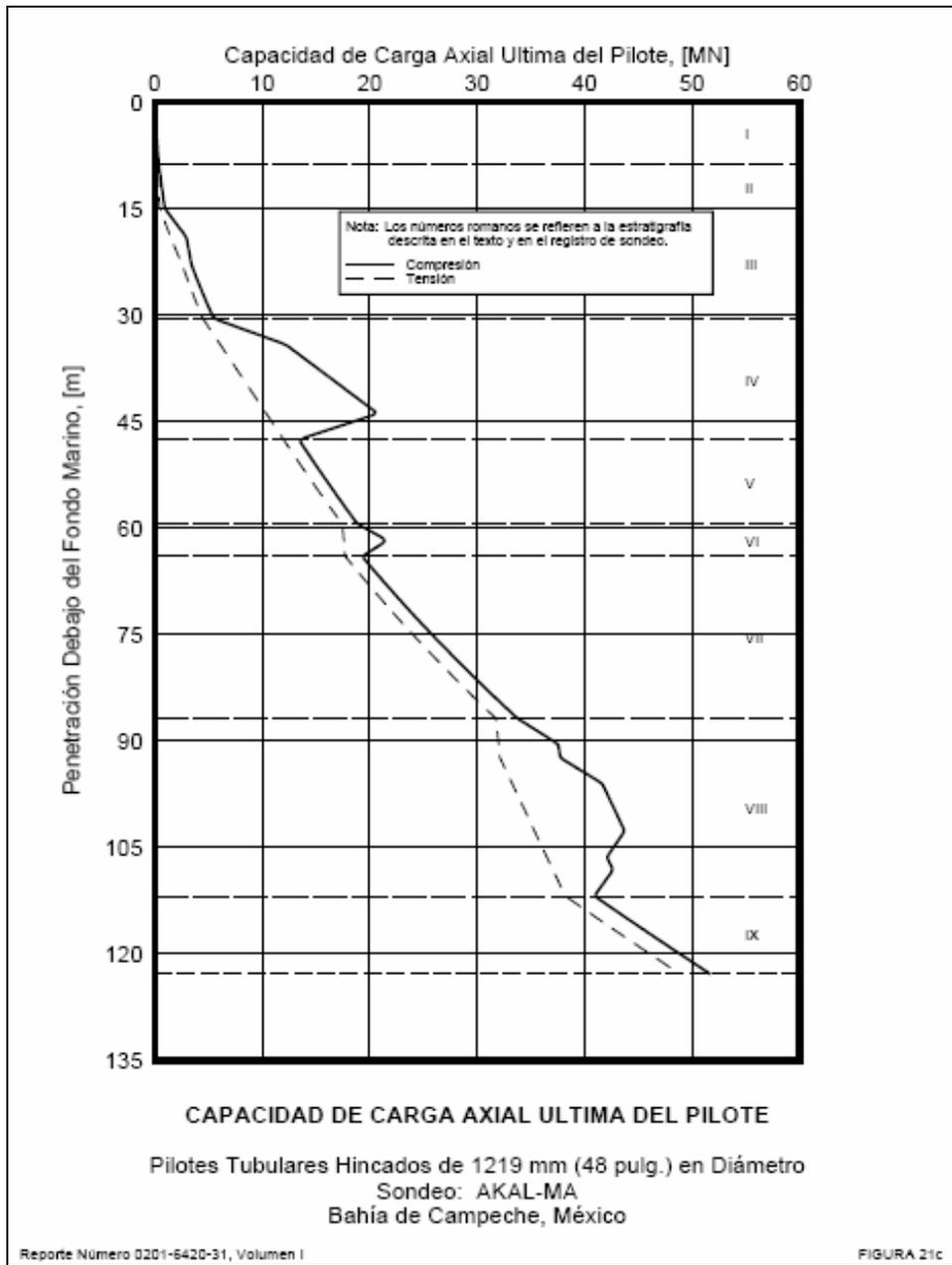
| Carbonate Content, [%] | Limit Unit Skin Friction, $f_{m\acute{a}x}$, [ksf] |
|------------------------------|---|
| Siliceous, < 50 | 1.0 – 2.4 |
| Siliceous Carbonate, 50 – 90 | 0.35 |
| Carbonate, 90 – 100 | 0.17 |

Los valores correspondientes para limitar teniendo la unidad final en las arenas de carbonato generalmente oscilan entre 40ksf y 100ksf.

Mientras que el valor límite inferior es el mismo que su valor silíceo correspondiente, el valor límite superior representa una reducción del 60% en la limitación de rodamiento en la unidad final. La $Q_{m\acute{a}x}$. son valores estándares utilizados actualmente para suelos granulares silíceas y carbonatadas se muestran en la siguiente tabla:

| Carbonate Content, [%] | Limit Unit End Bearing, $q_{m\acute{a}x}$, [ksf] |
|------------------------------|---|
| Siliceous, < 50 | 40 – 250 |
| Siliceous Carbonate, 50 – 90 | 40 – 100 |
| Carbonate, 90 – 100 | 40 |

5. CURVA DE CAPACIDAD DE CARGA AXIAL ULTIMA (KIPS).



ANÁLISIS CON EL PROGRAMA EXCEL

Para este análisis se uso el programa de Excel con los siguientes parámetros según Fugro considera tres casos para determinar la resistencia por fricción de las arcillas pilote-suelo:

1. Cuando se trata de arcillas limosas o arcillas de baja plasticidad, limite líquido menor de 30, se considera el 50% de la resistencia al esfuerzo cortante del estrato.
2. En arcillas intercaladas con arenas o limos, se revisa el porcentaje de arena/limo y el de arcilla, se obtiene la resistencia de ambos y al estrato se le asigna el promedio pesado obtenido de ambos suelos, generalmente el 0.75 de la resistencia al esfuerzo cortante.
3. En arcillas muy duras se reduce la fricción de acuerdo a lo siguiente: en estratos someros, menores a 30m de profundidad, se le asigna un valor máximo de 4Ksf; en estratos profundos, se asigna un valor máximo de 6Ksf. Lo anterior se debe soportar por medio de la documentación teórica respectiva que avale dicha asignación de parámetros.

Pasos que se usaron para este programa:

Paso 1: Se colocan los parámetros del estudio geotécnico (hablados anteriormente) al programa de Excel para obtener la hoja de proceso. (Ver Figura 1)

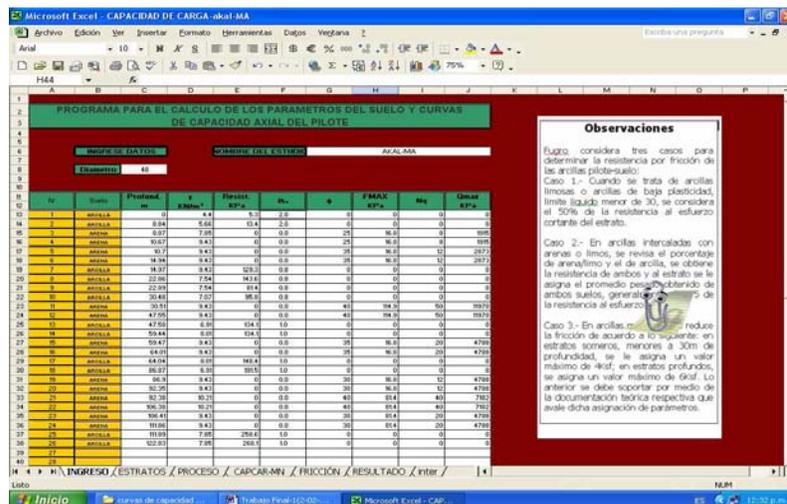


Figura 1

Paso 2: En este paso la hoja da Proceso y obtiene los parámetros geotécnicos de los de los estudios de AKAL. (Ver Figura 2)

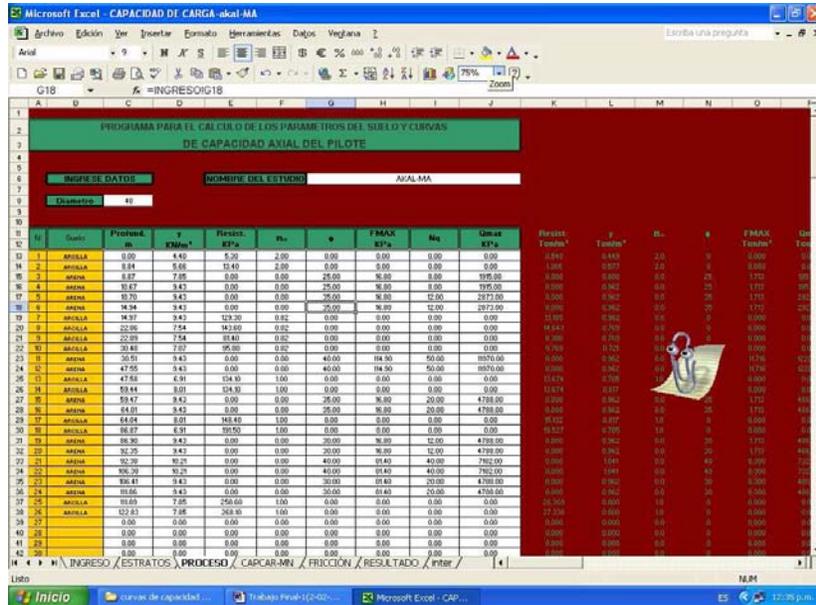


Figura 2

Paso 3: Después obtenemos la Capacidad Ultima que es la que nos interesa para la comparación de este análisis. (Ver Figura 3)

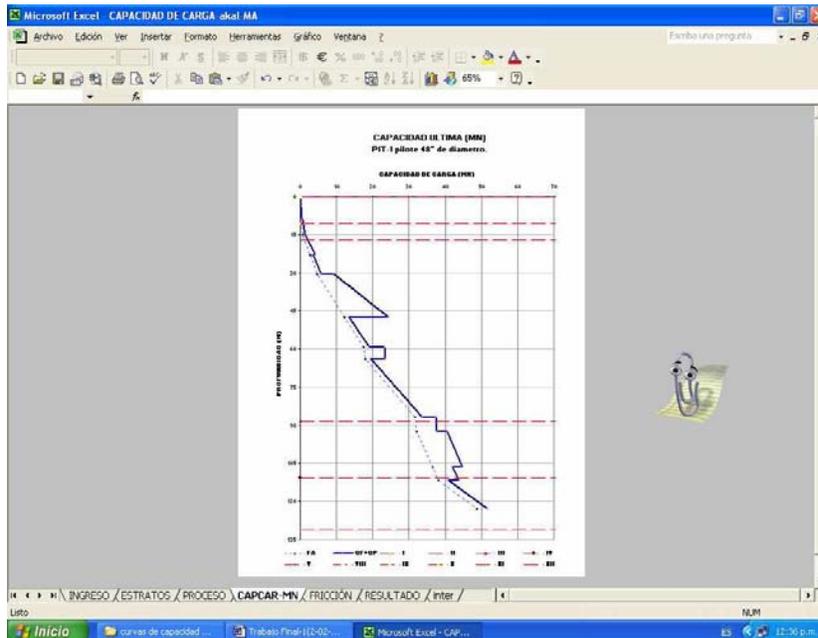


Figura 3

Paso 4: También se obtiene la Resistencia Unitaria por Fricción. (Ver figura 4).

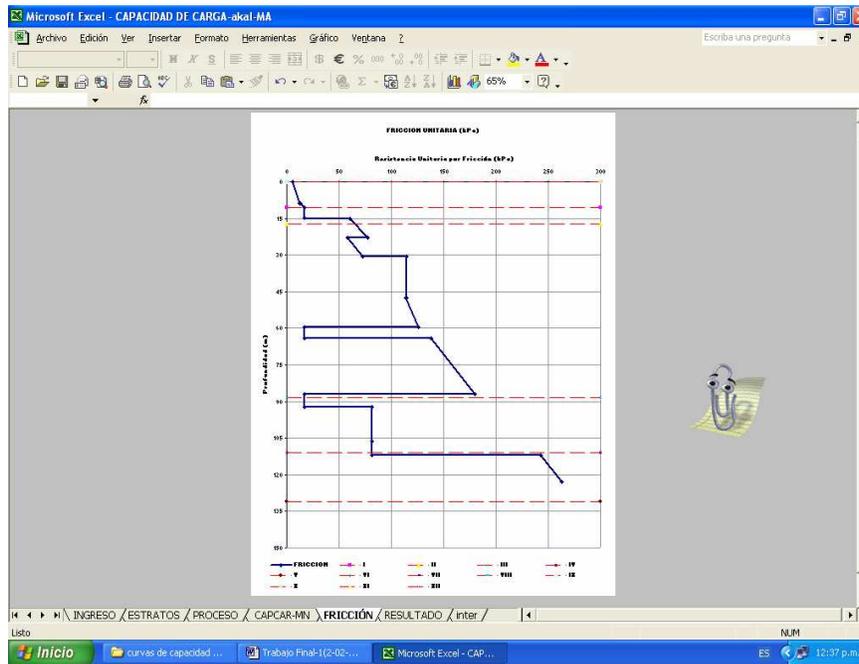


Figura 4

Paso 5: Finalmente obtenemos resultados del análisis de los parámetros para estas curvas de capacidad. (Ver Figura 5).

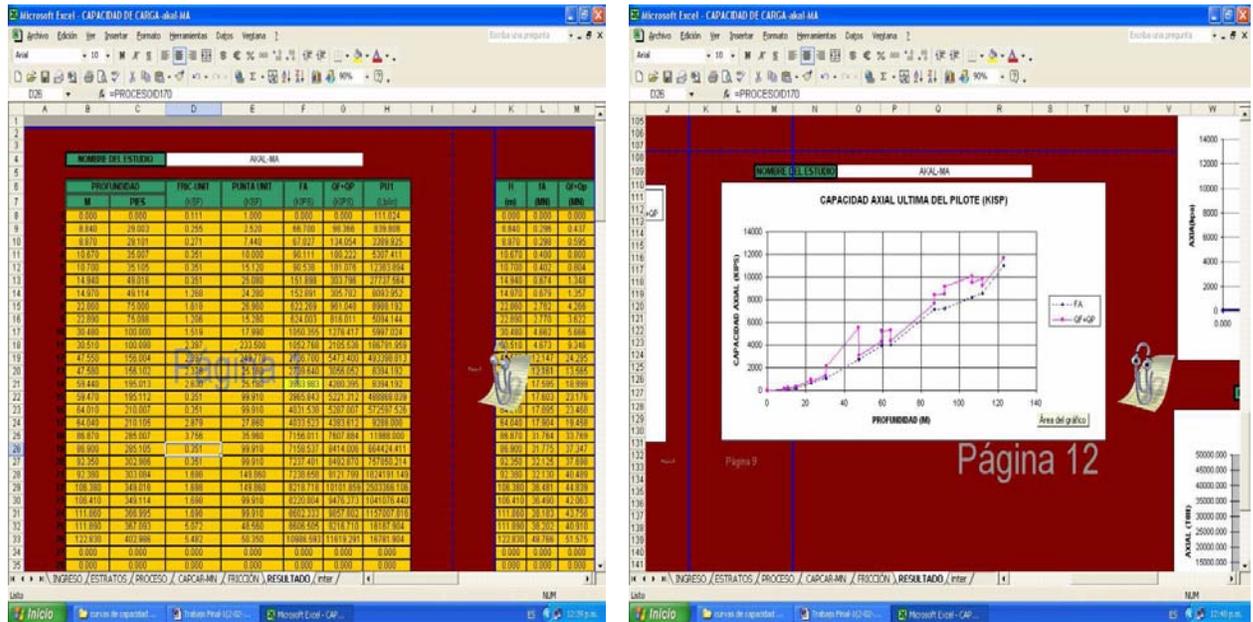


Figura 5

RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS

Una vez que se obtuvieron las curvas de capacidad por medio de este programa se empieza a comparar resultados de los 80's y 90's.

Y se empieza a suavizar estas curvas considerando los siguientes parámetros para caso de las arenas.

(Para pilotes cuya punta caiga en una capa de suelo no cohesivo, subyacente por estratos suaves en su vecindad, también podrán aplicarse los parámetros de diseño de la Tabla 1, siempre y cuando el pilote alcance una penetración de 2 a 3 diámetros o más dentro del estrato no-cohesivo, y además la punta deberá estar al menos 3 diámetros arriba de la frontera del estrato débil para evitar la falla por punzonamiento. Cuando estas tolerancias no se logren puede ser necesaria alguna modificación en los valores tabulados. Cuando los estratos adyacentes a la penetración que alcanzó la punta, presenten una resistencia similar no tiene mayor trascendencia. (Ver la Figura 6).

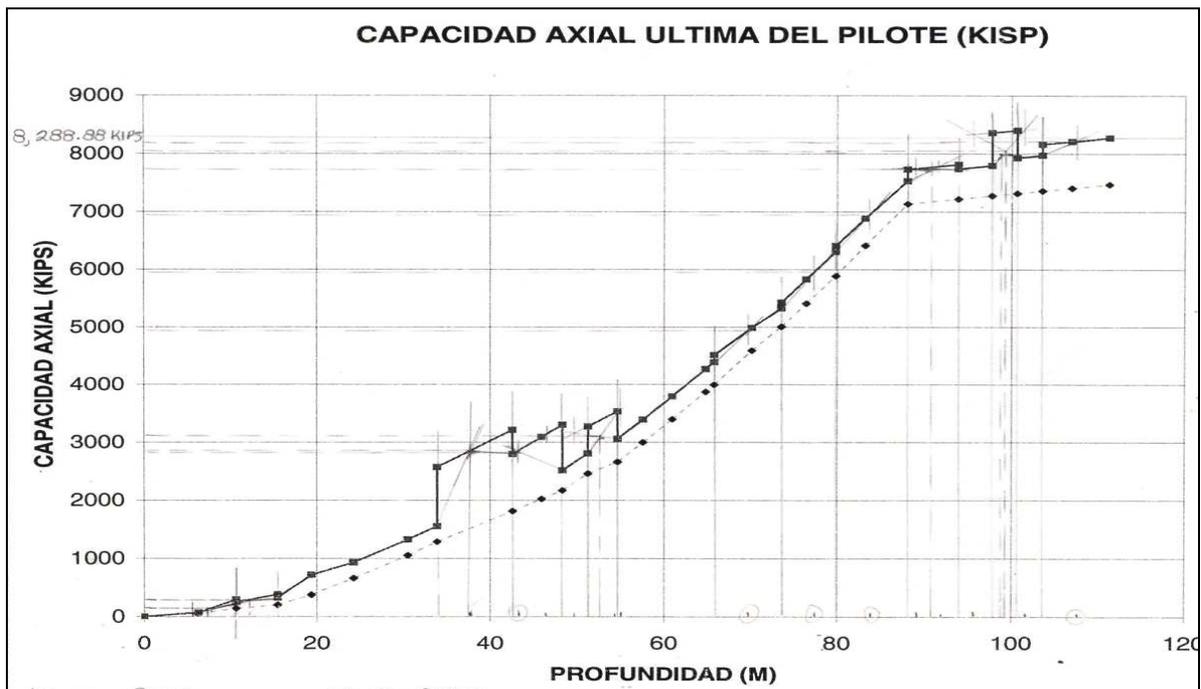


FIGURA 6 Curvas que se suavizan de forma manual

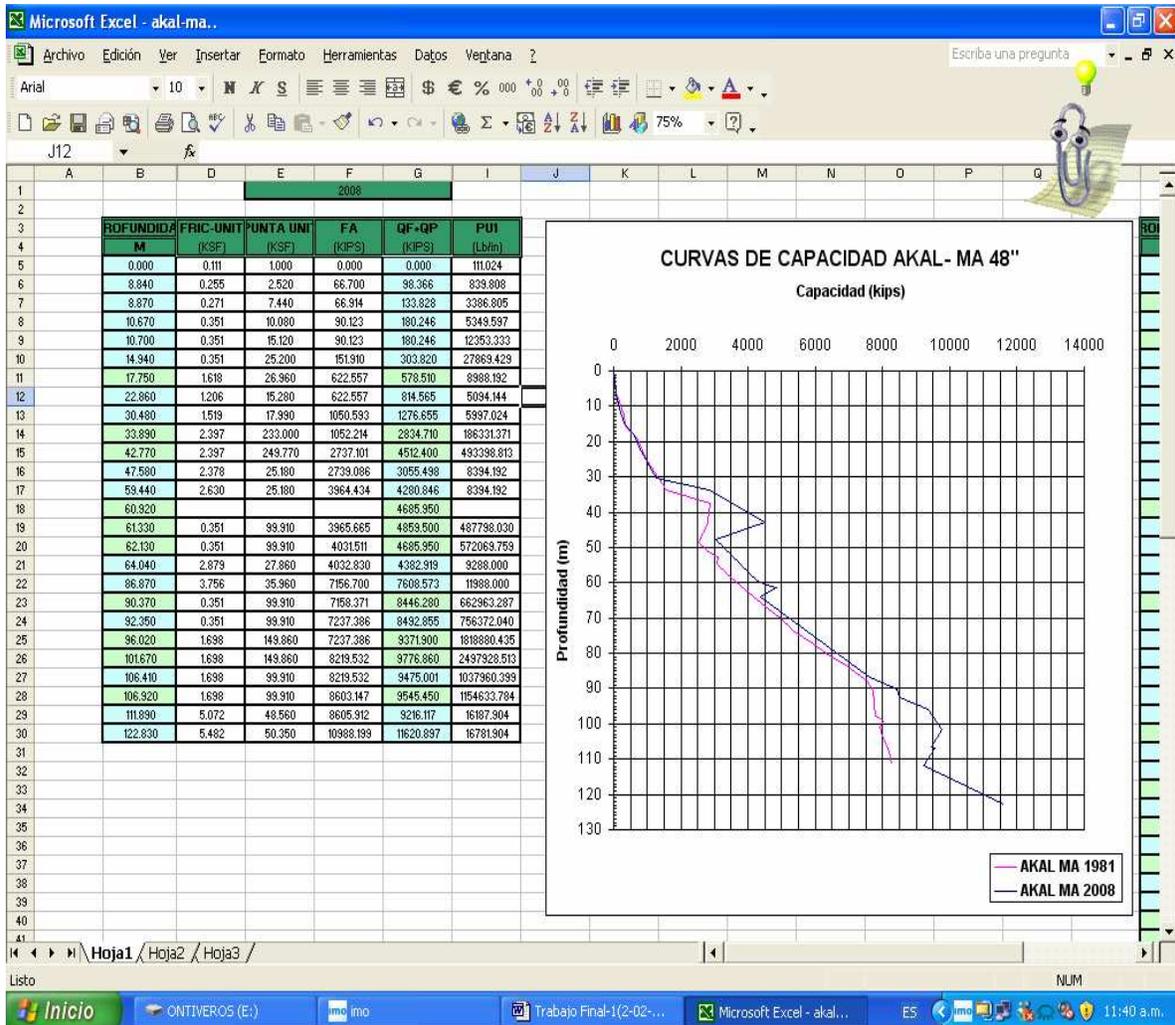


Figura 6.1 Así es como deben quedar ya en la comparatividad de curvas de capacidad.

COMPARATIVA DE RESULTADOS DE CURVAS DE CAPACIDAD ANTES DE LOS 90's Y DESPUÉS DE LOS 90's.

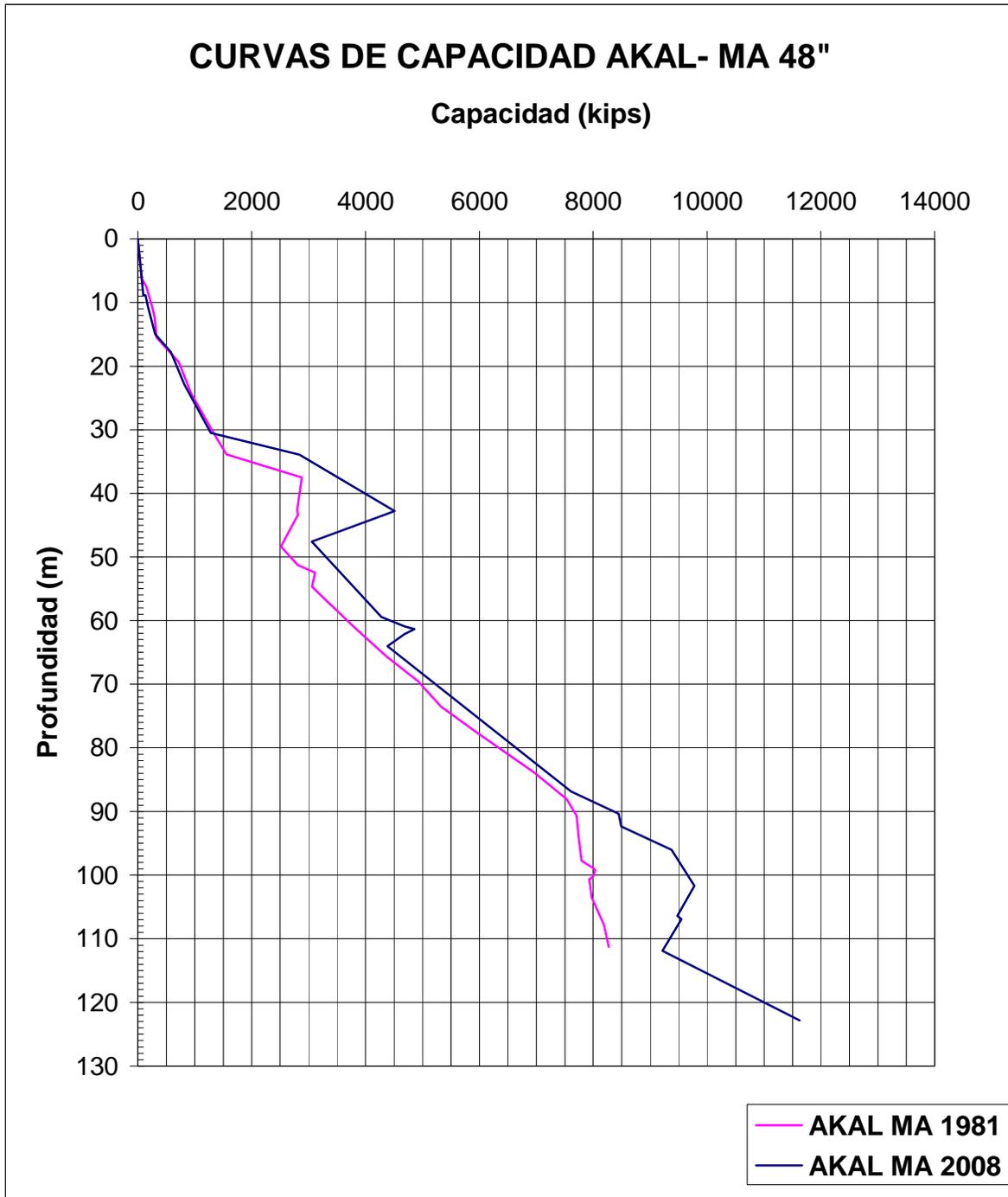
CURVAS DE CAPACIDAD DE AKAL-MA 48"
AÑO 1981

| PROFUNDIDAD | FRIC-UNIT | PUNTA UNIT | FA | QF+QP | PU1 |
|-------------|-----------|------------|----------|---------|------------|
| M | (KSF) | (KSF) | (KIPS) | (KIPS) | (Lb/in) |
| 0.00 | 0.207 | 1.86 | 0 | 0.00 | 207.072 |
| 6.30 | 0.17 | 1.86 | 48.869 | 72.31 | 575.194 |
| 7.50 | 0.17 | 1.86 | 48.932 | 148.15 | 611.43 |
| 10.65 | 0.221 | 8.24 | 145.276 | 248.82 | 22497.272 |
| 12.27 | 0.35 | 14.48 | 202.099 | 296.29 | 54057.238 |
| 15.49 | 0.705 | 9.91 | 202.3 | 326.83 | 3303.072 |
| 19.35 | 1.458 | 27.34 | 374.492 | 718.05 | 9113.904 |
| 19.36 | 1.458 | 27.34 | 375.045 | 718.60 | 9113.904 |
| 24.19 | 1.416 | 21.6 | 661.248 | 932.67 | 7200.144 |
| 24.20 | 1.416 | 21.6 | 661.776 | 933.20 | 7200.144 |
| 30.48 | 1.608 | 21.6 | 1053.169 | 1324.60 | 7200.144 |
| 30.49 | 1.608 | 21.6 | 1053.772 | 1325.20 | 7200.144 |
| 33.87 | 1.704 | 21.6 | 1284.333 | 1555.76 | 7200.144 |
| 37.50 | 1.478 | 111.25 | 1284.936 | 2881.48 | 138651.748 |
| 42.58 | 1.478 | 78.24 | 1815.548 | 2798.71 | 97086.645 |
| 43.30 | 1.478 | 85.2 | 2021.329 | 2814.81 | 113721.607 |
| 48.38 | 2.387 | 27.54 | 2168.791 | 2514.86 | 9180 |
| 51.28 | 2.479 | 27.54 | 2459.845 | 2805.91 | 9180 |
| 52.50 | 1.448 | 64.64 | 2460.586 | 3111.11 | 0 |
| 54.68 | 2.766 | 31.51 | 2663.163 | 3059.12 | 10503.216 |
| 57.57 | 2.836 | 31.51 | 2997.18 | 3393.14 | 10503.216 |
| 57.58 | 2.836 | 31.51 | 2998.248 | 3394.20 | 10503.216 |
| 60.96 | 2.906 | 31.51 | 3397.985 | 3793.94 | 10503.216 |
| 64.83 | 3.046 | 31.51 | 3872.917 | 4268.87 | 10503.216 |
| 65.80 | 3.046 | 31.51 | 3994.254 | 4390.21 | 10503.216 |
| 69.55 | 3.48 | 41.21 | 3995.485 | 4925.93 | 13737.168 |
| 70.15 | 3.151 | 31.51 | 4589.593 | 4985.55 | 10503.216 |
| 73.54 | 2.818 | 25.36 | 5006.256 | 5324.93 | 8453.808 |
| 77.39 | 3.349 | 33.49 | 5007.425 | 5925.93 | 11162.88 |
| 79.83 | 3.461 | 33.49 | 5886.957 | 6307.79 | 11162.88 |
| 83.86 | 3.82 | 41.42 | 5888.327 | 6962.96 | 13805.856 |
| 88.05 | 3.501 | 31.51 | 7134.56 | 7530.52 | 10503.216 |
| 90.68 | 0.35 | 47.44 | 7135.289 | 7703.70 | 2141882.38 |
| 93.87 | 0.35 | 41.44 | 7219.029 | 7739.76 | 2450545.92 |
| 97.73 | 0.35 | 41.44 | 7274.759 | 7795.49 | 2680363.93 |
| 98.86 | 0.35 | 86.38 | 7274.897 | 8000.00 | 2680608.5 |
| 99.20 | 0.35 | 86.38 | 7316.679 | 8037.04 | 2855752.93 |
| 100.23 | | | | 8000 | |
| 100.64 | 0.35 | 48.93 | 7316.805 | 7931.66 | 2856006.17 |
| 103.53 | 0.35 | 48.93 | 7358.549 | 7973.40 | 3043639.24 |
| 107.73 | 0.35 | 63.91 | 7407.406 | 8185.19 | 3257236.78 |
| 111.28 | 0.35 | 63.91 | 7470.249 | 8273.34 | 3543871.95 |

**CURVAS DE CAPACIDAD DE AKAL-MA 48”
AÑO 2008**

| PROFUNDIDAD | FRIC-UNIT | PUNTA UNIT | FA | QF+QP | PU1 |
|-------------|-----------|------------|-----------|-----------|-------------|
| M | (KSF) | (KSF) | (KIPS) | (KIPS) | (Lb/in) |
| 0.000 | 0.111 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 111.024 |
| 8.840 | 0.255 | 2.520 | 66.700 | 98.366 | 839.808 |
| 8.870 | 0.271 | 7.440 | 66.914 | 133.828 | 3386.805 |
| 10.670 | 0.351 | 10.080 | 90.123 | 180.246 | 5349.597 |
| 10.700 | 0.351 | 15.120 | 90.123 | 180.246 | 12353.333 |
| 14.940 | 0.351 | 25.200 | 151.910 | 303.820 | 27869.429 |
| 17.750 | 1.618 | 26.960 | 622.557 | 578.510 | 8988.192 |
| 22.860 | 1.206 | 15.280 | 622.557 | 814.565 | 5094.144 |
| 30.480 | 1.519 | 17.990 | 1050.593 | 1276.655 | 5997.024 |
| 33.890 | 2.397 | 233.000 | 1052.214 | 2834.710 | 186331.371 |
| 42.770 | 2.397 | 249.770 | 2737.101 | 4512.400 | 493398.813 |
| 47.580 | 2.378 | 25.180 | 2739.086 | 3055.498 | 8394.192 |
| 59.440 | 2.630 | 25.180 | 3964.434 | 4280.846 | 8394.192 |
| 60.920 | | | | 4685.950 | |
| 61.330 | 0.351 | 99.910 | 3965.665 | 4859.500 | 487798.030 |
| 62.130 | 0.351 | 99.910 | 4031.511 | 4685.950 | 572069.759 |
| 64.040 | 2.879 | 27.860 | 4032.830 | 4382.919 | 9288.000 |
| 86.870 | 3.756 | 35.960 | 7156.700 | 7608.573 | 11988.000 |
| 90.370 | 0.351 | 99.910 | 7158.371 | 8446.280 | 662963.287 |
| 92.350 | 0.351 | 99.910 | 7237.386 | 8492.855 | 756372.040 |
| 96.020 | 1.698 | 149.860 | 7237.386 | 9371.900 | 1818880.435 |
| 101.670 | 1.698 | 149.860 | 8219.532 | 9776.860 | 2497928.513 |
| 106.410 | 1.698 | 99.910 | 8219.532 | 9475.001 | 1037960.399 |
| 106.920 | 1.698 | 99.910 | 8603.147 | 9545.450 | 1154633.784 |
| 111.890 | 5.072 | 48.560 | 8605.912 | 9216.117 | 16187.904 |
| 122.830 | 5.482 | 50.350 | 10988.199 | 11620.897 | 16781.904 |

RESULTADOS DE LA COMPARATIVIDAD DE LAS CURVAS DE CAPACIDAD
 AKAL-MA
 (1981-2008)



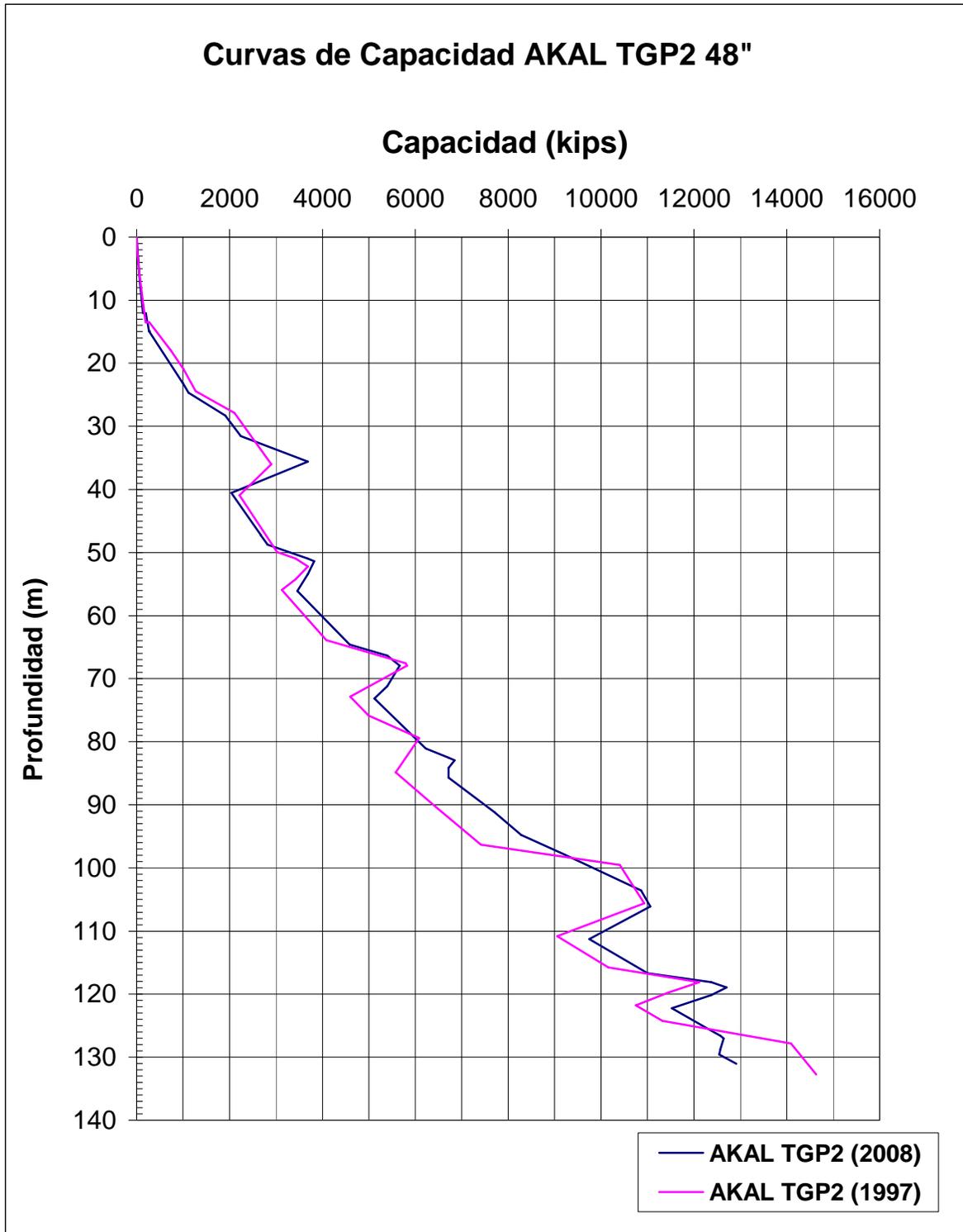
**CURVAS DE CAPACIDAD DE AKAL-TGP2 48”
AÑO 1997**

| PROFUNDIDAD | FRIC-UNIT | PUNTA UNIT | FA | QF+QP | PU1 |
|-------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|
| M | (KSF) | (KSF) | (KIPS) | (KIPS) | (Lb/in) |
| 0.000 | 0.082 | 0.740 | 0.000 | 0.000 | 81.94 |
| 2.993 | 0.090 | 1.080 | 10.618 | 21.236 | 265.19 |
| 5.989 | 0.241 | 3.680 | 31.063 | 62.126 | 958.85 |
| 10.979 | 0.367 | 4.400 | 93.591 | 148.881 | 1467.07 |
| 13.475 | 0.439 | 4.760 | 135.071 | 194.885 | 1587.17 |
| 13.484 | 1.050 | 21.480 | 135.347 | 270.694 | 7160.83 |
| 17.968 | 1.475 | 28.850 | 368.710 | 731.239 | 9618.05 |
| 20.961 | 1.778 | 34.790 | 569.414 | 1006.585 | 11594.88 |
| 24.454 | 1.855 | 34.790 | 831.000 | 1268.171 | 11594.88 |
| 27.920 | 1.265 | 67.800 | 831.591 | 2106.990 | 46324.05 |
| 36.010 | 1.698 | 94.000 | 1318.787 | 2897.120 | 83801.79 |
| 40.935 | 1.996 | 23.630 | 1913.498 | 2210.433 | 7877.95 |
| 49.908 | 2.293 | 25.160 | 2706.840 | 3023.001 | 8388.14 |
| 50.980 | 0.350 | 90.360 | 2707.343 | 3423.870 | 130545.56 |
| 52.200 | 0.350 | 99.870 | 2793.634 | 3687.240 | 170310.14 |
| 54.220 | | | | 3423.870 | |
| 55.906 | 2.537 | 26.240 | 2794.174 | 3123.906 | 8748.00 |
| 63.883 | 2.937 | 30.740 | 3694.239 | 4080.518 | 10244.88 |
| 67.570 | 1.398 | 149.800 | 3695.056 | 5794.240 | 341516.98 |
| 67.980 | 1.398 | 149.800 | 3982.101 | 5820.580 | 403567.30 |
| 72.875 | 3.176 | 30.740 | 4213.102 | 4599.381 | 10244.88 |
| 75.862 | 3.210 | 30.740 | 4606.305 | 4992.584 | 10244.88 |
| 79.310 | 1.398 | 99.870 | 4607.172 | 6057.610 | 497052.89 |
| 79.470 | 1.398 | 99.870 | 5124.351 | 6083.950 | 637260.60 |
| 84.853 | 3.742 | 36.220 | 5125.319 | 5580.460 | 12071.81 |
| 90.334 | 3.863 | 36.220 | 5984.444 | 6439.585 | 12071.81 |
| 96.323 | 4.024 | 36.220 | 6958.183 | 7413.324 | 12071.81 |
| 99.540 | 2.397 | 249.660 | 6959.389 | 10403.290 | 1967761.28 |
| 105.610 | 2.397 | 249.660 | 7797.051 | 10930.040 | 2381128.54 |
| 110.807 | 5.285 | 52.850 | 8390.367 | 9054.480 | 17616.10 |
| 115.787 | 5.461 | 52.850 | 9493.599 | 10157.712 | 17616.10 |
| 117.340 | 2.397 | 249.660 | 9495.082 | 11456.790 | 2950084.69 |
| 118.150 | | | | 12115.230 | |
| 119.770 | 2.397 | 249.660 | 10086.048 | 11456.790 | 3290368.04 |
| 121.786 | 5.520 | 52.850 | 10087.543 | 10751.656 | 17616.10 |
| 124.273 | 5.637 | 52.850 | 10659.560 | 11323.673 | 17616.10 |
| 127.860 | 2.397 | 249.660 | 10661.080 | 14090.530 | 3428727.82 |
| 132.759 | 2.397 | 249.660 | 11498.742 | 14635.970 | 3966576.16 |

**CURVAS DE CAPACIDAD DE AKAL-TGP2 48”
AÑO 2008**

| PROFUNDIDAD | FRIC-UNIT | PUNTA UNIT | FA | QF+QP | PU1 |
|-------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|
| M | (KSF) | (KSF) | (KIPS) | (KIPS) | (Lb/in) |
| 0.000 | 0.100 | 0.900 | 0.000 | 0.000 | 99.94 |
| 3.050 | 0.114 | 1.490 | 13.458 | 26.916 | 343.35 |
| 3.080 | 0.114 | 1.490 | 13.596 | 27.192 | 345.10 |
| 7.010 | 0.215 | 2.250 | 40.248 | 68.522 | 749.95 |
| 7.040 | 0.215 | 2.250 | 40.512 | 68.786 | 749.95 |
| 9.450 | 0.275 | 2.750 | 64.852 | 99.409 | 914.98 |
| 9.480 | 0.275 | 2.750 | 65.191 | 99.748 | 914.98 |
| 12.040 | 0.337 | 3.230 | 97.486 | 138.074 | 1076.98 |
| 12.070 | 0.300 | 15.360 | 97.888 | 195.776 | 6032.29 |
| 13.410 | 0.300 | 18.000 | 114.463 | 228.926 | 7739.64 |
| 13.440 | 0.300 | 18.120 | 114.827 | 229.654 | 7805.95 |
| 14.940 | 0.300 | 21.720 | 133.387 | 266.774 | 10262.27 |
| 14.970 | 1.172 | 22.930 | 134.292 | 268.584 | 7643.81 |
| 23.160 | 1.675 | 30.140 | 614.929 | 993.668 | 10047.02 |
| 23.190 | 1.675 | 30.140 | 617.015 | 995.754 | 10047.02 |
| 24.690 | 1.783 | 31.470 | 723.927 | 1119.379 | 10491.12 |
| 28.320 | 1.343 | 72.000 | 725.850 | 1909.470 | 49675.45 |
| 31.560 | 1.698 | 99.910 | 1469.305 | 2238.680 | 115554.48 |
| 35.610 | 1.398 | 59.950 | 1471.228 | 3687.240 | 74679.11 |
| 40.570 | 2.217 | 26.960 | 1699.967 | 2038.746 | 8988.19 |
| 47.240 | 2.367 | 26.960 | 2330.227 | 2669.006 | 8988.19 |
| 47.270 | 2.367 | 26.960 | 2333.142 | 2671.921 | 8988.19 |
| 48.770 | 2.427 | 26.960 | 2481.396 | 2820.175 | 8988.19 |
| 50.980 | 1.698 | 99.910 | 2483.934 | 3687.240 | 207821.38 |
| 51.390 | | | | 3818.930 | |
| 53.410 | 1.698 | 99.910 | 2993.573 | 3687.240 | 284550.47 |
| 56.110 | 3.113 | 36.860 | 2996.539 | 3459.722 | 12287.81 |
| 64.620 | 3.318 | 36.860 | 4124.677 | 4587.860 | 12287.81 |
| 66.360 | 1.698 | 99.910 | 4129.842 | 5399.180 | 370522.44 |
| 67.980 | | | | 5662.550 | |
| 71.210 | 1.698 | 99.910 | 4723.460 | 5399.180 | 483136.75 |
| 73.180 | 3.287 | 31.470 | 4726.564 | 5122.016 | 10491.12 |
| 81.080 | 3.497 | 31.470 | 5831.291 | 6226.743 | 10491.12 |
| 82.540 | 1.698 | 99.910 | 5834.520 | 6716.050 | 602847.58 |
| 82.950 | | | | 6847.740 | |
| 84.160 | 1.698 | 99.910 | 6152.339 | 6716.050 | 676491.52 |
| 85.680 | 4.296 | 44.960 | 6156.033 | 6721.000 | 14985.22 |
| 91.140 | 4.396 | 44.960 | 7134.346 | 7699.313 | 14985.22 |
| 94.790 | 4.227 | 40.470 | 7767.132 | 8275.678 | 13490.93 |
| 97.920 | 1.698 | 99.910 | 7770.776 | 9218.110 | 821598.26 |
| 103.580 | 1.698 | 99.910 | 8174.006 | 10864.200 | 936327.82 |
| 106.100 | 1.999 | 199.820 | 8176.280 | 11061.730 | 1452949.40 |
| 111.280 | 5.486 | 54.860 | 9057.810 | 9747.181 | 18284.83 |
| 116.740 | 5.668 | 54.860 | 10313.166 | 11002.537 | 18284.83 |
| 118.150 | | | | 12378.600 | |
| 118.960 | 2.397 | 249.770 | 10318.180 | 12707.820 | 3102738.25 |
| 120.170 | 2.397 | 249.770 | 10856.734 | 12378.600 | 3412863.12 |
| 122.250 | 5.659 | 53.060 | 10861.748 | 11528.500 | 17685.22 |
| 125.270 | 5.777 | 53.060 | 11573.662 | 12240.414 | 17685.22 |
| 126.650 | 1.698 | 99.910 | 11578.261 | 12576.130 | 1492896.45 |
| 127.050 | | | | 12641.980 | |
| 128.670 | 1.698 | 99.910 | 11875.082 | 12576.130 | 1599623.06 |
| 129.570 | 5.895 | 53.060 | 11879.757 | 12546.509 | 17685.22 |
| 131.060 | 5.895 | 53.060 | 12241.922 | 12908.674 | 17685.22 |

RESULTADOS DE LA COMPARATIVIDAD DE LAS CURVAS DE CAPACIDAD
 AKAL-TGP2
 (1997-2008)



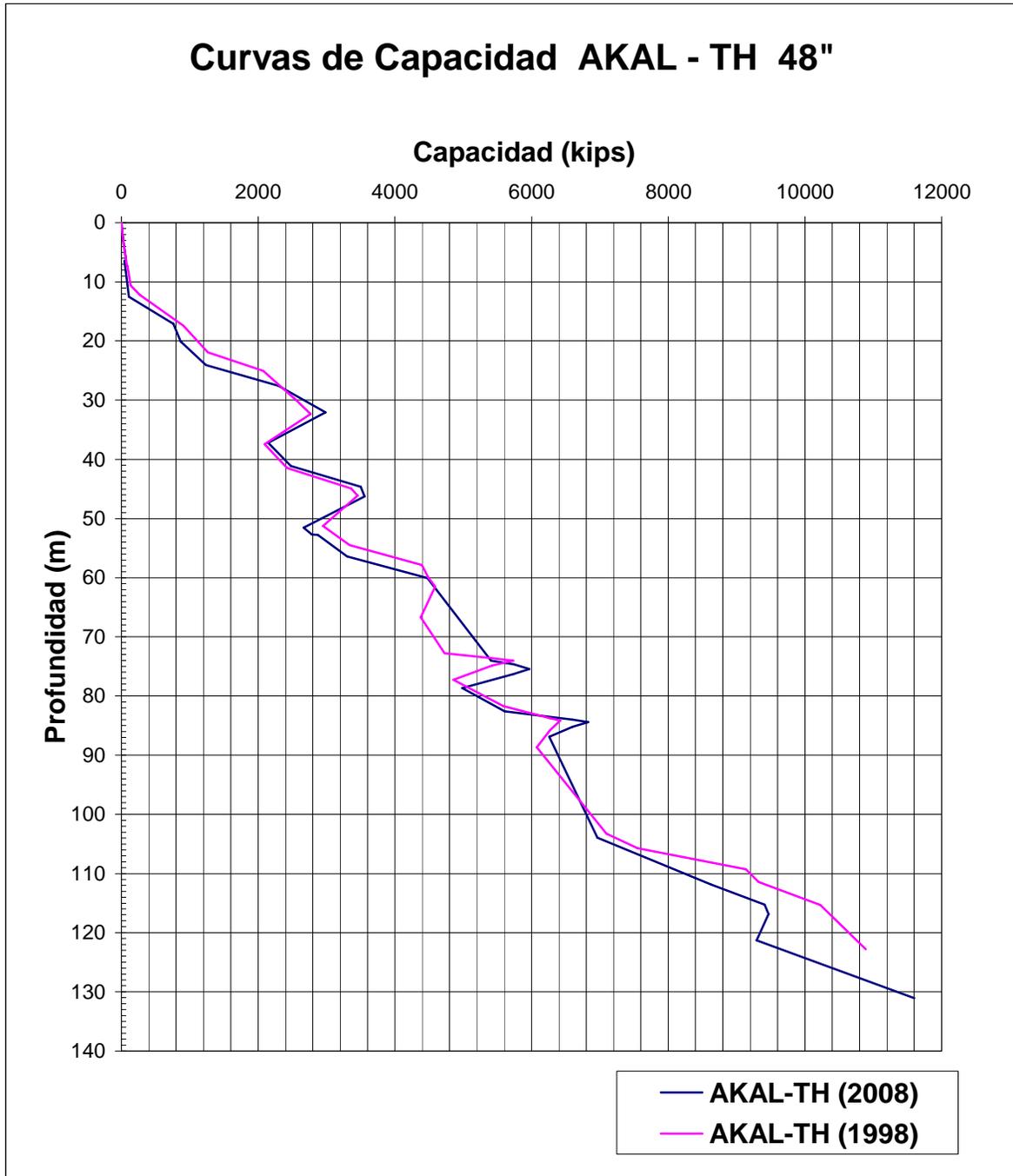
CURVAS DE CAPACIDAD DE AKAL-TH 48"
AÑO 1998

| PROFUNDIDAD | FRIC-UNIT | PUNTA UNIT | FA | QF+QP | PU1 |
|--------------------|------------------|-------------------|---------------|---------------|----------------|
| M | (KSF) | (KSF) | (KIPS) | (KIPS) | (Lb/in) |
| 0.000 | 0.090 | 0.810 | 0.000 | 0.000 | 90.000 |
| 3.660 | 0.128 | 1.620 | 16.449 | 32.898 | 401.476 |
| 7.320 | 0.246 | 2.840 | 44.660 | 80.347 | 908.747 |
| 7.350 | 0.169 | 6.160 | 44.911 | 89.822 | 2416.357 |
| 10.570 | 0.169 | 10.400 | 67.341 | 134.682 | 5476.077 |
| 10.600 | 0.566 | 8.940 | 67.793 | 135.586 | 2979.072 |
| 12.200 | 1.443 | 31.670 | 134.054 | 268.108 | 10194.928 |
| 17.480 | 1.743 | 34.110 | 480.825 | 909.451 | 11369.808 |
| 21.960 | 1.906 | 35.730 | 817.807 | 1266.790 | 11909.808 |
| 25.090 | 1.268 | 68.000 | 819.780 | 2074.070 | 42068.812 |
| 29.680 | 1.698 | 98.200 | 1289.937 | 2523.918 | 80468.750 |
| 29.710 | 1.698 | 98.400 | 1292.048 | 2528.542 | 80711.477 |
| 32.370 | 1.698 | 99.950 | 1831.067 | 2765.430 | 131539.438 |
| 37.440 | 1.910 | 20.710 | 1833.316 | 2093.558 | 6902.928 |
| 41.480 | 2.002 | 20.710 | 2159.090 | 2419.332 | 6902.928 |
| 44.910 | 0.351 | 84.960 | 2160.548 | 3358.020 | 159772.540 |
| 46.130 | 0.351 | 98.280 | 2242.453 | 3456.790 | 209026.456 |
| 51.260 | 2.886 | 33.300 | 2528.668 | 2947.116 | 11099.808 |
| 54.490 | 2.960 | 33.300 | 2917.900 | 3336.348 | 11099.808 |
| 57.860 | 1.400 | 99.950 | 2920.589 | 4395.060 | 177396.323 |
| 59.770 | 1.400 | 99.950 | 3223.618 | 4479.590 | 213449.016 |
| 59.800 | 1.400 | 99.950 | 3225.340 | 4481.312 | 213757.147 |
| 61.500 | 1.400 | 99.950 | 3623.016 | 4592.590 | 266003.755 |
| 66.720 | 1.400 | 59.970 | 3624.763 | 4378.346 | 266348.454 |
| 72.790 | 1.400 | 59.970 | 3975.103 | 4728.686 | 319563.749 |
| 73.640 | 1.999 | 199.880 | 3977.214 | 5432.100 | 772061.860 |
| 74.050 | 1.999 | 199.880 | 4343.123 | 5728.400 | 873821.012 |
| 74.860 | | | | 5432.100 | |
| 77.290 | 3.925 | 40.610 | 4346.767 | 4857.072 | 13535.856 |
| 81.730 | 4.061 | 40.610 | 5077.681 | 5587.986 | 13535.856 |
| 83.760 | 1.698 | 99.950 | 5081.225 | 6271.600 | 633291.820 |
| 84.160 | 1.698 | 99.950 | 5562.867 | 6419.750 | 749186.482 |
| 85.780 | | | | 6271.600 | |
| 88.670 | 1.698 | 40.610 | 5564.953 | 6075.258 | 13535.856 |
| 103.280 | 1.698 | 40.610 | 6587.700 | 7098.005 | 13535.856 |
| 103.310 | 4.512 | 40.610 | 6591.558 | 7101.863 | 13535.856 |
| 105.720 | 4.512 | 40.610 | 7039.812 | 7550.117 | 13535.856 |
| 109.250 | 1.698 | 149.920 | 7043.670 | 9135.800 | 1053233.881 |
| 111.420 | 1.698 | 149.920 | 7440.580 | 9324.475 | 1174972.595 |
| 115.320 | 1.999 | 199.880 | 7442.880 | 10222.220 | 1823597.798 |
| 122.800 | 1.999 | 199.880 | 8378.242 | 10889.934 | 2261152.164 |

CURVAS DE CAPACIDAD DE AKAL-TH 48"
AÑO 2008

| PROFUNDIDAD | FRIC-UNIT | PUNTA UNIT | FA | QF+QP | PU1 |
|--------------------|------------------|-------------------|---------------|---------------|----------------|
| M | (KSF) | (KSF) | (KIPS) | (KIPS) | (Lb/in) |
| 0.000 | 0.100 | 0.900 | 0.000 | 0.000 | 99.936 |
| 2.440 | 0.101 | 1.520 | 10.116 | 20.232 | 313.050 |
| 2.470 | 0.101 | 1.520 | 10.242 | 20.484 | 314.831 |
| 6.400 | 0.213 | 2.520 | 35.676 | 67.342 | 754.636 |
| 6.430 | 0.189 | 0.600 | 35.927 | 43.467 | 1840.473 |
| 12.500 | 0.351 | 0.600 | 103.494 | 111.034 | 8935.226 |
| 17.070 | 1.655 | 32.370 | 377.206 | 754.412 | 10790.928 |
| 17.100 | 1.655 | 32.370 | 379.242 | 758.484 | 10790.928 |
| 20.120 | 1.455 | 23.380 | 572.846 | 866.639 | 7794.144 |
| 20.150 | 1.455 | 23.380 | 574.656 | 868.449 | 7794.144 |
| 24.080 | 1.853 | 31.470 | 842.651 | 1238.103 | 10491.120 |
| 27.590 | 1.815 | 157.200 | 844.913 | 2295.080 | 81420.760 |
| 32.060 | 1.999 | 199.820 | 1873.252 | 2983.610 | 210595.989 |
| 37.210 | 1.990 | 21.570 | 1874.911 | 2145.960 | 7191.072 |
| 41.150 | 2.085 | 21.570 | 2205.887 | 2476.936 | 7191.072 |
| 44.640 | 0.351 | 99.910 | 2207.382 | 3500.000 | 165269.288 |
| 46.260 | 0.351 | 99.910 | 2356.867 | 3557.380 | 258712.104 |
| 51.540 | 2.509 | 24.280 | 2358.626 | 2663.728 | 8093.952 |
| 52.730 | 2.536 | 24.280 | 2482.401 | 2787.503 | 8093.952 |
| 52.760 | 2.820 | 30.570 | 2485.693 | 2869.836 | 10190.880 |
| 56.390 | 2.955 | 30.570 | 2917.838 | 3301.981 | 10190.880 |
| 60.050 | 1.698 | 99.910 | 2920.703 | 4475.410 | 310202.047 |
| 74.070 | 1.698 | 99.910 | 4156.268 | 5411.737 | 530232.626 |
| 74.670 | 1.999 | 199.820 | 4158.542 | 5737.700 | 822163.412 |
| 75.480 | | | | 5967.210 | |
| 76.290 | 1.999 | 199.820 | 4532.695 | 5737.700 | 934644.855 |
| 78.670 | 3.756 | 35.960 | 4536.276 | 4988.149 | 11988.000 |
| 82.600 | 3.836 | 35.960 | 5151.281 | 5603.154 | 11988.000 |
| 84.000 | | | | 6598.360 | |
| 84.410 | 1.999 | 199.820 | 5154.913 | 6827.860 | 1026268.983 |
| 85.220 | 1.999 | 199.820 | 5504.348 | 6598.360 | 1137545.979 |
| 86.900 | 0.999 | 59.950 | 5506.195 | 6259.527 | 2359558.904 |
| 103.940 | 0.999 | 59.950 | 6207.994 | 6961.326 | 3255181.555 |
| 111.860 | 5.455 | 53.960 | 7947.417 | 8625.478 | 17985.024 |
| 115.250 | 1.698 | 99.910 | 7951.815 | 9409.840 | 1178077.575 |
| 116.870 | 1.698 | 99.910 | 8611.254 | 9467.210 | 1386906.292 |
| 121.340 | 5.635 | 53.960 | 8615.765 | 9293.826 | 17985.024 |
| 131.060 | 5.875 | 53.960 | 10921.965 | 11600.026 | 17985.024 |

RESULTADOS DE LA COMPARATIVIDAD DE LAS CURVAS DE CAPACIDAD
AKAL-TH
(1998-2008)



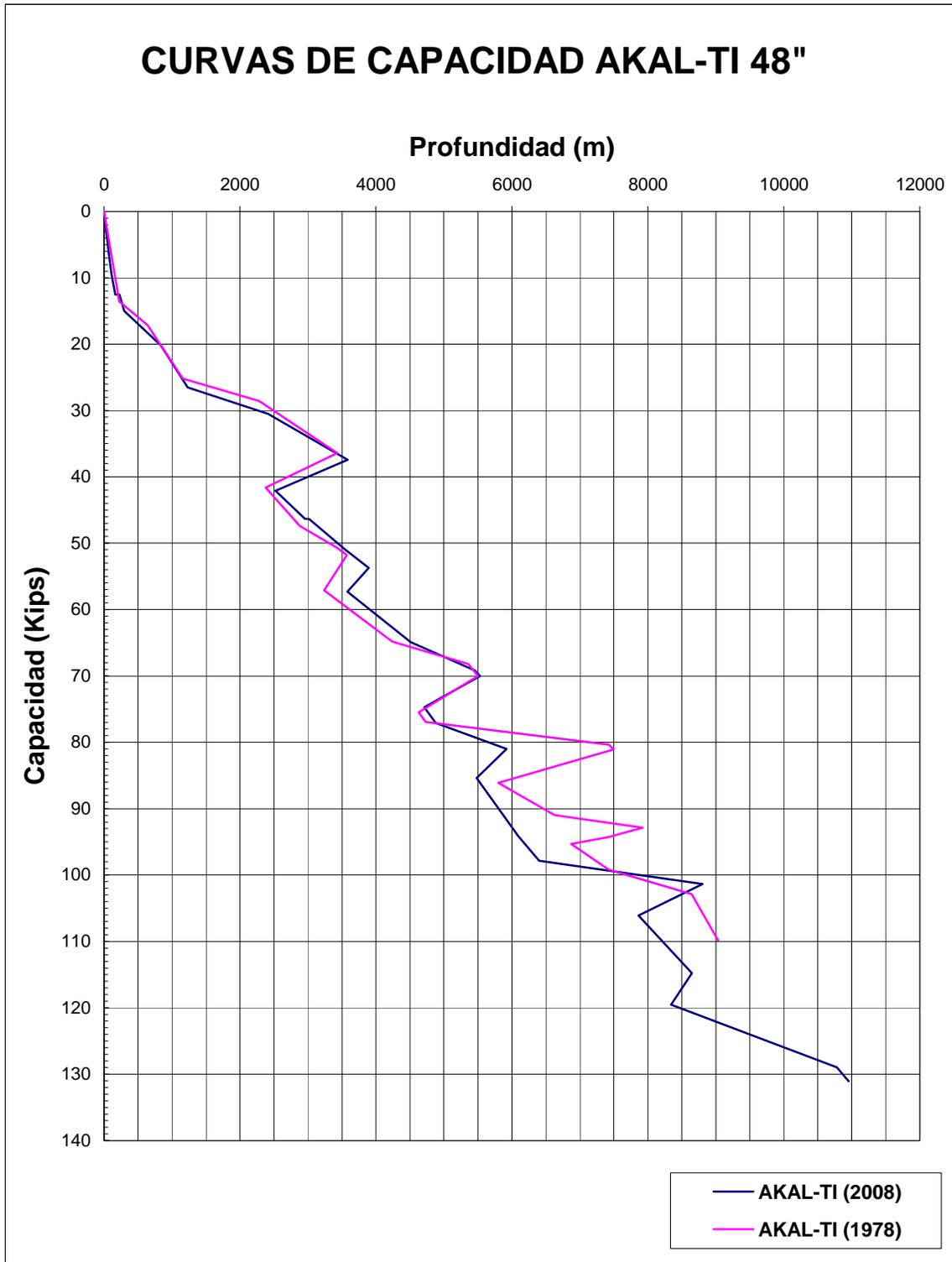
**CURVAS DE CAPACIDAD DE AKAL-TI 48”
AÑO 1978**

| PROFUNDIDAD | FRIC-UNIT | PUNTA UNIT | FA | QF+QP | PU1 |
|-------------|-----------|------------|----------|---------|------------|
| M | (KSF) | (KSF) | (KIPS) | (KIPS) | (Lb/in) |
| 0.00 | 0.13 | 1.17 | 0 | 0.00 | 130.032 |
| 13.55 | 0.447 | 5.03 | 161.109 | 224.32 | 1677.024 |
| 17.14 | 1.554 | 35.87 | 161.486 | 642.86 | 11955.168 |
| 25.16 | 1.456 | 22.2 | 881.455 | 1160.42 | 7401.024 |
| 28.57 | 1.598 | 138.4 | 882.033 | 2285.71 | 74653.91 |
| 36.43 | 1.997 | 199.73 | 2100.395 | 3428.57 | 234006.825 |
| 41.62 | 2.023 | 22.2 | 2101.149 | 2380.11 | 7401.024 |
| 47.41 | 2.171 | 22.2 | 2602.08 | 2881.05 | 7401.024 |
| 50.71 | 0.699 | 59.92 | 2602.62 | 3428.57 | 127246.375 |
| 51.79 | 0.699 | 59.92 | 2881.233 | 3571.43 | 183477.203 |
| 57.10 | 2.714 | 28.4 | 2881.874 | 3238.75 | 9468.144 |
| 64.83 | 3.166 | 33.53 | 3819.147 | 4240.49 | 11174.976 |
| 68.21 | 1.398 | 99.87 | 3820.001 | 5357.14 | 367303.591 |
| 70.00 | 1.398 | 99.87 | 4432.92 | 5500.00 | 510236.016 |
| 75.48 | 1.738 | 15.64 | 4433.511 | 4630.04 | 5213.808 |
| 76.93 | 1.738 | 15.64 | 4536.816 | 4733.35 | 5213.808 |
| 80.36 | 1.997 | 199.73 | 4537.52 | 7428.57 | 823131.469 |
| 81.07 | 1.997 | 199.73 | 5293.616 | 7500.00 | 1058920.61 |
| 86.13 | 4.08 | 40.36 | 5294.76 | 5801.92 | 13452.048 |
| 90.96 | 4.215 | 40.36 | 6120.296 | 6627.46 | 13452.048 |
| 92.14 | 1.997 | 199.73 | 6121.465 | 7428.57 | 1182812.7 |
| 92.86 | 1.997 | 199.73 | 6479.307 | 7928.00 | 1311502.76 |
| 94.29 | | | | 7428.57 | |
| 95.32 | 3.475 | 31.28 | 6480.337 | 6873.40 | 10425.024 |
| 99.18 | 3.475 | 31.28 | 7033.593 | 7426.66 | 10425.024 |
| 102.86 | 1.698 | 99.87 | 7034.573 | 8642.86 | 917816.451 |
| 109.83 | 1.698 | 99.87 | 7779.021 | 9033.99 | 1136279.68 |

**CURVAS DE CAPACIDAD DE AKAL-TI 48”
AÑO 2008**

| PROFUNDIDAD | FRIC-UNIT | PUNTA UNIT | FA | QF+QP | PU1 |
|-------------|-----------|------------|-----------|----------|------------|
| M | (KSF) | (KSF) | (KIPS) | (KIPS) | (Lb/in) |
| 0 | 0.079 | 0.71 | 0 | 0 | 79.056 |
| 6.1 | 0.201 | 2.39 | 35.21 | 65.243 | 704.926 |
| 6.13 | 0.201 | 2.39 | 35.461 | 65.494 | 707.102 |
| 9.45 | 0.301 | 3.3 | 69.816 | 111.284 | 1101.168 |
| 9.48 | 0.301 | 3.3 | 70.18 | 111.648 | 1101.168 |
| 12.5 | 0.39 | 4.13 | 113.193 | 165.091 | 1377.216 |
| 12.53 | 0.351 | 10.64 | 113.658 | 227.316 | 6471.811 |
| 14.94 | 0.351 | 14.24 | 148.529 | 297.058 | 10092.438 |
| 14.97 | 1.461 | 30.57 | 149.647 | 299.294 | 10190.88 |
| 20.12 | 1.545 | 28.96 | 468.761 | 832.672 | 9653.904 |
| 20.15 | 1.545 | 28.96 | 470.684 | 834.595 | 9653.904 |
| 26.52 | 1.678 | 26.96 | 893.894 | 1232.673 | 8988.192 |
| 30.52 | 1.755 | 152 | 896.005 | 2415.58 | 86255.556 |
| 37.44 | 1.999 | 199.82 | 1600.983 | 3584.42 | 162818.854 |
| 42.09 | 2.413 | 31.47 | 2131.155 | 2526.607 | 10491.12 |
| 46.33 | 2.518 | 31.47 | 2562.106 | 2957.558 | 10491.12 |
| 46.36 | 2.717 | 35.96 | 2565.361 | 3017.234 | 11988 |
| 50.9 | 2.877 | 35.96 | 3088.873 | 3540.746 | 11988 |
| 53.72 | 0.351 | 59.95 | 3090.858 | 3896.1 | 145990.716 |
| 57.33 | 2.903 | 31.47 | 3185.065 | 3580.517 | 10491.12 |
| 64.92 | 3.042 | 31.47 | 4115.175 | 4510.627 | 10491.12 |
| 69.19 | 0.351 | 99.91 | 4117.286 | 5454.55 | 577055.041 |
| 70 | 0.351 | 99.91 | 4258.088 | 5532.47 | 780287.497 |
| 74.71 | 1.698 | 35.96 | 4259.357 | 4711.23 | 11988 |
| 77.11 | 1.698 | 35.96 | 4427.364 | 4879.237 | 11988 |
| 80.99 | 1.698 | 99.91 | 4429.45 | 5922.07 | 540183.022 |
| 85.37 | 1.698 | 37.76 | 5005.563 | 5480.055 | 12588.048 |
| 93.88 | 1.698 | 37.76 | 5601.292 | 6075.784 | 12588.048 |
| 93.91 | 1.999 | 37.76 | 5603.592 | 6078.084 | 12588.048 |
| 97.84 | 1.999 | 37.76 | 5927.456 | 6401.948 | 12588.048 |
| 101.34 | 1.999 | 199.82 | 5929.944 | 8805.19 | 1387321.07 |
| 106.1 | 1.698 | 99.91 | 6608.005 | 7863.474 | 1067923.58 |
| 114.77 | 1.698 | 99.91 | 7544.662 | 8649.35 | 1380826.99 |
| 119.51 | 6.155 | 62.95 | 7549.5 | 8340.53 | 20981.808 |
| 128.93 | 6.365 | 62.95 | 9980.669 | 10771.7 | 20981.808 |
| 128.96 | 1.999 | 62.95 | 9985.821 | 10776.85 | 20981.808 |
| 131.08 | 1.999 | 62.95 | 10160.526 | 10951.56 | 20981.808 |

RESULTADOS DE LA COMPARATIVIDAD DE LAS CURVAS DE CAPACIDAD
AKAL-TI
(1978-1998)



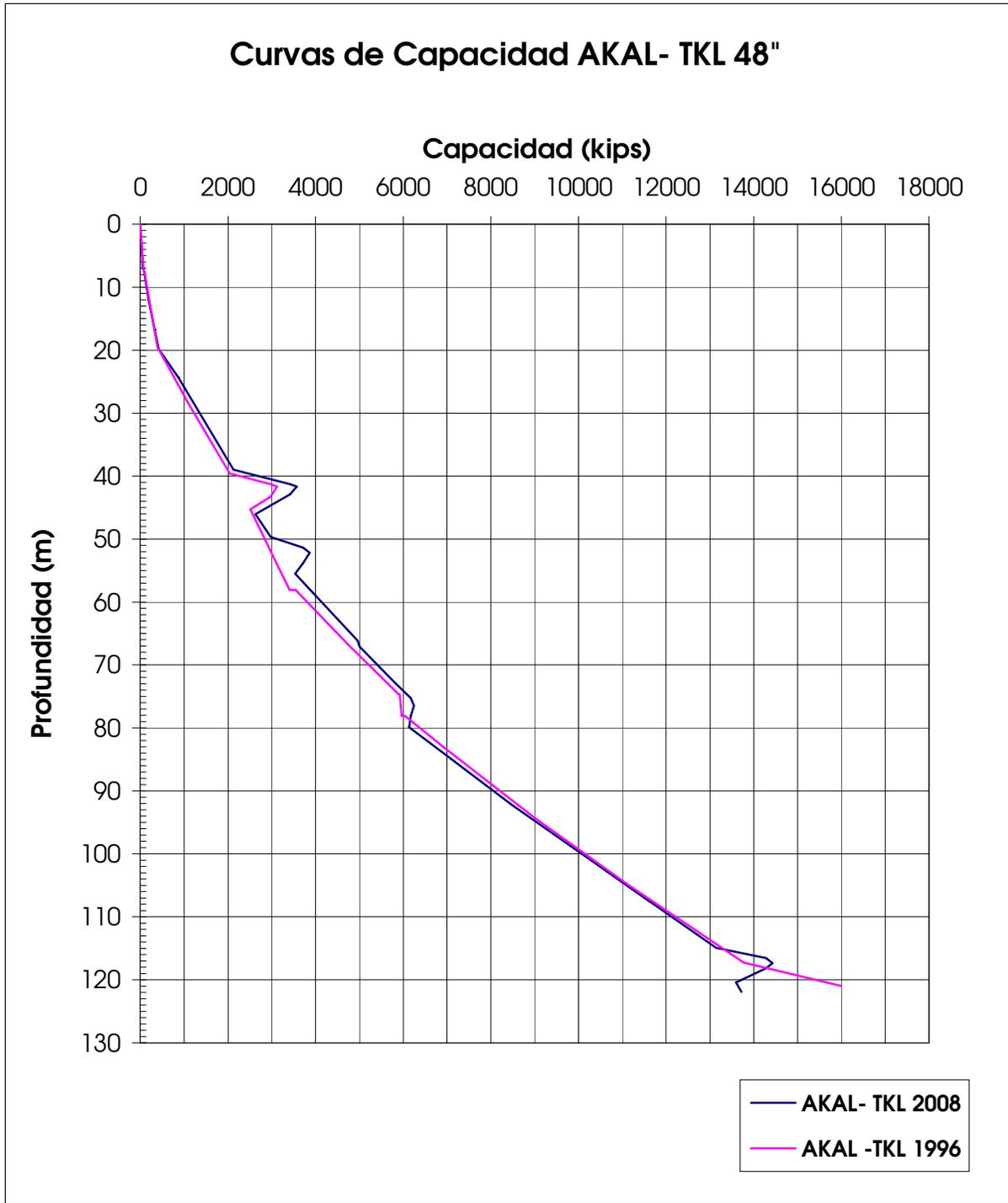
**CURVAS DE CAPACIDAD DE AKAL-TKL 48”
AÑO 1996**

| PROFUNDIDAD | FRIC-UNIT | PUNTA UNIT | FA | QF+QP | PU1 |
|-------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|
| M | (KSF) | (KSF) | (KIPS) | (KIPS) | (Lb/in) |
| 0.000 | 0.092 | 0.83 | 0 | 0 | 92.016 |
| 5.280 | 0.18 | 2.21 | 29.605 | 57.376 | 603.083 |
| 7.540 | 0.243 | 2.76 | 49.308 | 83.99 | 921.024 |
| 7.570 | 0.287 | 9.24 | 49.635 | 99.27 | 3729.004 |
| 15.080 | 0.307 | 28.2 | 141.593 | 283.186 | 20596.651 |
| 19.610 | 0.307 | 39.6 | 198.932 | 397.864 | 36730.544 |
| 19.640 | 1.442 | 22.37 | 200.025 | 400.05 | 7458.048 |
| 28.280 | 1.783 | 24.31 | 774.392 | 1079.871 | 8103.024 |
| 39.590 | 2.196 | 27.07 | 1702.039 | 2042.201 | 9024.048 |
| 41.270 | 2.005 | 199.72 | 1704.653 | 2975.21 | 213860.045 |
| 41.680 | 2.005 | 199.72 | 1920.399 | 3123.97 | 245185.653 |
| 43.290 | 2.005 | 199.72 | 2170.035 | 2975.21 | 283746.935 |
| 45.280 | 1.698 | 27.07 | 2172.309 | 2512.471 | 9024.048 |
| 52.040 | 1.698 | 27.07 | 2645.545 | 2985.707 | 9024.048 |
| 58.070 | 1.698 | 27.07 | 3067.662 | 3407.824 | 9024.048 |
| 58.100 | 3.238 | 37.85 | 3070.728 | 3546.351 | 12614.832 |
| 66.750 | 3.448 | 37.85 | 4262.877 | 4738.5 | 12614.832 |
| 74.660 | 3.658 | 37.85 | 5421.55 | 5897.173 | 12614.832 |
| 74.690 | 0.307 | 39.9 | 5423.988 | 5925.371 | 324605.539 |
| 76.550 | 0.307 | 39.9 | 5447.524 | 5948.907 | 341386.266 |
| 78.060 | 0.307 | 39.9 | 5466.637 | 5968.02 | 355424.827 |
| 78.090 | 4.229 | 45.86 | 5924.793 | 6045.666 | 15285.024 |
| 82.960 | 4.592 | 46.96 | 7981.345 | 6903.307 | 15653.952 |
| 94.270 | 4.86 | 48.07 | 10071.938 | 8998.299 | 16022.88 |
| 105.000 | 5.194 | 49.73 | 12616.968 | 11146.909 | 16574.976 |
| 117.280 | 5.309 | 51.38 | 12623.439 | 13770.388 | 17127.072 |
| 120.980 | 2.005 | 199.72 | 12845.078 | 15991.74 | 1962543.15 |

**CURVAS DE CAPACIDAD DE AKAL-TKL 48”
AÑO 2008**

| PROFUNDIDAD | FRIC-UNIT | PUNTA UNIT | FA | QF+QP | PU1 |
|-------------|-----------|------------|-----------|-----------|-------------|
| M | (KSF) | (KSF) | (KIPS) | (KIPS) | (Lb/in) |
| 0.000 | 0.119 | 1.070 | 0.000 | 0.000 | 118.944 |
| 4.570 | 0.129 | 1.350 | 23.360 | 40.324 | 399.232 |
| 4.600 | 0.129 | 1.350 | 23.523 | 40.487 | 400.877 |
| 7.010 | 0.186 | 1.800 | 39.168 | 61.787 | 600.048 |
| 7.040 | 0.201 | 5.520 | 39.407 | 78.814 | 2094.200 |
| 11.890 | 0.351 | 13.120 | 94.597 | 189.194 | 7630.308 |
| 11.920 | 0.351 | 33.000 | 95.037 | 190.074 | 17851.210 |
| 16.760 | 0.351 | 52.000 | 165.080 | 330.160 | 38349.078 |
| 16.790 | 0.351 | 20.880 | 165.507 | 331.014 | 16409.005 |
| 19.810 | 0.351 | 25.600 | 209.212 | 418.424 | 23341.489 |
| 19.840 | 1.424 | 22.480 | 210.318 | 420.636 | 7493.904 |
| 24.380 | 1.790 | 28.770 | 511.098 | 872.622 | 9590.832 |
| 24.410 | 1.790 | 28.770 | 513.297 | 874.821 | 9590.832 |
| 39.010 | 2.309 | 30.120 | 1746.939 | 2125.427 | 10040.976 |
| 41.270 | 1.999 | 199.820 | 1749.590 | 3421.490 | 205913.330 |
| 41.680 | | | | 3570.250 | |
| 42.890 | 1.999 | 199.820 | 2324.824 | 3421.490 | 298056.100 |
| 46.050 | 2.293 | 24.280 | 2327.488 | 2632.590 | 8093.952 |
| 49.680 | 2.374 | 24.280 | 2676.697 | 2981.799 | 8093.952 |
| 51.390 | 1.698 | 99.910 | 2679.235 | 3719.000 | 225260.610 |
| 52.200 | | | | 3867.770 | |
| 53.820 | 1.698 | 99.910 | 3082.440 | 3719.000 | 284232.672 |
| 55.500 | 3.077 | 35.960 | 3085.406 | 3537.279 | 11988.000 |
| 66.140 | 3.397 | 35.960 | 4505.326 | 4957.199 | 11988.000 |
| 67.090 | 3.005 | 28.770 | 4638.135 | 4999.659 | 9590.832 |
| 72.850 | 3.364 | 33.270 | 5394.319 | 5812.390 | 11091.168 |
| 75.260 | 0.999 | 59.950 | 5397.033 | 6173.550 | 310950.391 |
| 76.470 | | | | 6247.930 | |
| 78.090 | 0.999 | 59.950 | 5684.505 | 6173.550 | 373794.326 |
| 79.890 | 3.716 | 35.960 | 5687.408 | 6139.281 | 11988.000 |
| 85.340 | 4.313 | 46.760 | 6589.433 | 7177.019 | 15587.856 |
| 85.370 | 4.313 | 46.760 | 6594.748 | 7182.334 | 15587.856 |
| 92.050 | 4.645 | 49.190 | 7828.252 | 8446.374 | 16394.832 |
| 92.080 | 4.645 | 49.190 | 7834.032 | 8452.154 | 16394.832 |
| 102.720 | 5.070 | 53.060 | 9964.798 | 10631.550 | 17685.216 |
| 102.750 | 5.070 | 53.060 | 9971.043 | 10637.795 | 17685.216 |
| 107.590 | 5.125 | 51.250 | 10988.236 | 11632.244 | 17082.144 |
| 107.620 | 5.125 | 51.250 | 10994.544 | 11638.552 | 17082.144 |
| 114.910 | 5.072 | 48.560 | 12526.855 | 13137.060 | 16187.904 |
| 116.530 | 1.999 | 199.820 | 12531.253 | 14280.990 | 1838431.497 |
| 117.340 | | | | 14429.750 | |
| 118.150 | 1.999 | 199.820 | 12981.216 | 14280.990 | 2036467.141 |
| 120.430 | 1.999 | 48.560 | 12983.704 | 13593.909 | 16187.904 |
| 121.920 | 1.999 | 48.560 | 13106.486 | 13716.691 | 16187.904 |

RESULTADOS DE LA COMPARATIVIDAD DE LAS CURVAS DE CAPACIDAD
 AKAL-TI
 (1996-2008)



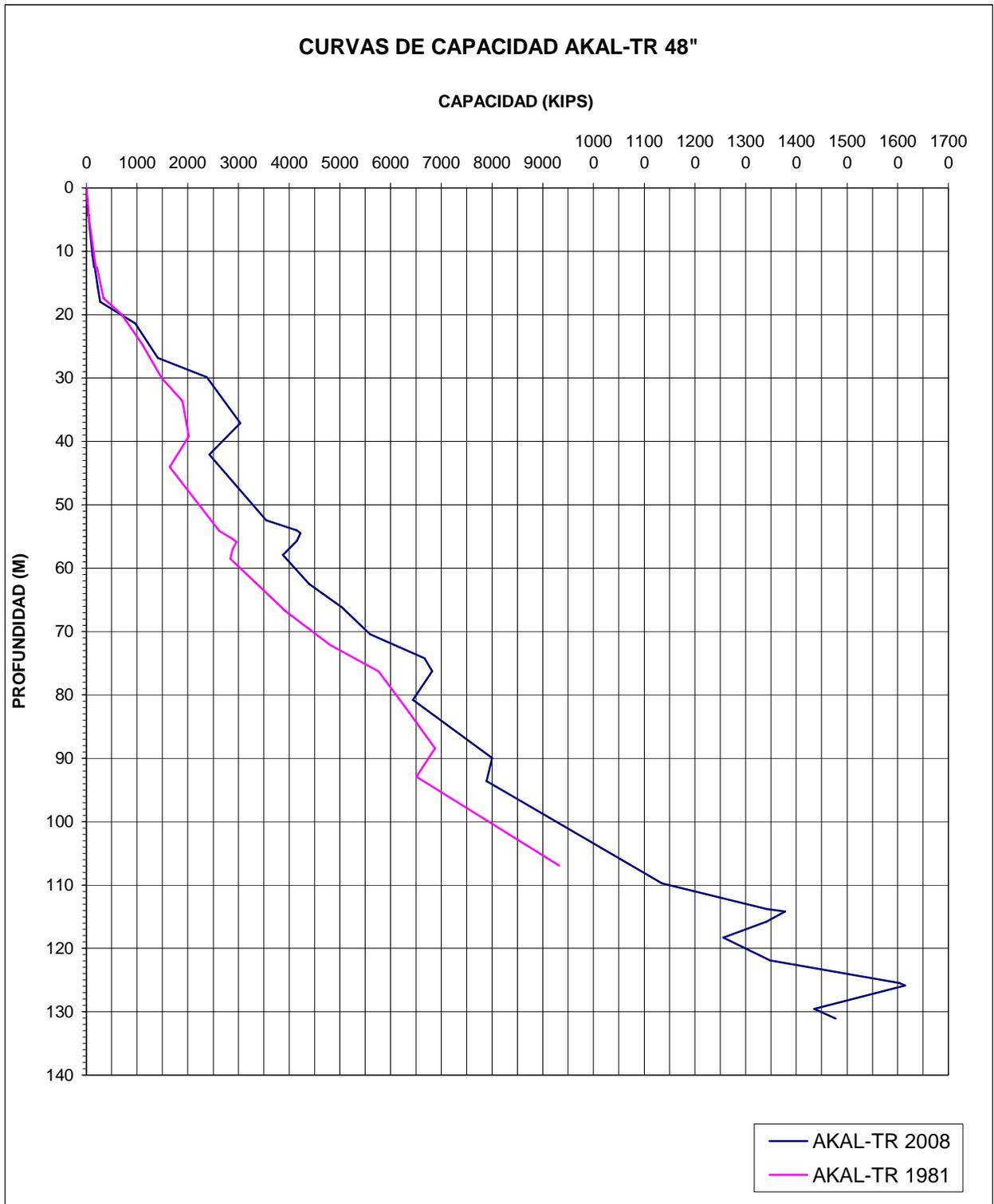
**CURVAS DE CAPACIDAD DE AKAL-TR 48”
AÑO 1981**

| PROFUNDIDAD | FRIC-UNIT | PUNTA UNIT | FA | QF+QP | PU1 |
|-------------|-----------|------------|----------|----------|------------|
| M | (KSF) | (KSF) | (KIPS) | (KIPS) | (Lb/in) |
| 0.00 | 0.198 | 1.78 | 0 | 0 | 198 |
| 4.84 | 0.103 | 1.78 | 30.008 | 52.375 | 475.185 |
| 12.58 | 0.403 | 5.95 | 110.757 | 185.525 | 1982.88 |
| 12.59 | 0.208 | 7.76 | 110.87 | 208.382 | 24306.506 |
| 15.48 | 0.307 | 11.44 | 141.581 | 283.162 | 42711.626 |
| 17.42 | 0.351 | 13.84 | 167.831 | 335.662 | 57236.311 |
| 17.43 | 1.327 | 27.14 | 168.145 | 336.29 | 9047.808 |
| 19.98 | 1.942 | 41.61 | 428.374 | 699.59 | 13868.928 |
| 24.69 | 1.67 | 31.31 | 710.066 | 1103.507 | 10437.12 |
| 30.00 | 1.809 | 31.31 | 1090.841 | 1484.282 | 10437.12 |
| 33.64 | 0.351 | 59.97 | 1091.381 | 1893 | 63591.035 |
| 39.19 | 0.351 | 59.97 | 1294.221 | 2016.46 | 153308.668 |
| 44.03 | 2.203 | 27.54 | 1294.699 | 1640.767 | 9180 |
| 54.18 | 2.479 | 27.54 | 2274.282 | 2620.35 | 9180 |
| 55.35 | 1.726 | 64.4 | 2275.074 | 2880.66 | 758463.282 |
| 55.84 | 1.884 | 70.32 | 2598.51 | 2962.96 | 891695.285 |
| 57.09 | | | | 2880.66 | |
| 58.55 | 2.158 | 19.42 | 2599.277 | 2843.309 | 6473.952 |
| 66.77 | 3.103 | 34.48 | 3490.433 | 3923.709 | 11492.928 |
| 72.09 | 3.716 | 44.59 | 4238.487 | 4798.805 | 14862.096 |
| 76.30 | 1.868 | 88.8 | 4239.543 | 5761.32 | 1376175.01 |
| 82.73 | 1.868 | 103.84 | 5058.532 | 6363.385 | 1838721.38 |
| 88.44 | 1.868 | 118.24 | 5840.891 | 6872.43 | 2343298.62 |
| 92.90 | 4.661 | 53.1 | 5842.122 | 6509.377 | 17699.904 |
| 106.92 | 5.074 | 53.1 | 8655.712 | 9322.967 | 17699.904 |

**CURVAS DE CAPACIDAD DE AKAL-TR 48”
AÑO 2008**

| PROFUNDIDAD | FRIC-UNIT | PUNTA UNIT | FA | QF+QP | PU1 |
|-------------|-----------|------------|-----------|----------|-------------|
| M | (KSF) | (KSF) | (KIPS) | (KIPS) | (Lb/in) |
| 0.00 | 0.079 | 0.710 | 0.000 | 0.00 | 79.056 |
| 4.27 | 0.143 | 1.690 | 19.540 | 39.08 | 459.222 |
| 4.30 | 0.143 | 1.690 | 19.716 | 39.43 | 461.138 |
| 10.67 | 0.318 | 3.180 | 80.246 | 120.21 | 1058.832 |
| 10.70 | 0.318 | 3.180 | 80.636 | 120.60 | 1058.832 |
| 12.50 | 0.373 | 3.610 | 106.271 | 151.63 | 1203.120 |
| 12.53 | 0.414 | 4.490 | 106.761 | 163.18 | 1496.880 |
| 15.54 | 0.479 | 4.490 | 162.164 | 218.59 | 1496.880 |
| 15.57 | 0.479 | 4.490 | 162.755 | 219.18 | 1496.880 |
| 17.98 | 0.499 | 4.490 | 211.348 | 267.77 | 1496.880 |
| 21.38 | 2.198 | 44.960 | 484.256 | 962.96 | 14985.216 |
| 26.82 | 1.998 | 35.960 | 955.632 | 1407.51 | 11988.000 |
| 29.86 | 1.815 | 157.200 | 958.007 | 2370.37 | 90165.215 |
| 37.12 | 1.999 | 199.820 | 1483.190 | 3037.04 | 148642.132 |
| 42.09 | 2.277 | 26.960 | 2082.965 | 2421.74 | 8988.192 |
| 52.43 | 2.728 | 31.470 | 3149.718 | 3545.17 | 10491.120 |
| 54.06 | 1.698 | 99.910 | 3152.470 | 4148.15 | 243247.106 |
| 54.47 | 1.698 | 99.910 | 3533.974 | 4222.22 | 300096.534 |
| 55.68 | | | | 4148.15 | |
| 57.93 | 2.696 | 26.960 | 3535.796 | 3874.58 | 8988.192 |
| 62.48 | 2.786 | 26.960 | 4049.972 | 4388.75 | 8988.192 |
| 66.17 | 3.237 | 35.960 | 4053.679 | 5037.04 | 11988.000 |
| 70.41 | 3.437 | 35.960 | 5140.537 | 5592.41 | 11988.000 |
| 74.24 | 1.698 | 99.910 | 5143.704 | 6666.66 | 440408.373 |
| 76.25 | 1.698 | 99.910 | 5866.840 | 6814.81 | 590895.058 |
| 80.80 | 4.146 | 44.960 | 5870.472 | 6435.44 | 14985.216 |
| 84.43 | 4.246 | 44.960 | 6498.395 | 7063.36 | 14985.216 |
| 89.97 | 1.398 | 59.950 | 6692.653 | 8000.00 | 451284.313 |
| 93.60 | 5.315 | 62.950 | 7102.141 | 7893.17 | 20981.808 |
| 109.73 | 5.379 | 55.010 | 10657.854 | 11349.11 | 18335.808 |
| 113.78 | 5.379 | 55.010 | 10664.476 | 13407.41 | 18335.808 |
| 114.18 | 5.396 | 53.960 | 11130.926 | 13777.77 | 17985.024 |
| 115.79 | | | | 13407.41 | |
| 118.29 | 6.085 | 62.950 | 11770.498 | 12561.53 | 20981.808 |
| 121.92 | 6.155 | 62.950 | 12686.346 | 13477.38 | 20981.808 |
| 125.48 | 2.397 | 249.770 | 12691.611 | 16029.63 | 3380515.674 |
| 125.88 | 2.397 | 249.770 | 13441.676 | 16148.15 | 3856380.317 |
| 129.57 | 6.873 | 71.930 | 13447.381 | 14351.25 | 23976.000 |
| 131.06 | 6.873 | 71.930 | 13869.624 | 14773.50 | 23976.000 |

RESULTADOS DE LA COMPARATIVIDAD DE LAS CURVAS DE CAPACIDAD
AKAL-TR
(1981-2008)



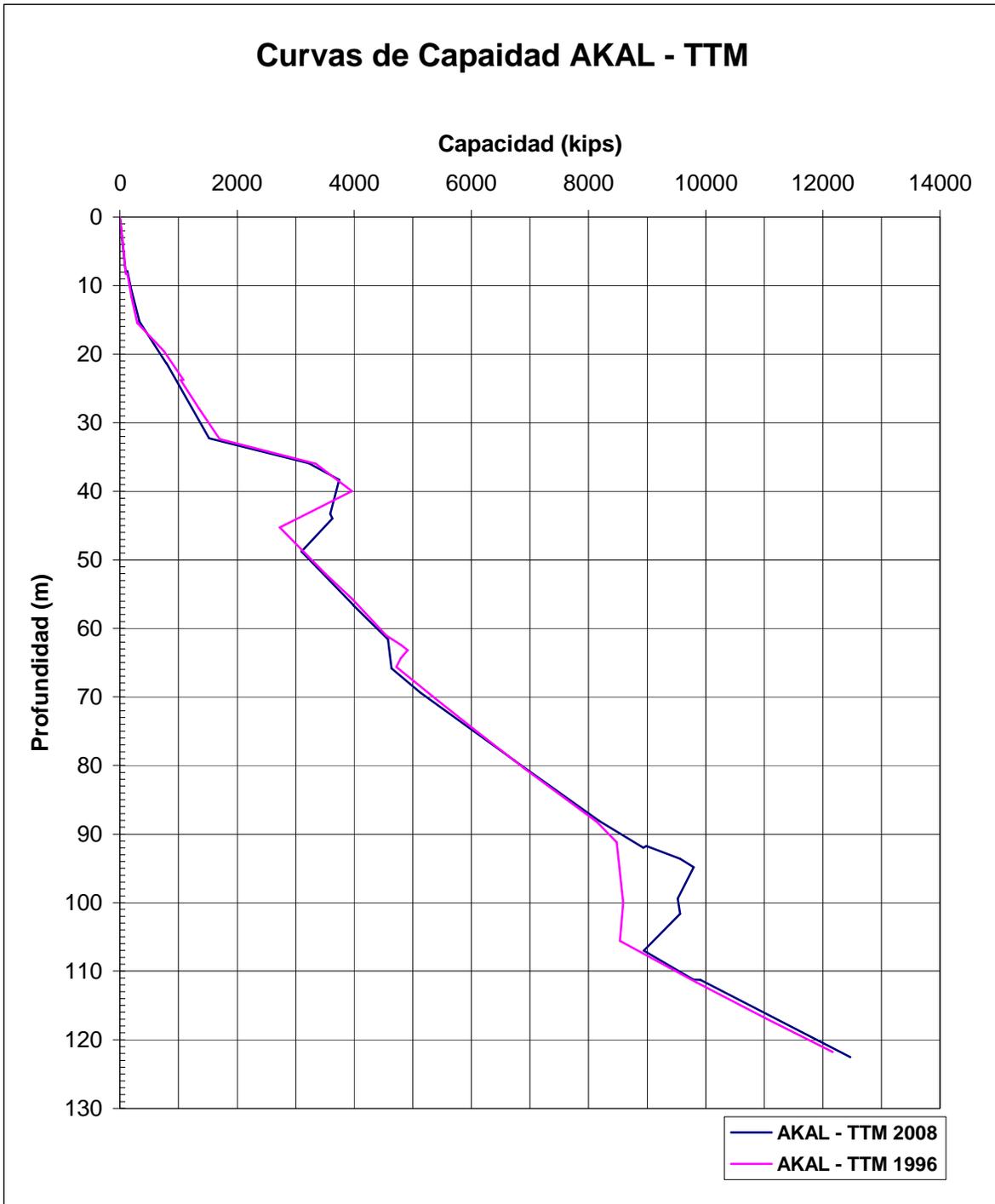
**CURVAS DE CAPACIDAD DE AKAL-TTM 48”
AÑO 1996**

| PROFUNDIDAD | FRIC-UNIT | PUNTA UNIT | FA | QF+QP | PU1 |
|-------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|
| M | (KSF) | (KSF) | (KIPS) | (KIPS) | (Lb/in) |
| 0.000 | 0.184 | 1.660 | 0.000 | 0.000 | 184.032 |
| 3.770 | 0.153 | 2.210 | 26.188 | 52.376 | 508.076 |
| 8.300 | 0.264 | 2.760 | 65.130 | 99.812 | 921.024 |
| 8.330 | 0.195 | 7.280 | 65.406 | 130.812 | 16360.674 |
| 11.690 | 0.307 | 13.200 | 100.176 | 200.352 | 38881.977 |
| 15.460 | 0.307 | 19.840 | 147.889 | 295.778 | 73983.596 |
| 15.490 | 1.354 | 24.870 | 148.907 | 297.814 | 8289.216 |
| 19.610 | 1.597 | 28.180 | 399.523 | 753.633 | 9392.976 |
| 23.760 | 1.857 | 30.940 | 695.012 | 1083.804 | 10314.000 |
| 23.790 | 1.715 | 27.070 | 697.211 | 1037.373 | 9024.048 |
| 27.910 | 1.865 | 27.070 | 1001.245 | 1341.407 | 9024.048 |
| 32.430 | 1.985 | 27.070 | 1359.979 | 1700.141 | 9024.048 |
| 36.000 | 2.005 | 199.720 | 1363.259 | 3346.610 | 145232.617 |
| 40.000 | 2.005 | 199.720 | 1889.800 | 3960.160 | 213389.102 |
| 45.280 | 2.296 | 24.310 | 2422.296 | 2727.775 | 8103.024 |
| 52.040 | 2.735 | 30.380 | 3123.366 | 3505.121 | 10127.808 |
| 55.810 | 2.946 | 33.150 | 3564.860 | 3981.423 | 11048.832 |
| 61.090 | 2.849 | 28.180 | 4195.585 | 4549.695 | 9392.976 |
| 62.400 | 0.307 | 59.960 | 4197.533 | 4796.810 | 219374.845 |
| 63.200 | 0.307 | 59.960 | 4225.756 | 4908.370 | 236935.495 |
| 64.400 | 0.307 | 59.960 | 4254.356 | 4796.810 | 255503.661 |
| 65.640 | 3.414 | 37.020 | 4256.643 | 4721.836 | 12339.216 |
| 70.520 | 3.537 | 37.020 | 4955.891 | 5421.084 | 12339.216 |
| 74.660 | 3.619 | 37.020 | 5566.599 | 6031.792 | 12339.216 |
| 80.320 | 3.743 | 37.020 | 6425.510 | 6890.703 | 12339.216 |
| 88.240 | 3.948 | 37.020 | 7681.117 | 8146.310 | 12339.216 |
| 91.200 | 0.307 | 59.960 | 7683.768 | 8478.090 | 703831.810 |
| 100.000 | 0.307 | 59.960 | 7788.443 | 8589.640 | 853688.143 |
| 105.620 | 5.028 | 49.730 | 7906.262 | 8531.169 | 16574.976 |
| 111.620 | 5.309 | 51.380 | 9184.752 | 9830.393 | 17127.072 |
| 116.900 | 5.480 | 53.040 | 10359.032 | 11025.533 | 17679.168 |
| 121.800 | 5.655 | 54.140 | 11483.727 | 12164.050 | 18048.096 |

**CURVAS DE CAPACIDAD DE AKAL-TTM 48”
AÑO 2008**

| PROFUNDIDAD | FRIC-UNIT | PUNTA UNIT | FA | QF+QP | PU1 |
|-------------|-----------|------------|-----------|-----------|-------------|
| M | (KSF) | (KSF) | (KIPS) | (KIPS) | (Lb/in) |
| 0.000 | 0.150 | 1.350 | 0.000 | 0.000 | 150.048 |
| 7.920 | 0.247 | 2.610 | 64.815 | 97.612 | 870.048 |
| 7.950 | 0.239 | 6.560 | 65.117 | 130.234 | 2737.306 |
| 10.060 | 0.351 | 10.160 | 90.777 | 181.554 | 5133.304 |
| 10.090 | 0.351 | 25.600 | 91.217 | 182.434 | 18182.678 |
| 15.240 | 0.351 | 47.600 | 165.733 | 331.466 | 49290.463 |
| 15.270 | 1.408 | 26.960 | 166.814 | 333.628 | 8988.192 |
| 21.340 | 1.438 | 21.570 | 522.922 | 793.971 | 7191.072 |
| 21.370 | 1.438 | 21.570 | 524.706 | 795.755 | 7191.072 |
| 32.310 | 1.774 | 21.570 | 1249.048 | 1520.097 | 7191.072 |
| 35.910 | 2.397 | 249.770 | 1251.611 | 3226.340 | 219587.142 |
| 38.330 | 2.397 | 249.770 | 2332.739 | 3744.860 | 411978.274 |
| 43.310 | 1.698 | 99.910 | 2335.265 | 3590.734 | 172773.677 |
| 43.980 | 1.698 | 99.910 | 2717.498 | 3629.630 | 221931.671 |
| 48.800 | 2.644 | 30.120 | 2720.175 | 3098.663 | 10040.976 |
| 56.690 | 2.845 | 30.120 | 3612.914 | 3991.402 | 10040.976 |
| 56.720 | 2.845 | 30.120 | 3616.420 | 3994.908 | 10040.976 |
| 61.570 | 2.945 | 30.120 | 4195.273 | 4573.761 | 10040.976 |
| 61.600 | 0.351 | 30.120 | 4197.321 | 4575.809 | 10040.976 |
| 65.840 | 0.351 | 30.120 | 4258.668 | 4637.156 | 10040.976 |
| 69.390 | 3.397 | 35.960 | 4261.005 | 5127.570 | 11988.000 |
| 79.250 | 3.780 | 38.660 | 6240.502 | 6726.304 | 12887.856 |
| 79.280 | 3.780 | 38.660 | 6245.151 | 6730.953 | 12887.856 |
| 88.090 | 4.092 | 40.470 | 7674.735 | 8183.281 | 13490.928 |
| 91.990 | 0.351 | 99.910 | 7677.500 | 8930.040 | 1074421.883 |
| 91.740 | 0.351 | 99.910 | 7729.875 | 8985.344 | 1170055.704 |
| 93.600 | 1.698 | 149.860 | 7731.144 | 9563.790 | 1816995.263 |
| 94.810 | 1.698 | 149.860 | 8262.460 | 9794.240 | 2171081.664 |
| 99.390 | 0.351 | 99.910 | 8263.729 | 9519.198 | 1400371.994 |
| 101.670 | 0.351 | 99.910 | 8373.556 | 9563.790 | 1632552.784 |
| 107.010 | 4.795 | 44.960 | 8376.760 | 8941.727 | 14985.216 |
| 111.250 | 4.895 | 44.960 | 9223.633 | 9788.600 | 14985.216 |
| 111.280 | 5.396 | 53.960 | 9230.029 | 9908.090 | 17985.024 |
| 122.530 | 5.635 | 53.960 | 11788.115 | 12466.176 | 17985.024 |

RESULTADOS DE LA COMPARATIVIDAD DE LAS CURVAS DE CAPACIDAD
AKAL-TTM
(1996-2008)



COMPARATIVA POR PERFIL ESTRATIGRÁFICO, RESISTENCIA DE CONO, PRESIÓN DE PORO Y POR CURVAS DE GRANULOMETRÍA.

Comparación por estratos de suelo, por resistencia de cono y presión de poro para AKAL.

Características de estratos donde se ven más desfavorecidos

| AKAL- MA | | | |
|----------------------|--|----------------------|--|
| Prof. (m) | 1981 | Prof. (m) | 2008 |
| 33.6- 48.5 | -Arena fina de medio densa a densa gris. -Arena fina arcilloso medio denso gris verdoso oscuro. | 30.5- 47.5 | -Arena fina muy compacta color gris |
| 51.2- 54.6 | -Arena arcillosa calcárea medio densa, gris verdosa oscura. | 47.5- 59.4 | -Arcilla calcárea muy firme, color gris verdoso. |
| 57.6 -65.5 | -Arcilla arenosa carbonatada muy firme gris verdosa con fragmento de concha. -Arena fina arcillosa carbonatada densa gris oscuro. -Arena de gruesa a fina carbonatada, densa gris. | 57.4- 64.0 | -Arena limosa, carbonatada sílica, muy compacta, color gris. -Arena carbonatada sílica compacta a muy compacta, color café. |
| 88.08-111.3 | -Arena arcillosa carbonatada muy densa gris verdosa. -Arena de gruesa a fina carbonatada, muy densa café gris seco. -Arena limosa carbonatada, de densa a muy densa, gris verdoso. | 86.9- 111.9 | |

Características de estratos donde se ven más desfavorecidos

AKAL- TGP2

| Prof. (m) | 1997 | Prof. (m) | 2008 |
|--------------|---|--------------|--|
| 14.0- 24.7 | -Arcilla muy dura de color gris verdoso, con manchas color marrón. | 12.0- 24.7 | -Arcilla calcárea muy firme, color gris verdoso. |
| 24.7- 40.8 | -Arena fina medio densa a densa calcárea gris olivo. | 24.7-40.5 | -Arcilla calcárea muy firme, color gris verdoso -Arena fina limosa medio compacta a muy compacta, color gris olivo. |
| 49.7- 56.1 | -Arena densa gris carbonatada sílica | 48.8- 56.1 | -Arena fina limosa calcárea compacta a muy compacta, color gris claro |
| 64.3- 85.0 | -Arena fina densa gris olivo sílica carbonatada sílica -Arena fina medio densa a densa gris olivo calcárea sílica. | 64.6- 91.1 | -Arena fina limosa calcárea compacta a muy compacta color gris olivo |
| 96.3- 111.3 | -Arena fina densa a muy densa | 94.8-111.13 | -Arena fina limosa a arena fina calcárea compacta a muy compacta, color gris olivo. |
| 116.4-132.7 | -Arena fina densa a muy densa gris oscuro calcárea. -Arena fina muy densa gris calcárea limosa | 116.7-131.1 | -Arena fina limosa a arena fina calcárea compacta a muy compacta, color gris verdoso. |

Características de estratos donde se ven más desfavorecidos

| AKAL- TH | | | |
|--------------|---|--------------|--|
| Prof. (m) | 1997 | Prof. (m) | 2008 |
| 7.9-10.7 | -Arena limosa carbonatada sílica gris clara medio compacta a compacta | 6.4-12.5 | -Arena limosa calcárea a carbonatada sílica medio compacta, color gris claro. |
| 22.3-37.5 | -Arena fina a fina limosa calcárea gris compacta | 24.1-37.2 | -Arenisca débil amaneradamente fuerte, intercalada con arena fina limosa calcárea compacta a muy compacta color gris oscuro. |
| 41.8-51.2 | -Arena limosa carbonatada sílica gris suelta. | 41.1-51.5 | -Arena limosa a arena carbonatada compacta a muy compacta color blanco. |
| 54.9-77.4 | -Arena fina limosa carbonatada sílica a calcárea gris medio compacta a muy compacta. *Arena fina limosa calcárea 67.1 *Capa cementada 68.0 a 68.3 | 56.4-78.6 | -Arena fina limosa calcárea compacta a muy compacta color gris. *Con capas de areniscas moderadamente fuerte bajo 71.9 * Capa de arena arcillosa 75.9 |
| 82.0-103.3 | -Arena fina limosa calcárea gris oliva compacta -Arena fina a fina limosa gris obscura medio compacta a compacta intercalada con arcilla calcárea dura. | 82.6-103.9 | -Arena fina limosa calcárea compacta a muy compacta gris oscuro. |
| 106.1-111.6 | -Arena fina limosa calcárea gris media compacta a compacta. *Calcilutita gris (caliza arenoso) 116.6-117.3 | 119.9-121.3 | -Limo arenoso a arena fina limosa calcárea compacta a muy compacta. -Arcilla calcárea dura color gris |

Características de estratos donde se ven más desfavorecidos

| Prof. (m) | 1978 | AKAL- TI | |
|--------------|---|--------------|---|
| | | Prof. (m) | 2008 |
| | | 12.5-14.9 | -Arena limosa carbonatada sílica medio compacta color gris claro |
| 24.7-41.8 | -Arena fina de color gris oscuro con fragmentos de concha calcárea | 26.5-42.1 | -Arena fina compacta a muy compacta color gris olivo |
| 47.2-56.7 | -Limo arenoso con carbonato gris amarillento | 50.9-57.3 | -Arena limosa carbonatada medio compacta a compacta color gris |
| 65.2-109.7 | -Arena fina limosa calcárea medio gris -Arena fina calcárea con fragmentos de concha medio gris Arena fina calcárea gris olivo -Arena fina limosa calcárea medio gris. | 64.9-119.5 | Arena fina limosa a arena fina calcárea medio compacta a muy compacta, color gris olivo |
| | | 128.9-131.1 | -Arena fina con limo calcárea compacta, color gris olivo. |

Características de estratos donde se ven más desfavorecidos

| Prof. (m) | 1996 | AKAL- TKL | |
|--------------|---|--------------|--|
| | | Prof. (m) | 2008 |
| 7.3- 19.5 | -Arena a arena limosa carbonatada sílica gris verdosa compacta. | 7.0- 19.6 | -Arena limosa carbonatada sílica a carbonatada compacta a muy compacta |
| 39.6- 44.8 | -Arena fina gris compacta | 39- 46 | -Arena fina calcárea compacta a muy compacta color gris olivo |
| 44.8- 57.6 | -Arcilla calcárea gris olivo muy firme intercalado con arena fina limosa calcárea medio compacta a compacta | 46- 55.5 | -Arcilla calcárea muy firme -Arena fina medio compacta color gris olivo |
| 74.7- 78 | -Arena fina limosa carbonatada sílica gris medio compacta | 72.8- 79.9 | Limo a arena limosa, carbonatada sílica, compacta a muy compacta. |
| 117.3- 121 | -Arena fina calcárea gris olivo compacta | 114.9-121.9 | -Arena fina limosa a fina calcárea compacta a muy compacta color gris olivo. *Con fragmentos e concha y bolsillos de arcilla *Con limo |

Características de estratos donde se ven más desfavorecidos

| Prof. (m) | 1981 | AKAL- TR Prof. (m) | 2008 |
|--------------|--|--------------------------|---|
| 12.8- 17.06 | -Limo carbonatado Arcilloso suelto, gris claro, con fragmentos de concha y bolsas de arcilla | 12.5- 18 | -Arena fina limosa calcárea suelto gris claro intercalado con arcilla de baja plasticidad calcárea blanda, color gris verdoso |
| 29.6- 43.6 | -Arena fina limosa densa café verdoso | 26.8- 42.1 | -Arena fina limosa a arena fina calcárea compacta a muy compacta color amarillo pedrusco |
| 53.6- 58.2 | -Arena fina limosa calcárea medio densa | 52.4- 57.9 | -Limo arenoso a arena fina limosa calcárea compacto a muy compacto |
| 71.6- 92.7 | -Arena fina limosa calcárea, de medio densa a densa. | 70.4- 93.6 | -Arena fina limosa calcárea medio compacta a compacta |
| | | 111.9-131.1 | -Arcilla calcárea dura -Arena fina limosa calcárea medio compacta a compacta -Arena fina calcárea muy compacta color gris *Capas de arcilla *Limo arenoso, color gris verdoso con bolsillos de arcilla y rastros de grava *Limosa con fragmentos de madera |

Características de estratos donde se ven más desfavorecidos

| AKAL- TTM | | | |
|--------------|---|--------------|---|
| Prof. (m) | 1996 | Prof. (m) | 2008 |
| 32.9-45.9 | -Arena fina gris a gris obscura compacta | 32.3 -48.8 | -Arena fina limosa a fina compacta a muy compacta color gris |
| 61.3-65.8 | -Arena fina animosa carbonatada sílicea gris compacta | 61.6- 65.8 | -Arena arcillosa carbonatada Sílicea medio compacta color gris oscuro. |
| 88.4- 106.1 | -Arena fina carbonatada sílicea gris compacta | 88.1-107 | -Arena limosa carbonatada sílicea a carbonatada muy compacta color gris oscuro. |
| 106.1-121.9 | -Arcilla calcárea gris oliva dura | 107- 122.5 | -Arcilla calcárea dura color gris |

COMPARATIVA POR MEDIO DE CURVAS DE GRANULOMETRIA

Comparativa en las Curvas de Granulometría AKAL-MA

| Prof. (m) | 1981 | Prof. (m) | 2008 |
|--------------|--|---------------|---------------------------------------|
| 11.27-13.26 | -Arena arcillosa gris, con fragmentos de concha y gravilla. | 10.21-12.25 | -Arena limosa carbonatada sílicea. |
| 34.59-46.79 | -Arena fina arcillosa gris verdoso oscuro, con fragmentos de concha. | 32.86 | -Arena fina |
| 52.88 | -Arena arcillosa, gris verdosa oscura, con fragmentos de concha. | 47.55 | -Limo arenoso |
| 92.51 | -Arena fina arcillosa ,gris oscuro con fragmentos de concha | 63.28 | -Arena Limosa |
| 110.79 | -Arena limosa carbonatada gris, verdosa con fragmentos de concha y coral. | 90.68- 105.89 | -Arena carbonatada |

Comparativa en las Curvas de Granulometría AKAL-TGP2

| Prof. (m) | 1997 | Prof. (m) | 2008 |
|--------------|--------------------------------|---------------|--|
| 13.87 | -Arena Calcárea | 12.62-14.48 | -Arena fina limosa calcárea y carbonatada sílica |
| 28.04-35.05 | -Arena Fina Limosa Calcárea | 30.33-38.01 | -Arena Fina Limosa |
| 53.95 | -Arena Carbonatada Limosa | 51.82 | -Arena fina limosa calcárea |
| 65.99 | -Arena Fina Carbonatada Limosa | 71.26 | -Arena fina limosa |
| 80.47 | -Arena Fina Calcárea Limosa | 80.83 | -Arena fina limosa calcárea |
| 99.21-106.62 | -Arena Fina Calcárea limosa | 102.84-103.54 | -Arena fina limosa |
| 117.65 | -Arena fina Calcárea | 107.11 | -Arena fina limosa |
| 129.08 | -Arena fina limosa calcárea | 126.8 | -Arena fina limosa calcárea |

| Comparativa en las Curvas de Granulometría AKAL-TH | | | |
|---|-----------------------------------|----------------------|---------------------------------------|
| Prof. (m) | 1998 | Prof. (m) | 2008 |
| | | 7.86 | -Arena limosa carbonatada |
| | | 10.06 | -Grava limosa calcárea |
| 8.5 | -Arena limosa carbonatada sílica. | 10.52 | -Grava calcárea |
| | | 12.34 | -Arena media a gruesa limosa calcárea |
| 24.2-36.00 | -Arena fina limosa calcárea. | 32.98 | -Arena fina gruesa calcárea |
| 44.00 | -Arena limosa carbonatada sílica | 43.59-48.22 | -Arena carbonatada |
| 68.4-85.3 | -Arena fina limosa calcárea | 61.36 | -Arena fina limosa calcárea |
| 88.8 | -Arena fina a media calcárea | 87.93 | -Arena fina gruesa limosa calcárea |
| 99.88 | -Arena fina limosa calcárea | 118.51 | -Limo arenoso calcáreo |
| 107.4 | -Arena fina limosa | | |

| Comparativa en las Curvas de Granulometría AKAL-TI | | | |
|---|------------------------|----------------------|-------------------------------|
| Prof. (m) | 1978 | Prof. (m) | 2008 |
| | | 13.72 | -Arena limosa carbonatada |
| 30.48-39.62 | -Arena fina calcárea | 28.59-35.91 | -Arena fina |
| 69.95 | -Arena fina limosa | 53.16 | -Arena limosa carbonatada. |
| 79.25 | -Arena fina calcárea | 70.10-112.29 | -Arena fina calcárea con limo |
| 91.29-109.73 | -Arena limosa calcárea | | |

Comparativa en las Curvas de Granulometría AKAL-TKL

| Prof. (m) | 1996 | Prof. (m) | 2008 |
|----------------------|--------------------------------|----------------------|-----------------------------|
| 8.5-11.1 | -Arena carbonatada | | |
| 12.1 | -Arena fina limosa carbonatada | | |
| 15.2 | -Arena carbonatada silícea | 8.47-15.18 | -Arena carbonatada silícea |
| 18.3 | -Arena limosa carbonatada | | |
| 42.2 | -Arena fina | 39.47-39.99 | -Arena fina limosa calcárea |
| | | 119.42 | -Arena fina calcárea |

Comparativa en las Curvas de Granulometría AKAL-TR

| Prof. (m) | 1981 | Prof. (m) | 2008 |
|----------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------|
| 30.02-42.37 | -Arena fina limosa | 35.87 | -Arena fina |
| 54.41-57.76 | -Arena fina limosa | 56.48 | -Arena fina limosa calcárea |
| 72.99-90.98 | -Arena fina limosa | 78.09 86.65 | -Arena fina limosa calcárea |
| | | 113.6 | -Arena fina calcárea |
| | | 114.21 | -Arena fina media calcárea |
| | | 121.46 | -Limo arenoso calcáreo |
| | | 127.22 | -Arena fina a gruesa calcárea |

| Comparativa en las Curvas de Granulometría AKAL-TTM | | | |
|---|---------------------------------|-------------|-------------------------------------|
| Prof. (m) | 1996 | Prof. (m) | 2008 |
| 9.4-15.1 | -Arena limosa carbonatada | 7.92-13.56 | -Arena limosa carbonatada |
| 34.0-41.1 | -Arena fina | 37.43-45.02 | -Arena fina limosa |
| 92.4-103.3 | -Arena fina carbonatada silícea | 63.70 | -Arena arcillosa carbonatada sílica |
| | | 91.04 | -Arena limosa carbonatada |
| | | 95.01-99.27 | -Arena fina calcárea |

COMPARATIVIDAD POR RESISTENCIA DE CONO Y POR PRESION DE PORO

Esto solo fue para el caso de los archivos de Akal 2008 y quedo comparado por esos dos medios para Resistencia de Cono y Presión de Poro.

Y concluye con cada estrato de arena respectivamente.

| Solo para Estudios de Akal -2008 | | |
|----------------------------------|----------------------------|------------------------|
| <i>Estudios Geotécnicos</i> | <i>Resistencia de Cono</i> | <i>Presión de Poro</i> |
| Akal- MA | Si | Si |
| Akal- TGP2 | Si | Si |
| Akal- TH | Si | Si |
| Akal- TI | Si | Si |
| Akal- TKL | Si | Si |
| Akal- TR | Si | Si |
| Akal- TTM | Si | Si |

* **Nota:** El **Si** significa que si concluye con cada estrato de arenas

RECOMENDACIONES:

Mantenemos al margen de la época de los 80's y actuales por que se han realizado ciertos cambios, donde se tienen que manejar adecuadamente.

Tomar en cuenta cada una de las normatividades que se dan para cada estudio geotécnico ya que cada uno cuenta con ciertos requerimientos que a veces no se contemplan adecuadamente, para la elaboración de los parámetros de cada uno de los estudios.

Los estudios que se han hecho con anterioridad no nos permiten contemplar mucha confianza ya que no se toman los parámetros completos.

Sin en cambio con los actuales nos resulta mas confiable sus parámetros.

OBSERVACIONES:

La información acerca de las condiciones de suelo y terreno reveladas por estos estudios esta basada únicamente en las evaluaciones de muestras de suelo (y prueba in situ), dependiendo de su localización y elevación de muestreo. Esta información no debe ser extrapolada a otra área o elevación mas haya de las mencionadas en este reporte.

La información acerca de la condición del suelo y terreno, es considerada apropiada para el uso de los aspectos relacionados al diseño geotécnico e instalación de las estructuras mencionadas en este reporte , y podría no ser apropiada para el diseño de alguna otra estructura.

Con el paso del tiempo, se podrían presentar cambios en las condiciones de la localización o en asuntos legales o reglamentos o métodos de análisis, que podrían provocar una interpretación no confiable o exacta o las cuales podrían requerir hacer necesario una reinterpretación de los resultados aquí presentados. Por lo tanto, la información es vigente hasta antes de que los cambios antes mencionados ocurran.

En el caso de que algún cambio haya sucedido, la información, recomendaciones y conclusiones contenidas en este reporte, no deberán ser usadas sin el consentimiento de Fugro.

CONCLUSIONES:

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 costa fuera 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 penetrómetro 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 1/2" de diámetro exterior y 2 1/4" 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 3/4 de diámetro interior, hincados por presión.

Con los resultados de los análisis de las curvas de capacidad, se dio a conocer que con el tiempo ha aumentado la capacidad del suelo a estas fechas actuales.

Tomando en cuenta que se hizo la comparación con los estudios respectivos, de los 80's y actuales, en base a la diferencia de parámetros, de estratos, de profundidad, de granulometría, de resistencia de cono y de presión de poro.

Estos puntos ya se analizaron adecuadamente a cada estudio respectivo.

Con estos resultados que se obtuvieron nos dice que en los estudios de los 80's no se contemplaron ciertas recomendaciones y parámetros para ese tiempo, ya que para los actuales se tienen más observaciones en cuanto a sus respectivos parámetros.

De acuerdo con esto nos queda claro, que son más confiables los estudios actuales que los 80's ya que están más completos, y que se han realizado adecuadamente con el equipo necesario.

REFERENCIAS:

Perforación y Cimentaciones, S.A. de C.V., Fugro Gulf, Inc, Localización Cantarell 1005, **“Reporte Final Investigación Geotécnica, Sondeo Akal-MA”**, Campaña Geotécnica 1981, Bahía de Campeche.

Perforación y Cimentaciones, S.A. de C.V., Fugro Gulf, Inc, Localización Cantarell 2239, **“Reporte Final Investigación Geotécnica, Sondeo Akal-TR”**, Campaña Geotécnica 1981, Bahía de Campeche.

Mc Clelland Enginners, Inc/ Geotechnical Consultants, **“Reporte Final Investigación Geotécnica, Sondeo Akal-TI”**, Campaña Geotécnica 1978, Bahía de Campeche.

Fugro Mc-Clelland Marine Geosciences, Inc, **“Reporte final, investigación geotécnica, sondeo Akal-TGP2”**, Campaña geotécnica 1997, Bahía de Campeche, México.

Fugro Mc-Clelland Marine Geosciences, Inc, **“Reporte Final, Investigación Geotécnico Sondeo Akal-TTM”**, Campaña Geotécnica 1996, Bahía de Campeche, México.

Fugro Mc-Clelland Marine Geosciences, Inc, **“Reporte Final, Investigación Geotécnico Sondeo Akal-TH”**, Campaña Geotécnica 1998, Bahía de Campeche, México.

Fugro Mc-Clelland Marine Geosciences, Inc, **“Reporte Final, Investigación Geotécnico Sondeo Akal-TKL”**, Campaña Geotécnica 1996, Bahía de Campeche, México.

GEOTECNIA MARINA EN LA SONDA DE CAMPECHE, Subdirección de Proyecto y Construcción de Obras, Gerencia de Ingeniería de Proyectos. 1985 Pág. 7 a la Pág. 56

CONCEPTOS BÁSICOS DE INGENIERÍA CIVIL COSTA AFUERA TOMO II.

Víctor M. Valdés, Año 2005. Pág. 121 a la Pág. 238

ESTUDIOS GEOFÍSICOS Y GEOTÉCNICOS PARA LA INSTALACIÓN DE PLATAFORMA MARINAS Y LÍNEAS SUBMARINAS, Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios. Año 2004

Fugro Chance de México, S.A. de C.V., “**Reporte Final, Investigación Geotécnico Sondeo Akal-MA**”, Campaña Geotécnica 2008, Bahía de Campeche, México.

Fugro Chance de México, S.A. de C.V., “**Reporte Final, Investigación Geotécnico Sondeo Akal-TR**”, Campaña Geotécnica 2008, Bahía de Campeche, México.

Fugro Chance de México, S.A. de C.V., “**Reporte Final, Investigación Geotécnico Sondeo Akal-TI**”, Campaña Geotécnica 2008, Bahía de Campeche, México.

Fugro Chance de México, S.A. de C.V., “**Reporte Final, Investigación Geotécnico Sondeo Akal-TGP2**”, Campaña Geotécnica 2008, Bahía de Campeche, México.

Fugro Chance de México, S.A. de C.V., “**Reporte Final, Investigación Geotécnico Sondeo Akal-TTM**”, Campaña Geotécnica 2008, Bahía de Campeche, México.

Fugro Chance de México, S.A. de C.V., “**Reporte Final, Investigación Geotécnico Sondeo Akal-TH**”, Campaña Geotécnica 2008, Bahía de Campeche, México.

Fugro Chance de México, S.A. de C.V., “**Reporte Final, Investigación Geotécnico Sondeo Akal-TKL**”, Campaña Geotécnica 2008, Bahía de Campeche, México.

Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms Working Stress Design. **API RECOMMENDED PRACTICE 2A-WSD (RP 2A-WSD) TWENTIETH EDITION, JULY 1, 1993.**

Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms Working Stress Design. **API RECOMMENDED PRACTICE 2A-WSD (RP 2A-WSD) TWENTY-FIRST EDITION, DECEMBER 2000.**

Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms Working Stress Design. **API RECOMMENDED PRACTICE 2A-WSD (RP 2A-WSD) 2007**

PCPT-BASED METHOD FOR SELECTING UPGRADED PILE FOUNDATION DESIGN PARAMETERS IN CARBONATE SOILS. By Shawn Johnson, Jean M. E. Audibert and Robert F. Stevens.